

Estudio edáfico-geoquímico

A. Martínez Cortizas, I. Berasategui Vinagre, M. Costa Casais, X. Pontevedra Pombal

Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Biología,
Universidad de Santiago de Compostela

Antecedentes

El yacimiento de A Mourela se encuentra en el ayuntamiento de As Pontes, en la parte alta de los Montes da Fraga Verde, sobre la divisoria de aguas de la margen izquierda del río Chamoselo, afluente del río Eume. Se incluye íntegramente en una litología de filitas con esquistos, con algunos filones de cuarzo.

A petición del Dr. Ramón Fábregas, Director del Grupo de Estudos para a Prehistoria Recente do NW Ibérico (GEPN) de la USC, y de Andrés Bonilla, arqueólogo profesional, de la empresa Prospectiva y Análisis Arqueólogos, S.L. y director de la actuación en el yacimiento, se hizo una valoración de las posibilidades existentes en el área arqueológica del Círculo Lítico de A Mourela, para la reconstrucción de los procesos acaecidos en el yacimiento y su entorno inmediato.

Con este fin, se llevó a cabo una primera evaluación del yacimiento el 22-03-2007, donde el equipo de arqueólogos que estaban realizando los trabajos explicaron el origen y situación actual de la actuación, y mostraron los elementos arqueológicos más relevantes que caracterizaban el yacimiento.

Entre los elementos estratigráficos identificados destacan:

- 1.- Plataforma y anillo centrales
- 2.- Estructuras de combustión
- 3.- Improntas
- 4.- Fosas

Dentro del anillo perimetral, el equipo de arqueología identificó un probable material de acondicionamiento

constituido por una mezcla de una matriz de material de suelo rico en materia orgánica, de baja densidad, muy poroso y color negro, con gran cantidad de gravas de cuarzo no alteradas, angulosas y de granulometría bastante homogénea.



Foto 1) Detalle del material de acondicionamiento del anillo perimetral

Evaluados estos elementos, la propuesta para la contextualización estratigráfica y ambiental del yacimiento planteó el estudio de los siguientes puntos:

- Perfil externo periférico completo de referencia del entorno natural inmediato al yacimiento: **MOU I** (columna de 10 muestras)
- Perfil completo en yacimiento para la correlación estratigráfica con el entorno: **MOU II** (columna de 6 muestras)
- Perfil completo en el anillo: **MOU III** (columna de 9 muestras)
- Perfil de acondicionamiento (nivel arqueológico 5) hasta el límite de contacto: **MOU IV** (columna de 5 muestras)
- Fosas
- Improntas asociadas al fondo de cabaña.



Foto 2) Perfil de suelo externo al yacimiento, tomado como referencia (MOU I).



Foto 3) Perfil de suelo interno del yacimiento, tomado como referencia para correlación estratigráfica (MOU II)

En estos puntos se llevó a cabo la toma de muestras en una jornada de campo realizada el día 21 de marzo de 2007. Los dos últimos tipos propuestos para muestreo no se pudieron recoger ya que cuando se realizó el muestro no se conservaba ninguna secuencia estratigráfica intacta dentro deste tipo de estructuras arqueológicas. En cambio, si se remitieron al laboratorio 17 muestras de estructuras del muestreo realizado durante las tareas arqueológicas, junto con sus correspondientes fichas descriptivas. En base al



Foto 4) Perfil del anillo (MOU III)



Foto 5) Perfil de acondicionamiento (MOU IV)

mapa de distribución, adjuntado con las fichas descriptivas, las muestras correspondían a improntas (9), fosas (4), depósito de un pseudotúmulo (2) y una estructura de combustión (1).

Metodología analítica

Tras la recogida en campo de las muestras, se procedió a la descripción de las mismas y posterior secado a temperatura ambiente (al aire). Una vez secas se completó la descriptiva y se llevó a cabo el tamizado (tamiz de 2 mm de luz) para obtener la fracción gruesa (> 2mm, gravas y piedras) y la fracción tierra fina (< 2mm). De las gravas se estudió la composición mineralógica y la morfología. Una parte de la fracción tierra fina, una vez homogeneizada, se tamizó en hú-

medo para separar y cuantificar macrocarbones. Sobre esta fracción también se determinó el grado de acidez (pH en agua y KCl). Otra parte se molió finamente para los análisis de composición elemental.

El análisis elemental comprendió la determinación de elementos mayores y traza, característicos de las fracciones inorgánicas, mediante fluorescencia de rayos X (equipo XRF de del Servicio de Rayos X de la RIAIDT, Universidad de Santiago de Compostela); y la determinación de carbono y nitrógeno, elementos característicos de la materia orgánica, mediante un autoanizador elemental Leco Truspec CNH.

Además de estas analíticas, también se prepararon muestras de suelo y sedimento para datación radiocarbónica. El objetivo de esta preparación es concentrar la materia orgánica evolucionada presente en las fracciones finas, eliminando material fresco (macrorrestos) y macrocarbones que pudieran contaminar con carbono reciente.

El estudio se llevó a cabo en dos fases, en la primera de las cuales se dio prioridad a las muestras de testigos y estructuras del propio yacimiento; y una segunda en la que se analizó el suelo exterior de referencia (MOU I). A continuación se describen los resultados de acuerdo con este procedimiento.

Resultados

Descriptivas de campo: testigos internos y estructuras

Zona del interior del yacimiento, perfil externo que conserva rasgos naturales, punto de muestreo MOU II.

- Litología: Esquistos.
- Orientación: E.
- Niveles:

A 0-10 cm. Color negro-verdoso; aparecen carbones a una profundidad de 10 cm.

B 10-25 cm. Similar al B de MOU I, a los 20 cm aparecen chips iguales a los descritos en MOU I.

BC 25-30 cm. Arenas con gravas de cuarzo.

R > 30 cm. Roca alterada.

Zona interior del yacimiento, punto de muestreo MOU III.

- Niveles:

A 0-4 cm. Presencia de algunas gravas de cuarzo.

AB 4-8 cm; transición.

B 8-14 cm. Nivel mezcla de gravas de cuarzo con matriz de material fino limoso, color oliváceo.

2C >20 cm. Saprolita.

Zona del interior del yacimiento, nivel 5, punto de muestreo MOU IV.

- Niveles:

A 0-14 cm. Material muy orgánico, con gravas angulosas pequeñas de cuarzo entremezcladas.

AB 6-14 cm. Descansa sobre un nivel de cuarzo, no presenta gravas

Descriptivas de laboratorio: testigos internos y estructuras

MOU-II	HORIZ.	PROF	DESCRIPCIÓN
1	A	0-10 cm	<u>Color:</u> 10 YR 3/1 (húmedo) 10 YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajosa media y gruesa con bloques subangulares medios, gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adherente, plástico. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> presencia de muchas raíces finas y medias.
2	B	10-15	<u>Color:</u> 10 YR 3/1 (húmedo) 10 YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajota media y gruesa con bloques subangulares medios, gruesos. <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adherente, plástico. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> presencia de abundantes raíces finas y medias.
3	B	15-20	<u>Color:</u> 10 YR 3/1 (húmedo) 10 YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajota media y gruesa con bloques subangulares gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en mojado:</u> adherente, plástico. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> presencia de abundantes raíces finas y medias.
4	B	20-25	<u>Color:</u> 10 YR 3/1 (húmedo) 10 YR 6/1 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajota media y gruesa con bloques subangulares gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en mojado:</u> adherente, plástico. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> presencia de raíces finas y medias.
5	BC	25-30	<u>Color:</u> 2.5Y 4/1 (húmedo) 10YR 5/1 (seco). <u>Estructura:</u> Grado moderado, clase y tipo migajota mediana con bloques subangulares finos y medios. <u>Consistencia en mojado:</u> adherente y plástico. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> presencia de gravas gruesas (>50mm), muy pocas raíces finas.
6	CR	>30 cm	<u>Color:</u> 7.5Y 4/1 (húmedo) 7.5Y 6/2 (seco). <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adherente y ligeramente plástico. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> no hay raíces.

MOU-III	HORIZ.	PROF.	DESCRIPCIÓN
1	A	0-2 cm	<u>Color:</u> 7.5YR 2/1 (húmedo), 10YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajoso medio con bloques subangulares medios gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adherente y ligeramente plástico. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> presencia de algunas raíces finas medias y de algunas (pocas) raíces muy gruesas.
2	A	2-4	<u>Color:</u> 7.5YR 2/1 (húmedo), 10YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajoso medio con bloques subangulares gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adherente y plástico. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> presencia de algunas raíces finas.
3	AB	4-6	<u>Color:</u> 7.5YR 3/1 (húmedo), 10YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajoso medio con bloques subangulares gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en mojado:</u> adherente y plástico. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> presencia de algunas raíces finas medias y gruesas.
4	AB	6-8	<u>Color:</u> 7.5YR 3/1 (húmedo), 10YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajoso medio con bloques subangulares gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en mojado:</u> adherente y plástico. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> presencia de algunas raíces finas.
5	B1	8-10	<u>Color:</u> 7.5YR 3/1 (húmedo), 10YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajoso medio con bloques subangulares gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adherente y plástico. <u>Consistencia en seco:</u> duro. <u>Observaciones:</u> presencia de algunas raíces finas.
6	B1	10-12	<u>Color:</u> 7.5YR 3/1 (húmedo), 10YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajoso medio con bloques subangulares gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adherente y plástico. <u>Consistencia en seco:</u> duro. <u>Observaciones:</u> muy pocas raíces finas.
7	B1	12-14	<u>Color:</u> 7.5YR 3/1 (húmedo), 10YR 5/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajoso medio con bloques subangulares gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adherente y plástico. <u>Consistencia en seco:</u> duro. <u>Observaciones:</u> presencia de algunas raíces finas.
8	BC	14-20	<u>Color:</u> 7.5YR 3/2 (húmedo), 10YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajoso medio con bloques subangulares medios. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adherente y plástico. <u>Consistencia en seco:</u> duro. <u>Observaciones:</u> presencia de algunas raíces finas, presencia de gravas de cuarzo.
9	2C	>20 cm	<u>Color:</u> 2.5Y 4/1 (húmedo), 5GY 5/1. Saprolita con estructura de tendencia granular media y fina. <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adhesiva, no plástica. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en seco:</u> duro. <u>Observaciones:</u> saprolita con óxidos.

MOU-IV	HORIZ.	PROF.	DESCRIPCIÓN
1	A	0-2 cm	<u>Color:</u> 7.5YR2/1 (húmedo), 7.5YR 4/1 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajoso mediano con bloques subangulares medios y gruesos. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en mojado:</u> adherente y plástico. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> abundantes raíces finas y media, también abundantes gravas de cuarzo gruesas de posible origen antrópico.
2	A	2-4	<u>Color:</u> 7.5YR2/1 (húmedo), 7.5YR 4/1 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajoso mediano con bloques subangulares medios y gruesos (poco abundantes). <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en mojado:</u> adherente y ligeramente plástico. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> contiene raíces finas poco abundantes y alguna raíz gruesa, presencia de algunas gravas medias y gruesas de cuarzo de posible origen antrópico.
3	A	4-6	<u>Color:</u> 7.5YR 2/1 (húmedo), 10YR 4/1 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajoso medio con bloques subangulares medios y gruesos. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en mojado:</u> adherente y ligeramente plástico. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> presencia de algunas raíces finas y de algunas (pocas) raíces gruesas, presencia de gravas de cuarzo medias y gruesas.
4	B	6-10	<u>Color:</u> 7.5YR 2/1 (húmedo), 10YR 5/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajoso medio con bloques subangulares medios gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en mojado:</u> adherente y plástico. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> presencia de algunas raíces finas y de algunas (pocas) raíces gruesas, presencia de gravas de cuarzo medias y gruesas.
5	B	10-14 cm	<u>Color:</u> 7.5YR 2/1 (húmedo), 10YR 5/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderado, clase y tipo migajoso medio con bloques subangulares medios gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en mojado:</u> adherente y plástico. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> muy pocas raíces finas y ausencia de las gravas de cuarzo antes presentes.

MO-07-M	DESCRIPCIÓN
240-001	<u>Color:</u> 7.5 YR 2/1 (húmedo) 10 YR 5/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderada, clase y tipo migajota mediana y gruesa. <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adherente y plástico. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> Algunas raíces finas y medias, gran abundancia de gravas de cuarzo de posible origen antrópico.
239-001	<u>Color:</u> 7.5 YR 1.7/1 (húmedo) 10 YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderada, clase y tipo migajota mediana y gruesa, con bloques subangulares finos y medios. <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adherente y plástico. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> Pocas raíces finas, pocas gravas de cuarzo de posible origen antrópico.
234-001	<u>Color:</u> 7.5 YR 1.7/1 (húmedo) 10 YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderada, clase y tipo migajota gruesa, con bloques subangulares medios, gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en mojado:</u> adherente y plástico. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> Pocas raíces finas y alguna gruesa.
203-001-a	<u>Color:</u> 7.5 YR 3/1 (húmedo) 10 YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderada, clase y tipo migajota mediana y gruesa, con bloques subangulares finos y medios. <u>Consistencia en mojado:</u> adherente y plástico. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> Pocas raíces finas.
184-001-Z.I.D.	<u>Color:</u> 7.5 YR 3/1 (húmedo) 10 YR 4/2 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderada, clase y tipo migajota mediana y gruesa, con bloques subangulares finos y medios. <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adherente y plástico. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> Pocas raíces finas.
175-001	<u>Color:</u> 7.5 YR 4/1 (húmedo) 10 YR 5/3 (seco). <u>Estructura:</u> grado moderada, clase y tipo migajota mediana y gruesa, con bloques subangulares medios gruesos y muy gruesos. <u>Consistencia en mojado:</u> ligeramente adherente y plástico. <u>Consistencia en húmedo:</u> muy friable. <u>Consistencia en seco:</u> ligeramente duro. <u>Observaciones:</u> Pocas raíces finas.

Propiedades físico-químicas: testigos internos y muestras de estructuras

Todas las muestras analizadas tienen reacción ácida, con pH que varía entre 4,9 y 3,9. La acidez es mayor en las muestras con mayor contenido de materia orgánica, por lo que en los perfiles de suelo la acidez disminuye con la profundidad (es decir el valor de pH aumenta). En cuanto a la granulometría, son mayoritariamente limosas a limo-arcillosas, lo que confiere al material de suelo adherencia y plasticidad. No obstante también poseen gravas, aunque esto varía ampliamente entre perfiles. Así por ejemplo, en MOU-III el contenido de grava aumenta con la profundidad hasta alcanzar casi un 44% -algo habitual en los suelos-, pero en MOU-IV el contenido de gravas desciende desde un 39% en la muestra superficial a un 5% en la más profunda.

Los perfiles de suelo analizados presentan niveles discretos con contenidos relativamente elevados de carbones, lo que apunta al uso del fuego en algunos periodos. En las muestras de estructuras el contenido es muy variable. Así, las fosas MO-07-M-175 y MO-07-M-184 presentan contenidos elevados, mientras que la muestra de la fosa MO-07-M-240 apenas contiene restos de carbones. Casualmente, el contenido de gravas de las mismas estructuras es opuesto (de un 46% en M-240, y 6-10% en M-175 y M-184).

El contenido de materia orgánica es bastante alto. El contenido medio de carbono para todas las muestras

analizadas es de un 6%, lo que correspondería a un 10% de materia orgánica (empleando el factor de Van Bemelen). En los perfiles de suelo, lógicamente, el contenido de materia orgánica disminuye con la profundidad (de un 17,6% a un 1,2% en MOU-II; de un 18,3% a un 1,9% en MOU-III), aunque de forma menos acusada en MOU-IV (de un 18,6% a un 5,1%). Las muestras de estructuras tienen también valores relativamente altos, entre un 8,7% y un 18,6%. El contenido medio de nitrógeno es de un 0,45% y sigue el mismo patrón que el C (el coeficiente de correlación lineal entre ambos elementos es de 0,97). De este modo la relación C/N media es de 13, lo que indica una materia orgánica moderadamente evolucionada. La excepción la constituye el perfil MOU-II que tiene relaciones C/N inferiores a 11,5 en todas sus muestras (indicativa de un mayor grado de evolución de la materia orgánica), debido a un contenido algo mayor de nitrógeno que en los demás suelos y muestras de estructuras. En el extremo opuesto, las dos muestras basales de MOU-IV y las muestras de algunas estructuras (M-122, M-239) tienen relaciones C/N mayores de 15 y, por tanto, una materia orgánica menos evolucionada.

Composición elemental: testigos internos y muestras de estructuras

Como ya se ha mencionado en el apartado de metodología, además de C y N (determinados mediante autoanalizador elemental) también se han determinado las concentraciones de otros 19 elementos mayores y traza: K,

Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb y Pb. Esta amplia variedad de elementos puede permitir, según los casos, obtener información sobre la naturaleza mineralógica, los procesos edafogénicos, la actividad humana e incluso la edad de los suelos. Pero a su vez, la elevada proporción de variables (elementos) requiere el empleo de técnicas estadísticas multivariantes, que ayuden a comprender la estructuración de la varianza (variabilidad en las concentraciones) e indagar en las propiedades y procesos subyacentes a la misma. Aquí hemos procedido al estudio de las variaciones en la composición elemental mediante el empleo del análisis factorial por componentes principales (AFCP).

El AFCP ha identificado cinco factores principales en la estructuración de la variabilidad de la composición elemental de las muestras analizadas (perfiles de suelo internos y muestras de estructuras): el primer factor, F1, explica un 24% de la varianza total; el segundo factor, F2, explica un 19%; el tercer factor, F3, un 16%; el cuarto factor, F4, un 14%; y el quinto factor, F5, un 13%. En conjunto explican el 86% de las variaciones totales de la concentración de los elementos químicos y, por tanto, reflejan fielmente la naturaleza geoquímica de los suelos y sedimentos estudiados.

En la Figura 1 se han representado las cargas (*factor loadings*) de los elementos químicos en las proyecciones F1-F2, F1-F3, F1-F4, F1-F5. Se ha mantenido F1 constante en el eje de abscisas para que sea fácil identificar los elementos asociados a los demás factores en base a su posición en el eje de ordenadas. A F1 contribuyen de forma positiva el Pb, Y, Sr, Rb, K, Ga y Cu; mientras que en el lado opuesto se

encuentran Br, Zr y As. Esto quiere decir que las muestras con concentraciones elevadas del primer grupo de elementos tienden a tener concentraciones bajas de los elementos del segundo grupo.

En la Figura 2 hemos representado las variaciones de las concentraciones de algunos de los elementos asociados a F1 (el Rb tiene la misma variación que el K; el coeficiente de correlación entre las concentraciones de ambos elementos es de 0,97). La línea de puntos en esta figura y las siguientes marca el valor promedio para todas las muestras. Se puede ver como las variaciones en K (Rb), Sr, Y y Pb son similares y opuestas a las variaciones de la concentración de Br. La muestras de MOU-II y MOU-III tienen concentraciones próximas o mayores que la media (línea de puntos) para K (Rb), Y y Pb; mientras que MOU-IV y las muestras de estructuras poseen concentraciones que tienden a ser menores (más evidente para Sr e Y). En los perfiles MOU-II y

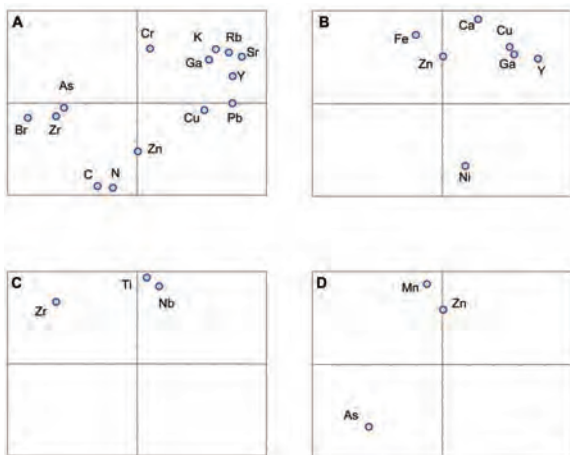


Figura 1) Proyecciones de las cargas de las variables del análisis factorial: A) F1-F2, B) F1-F3, C) F1-F4, D) F1-F5

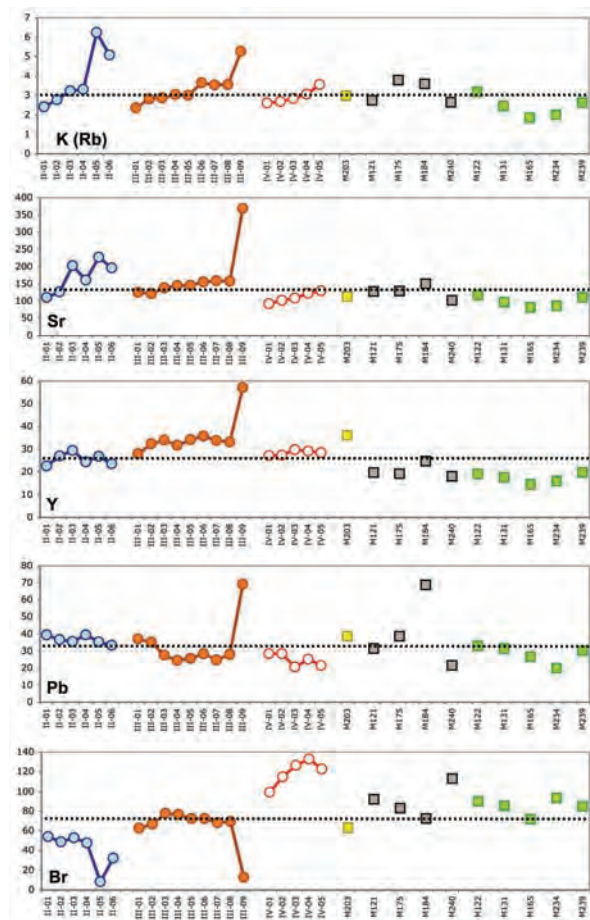


Figura 2) Variación de las concentraciones de los elementos asociados a F1 (zanja, cuadrado amarillo; fosas, cuadrados grises, improntas, cuadrados verdes; K en porcentaje, los demás elementos en $\mu\text{g g}^{-1}$).

MOU-III se aprecia para K (Rb) y Sr un aumento con la profundidad; algo que no se observa para Y y Pb. También hay un fuerte cambio en el contenido de K (Rb) en las dos muestras basales de MOU-II, y en todos los elementos en la muestra basal de MOU-III, indicativo de una clara discontinuidad geoquímica en estos perfiles. El perfil MOU-IV no presenta variaciones significativas para los elementos del grupo del K, pero sí para el Br. Este perfil tiene concentraciones superiores a las de los otros suelos y, además, éstas aumentan con la profundidad, lo cual no es lo habitual en suelos naturales no truncados.

En la Figura 3 se recoge la variación de las concentraciones de los elementos característicos de F2. Este factor está dominado casi exclusivamente por la materia orgánica (contenido de carbono y nitrógeno) y el Cr. Las variaciones de estos elementos son opuestas: a mayor contenido de C y N menor contenido de Cr y viceversa. En términos comparativos el perfil MOU-IV y las muestras de estructuras tienen mayores contenidos de C y N que MOU-II y MOU-III. Mientras que en cuanto a la concentración de Cr, las muestras de estructuras y las basales del perfil MOU-III poseen concentraciones más elevadas. Por lo que atañe a la distribución vertical en los perfiles, C y N disminuyen con la profundidad y el Cr aumenta. La excepción a esto último es MOU-IV, testigo en el que el Cr presenta su valor mínimo en medio del perfil aumentando a partir de ahí tanto hacia la superficie como en profundidad.

Los elementos característicos de F3 son el Ca, el Fe y el Ni (Figura 3). Aquí también se da un comportamiento diferencial entre estos elementos, ya que las muestras con concentraciones elevadas de Ca y Fe tienden a poseer valores bajos de Ni. En términos comparativos, las muestras de MOU-II y de improntas tienen concentraciones más bajas de Ca y Fe que las de MOU-III, MOU-IV y fosas. Por lo que se refiere a la distribución vertical, las concentraciones de Fe presentan un aumento moderado con la profundidad en MOU-III y MOU-IV; mientras que para el Ca esto es poco obvio. También es de destacar que la muestra basal de MOU-III vuelve a resultar anómala tanto para el contenido de Ca (mayor) como para el de Fe (menor), en relación al resto del perfil.

En cuanto al Ni, MOU-II y las muestras de improntas tienen concentraciones más elevadas que el resto de perfiles y muestras de fosas. En MOU-III y MOU-IV las concentraciones son bajas (algunas próximas al límite de detección de la técnica de XRF) y de variación vertical irregular; pero en MOU-II la concentración aumenta con la profundidad, en

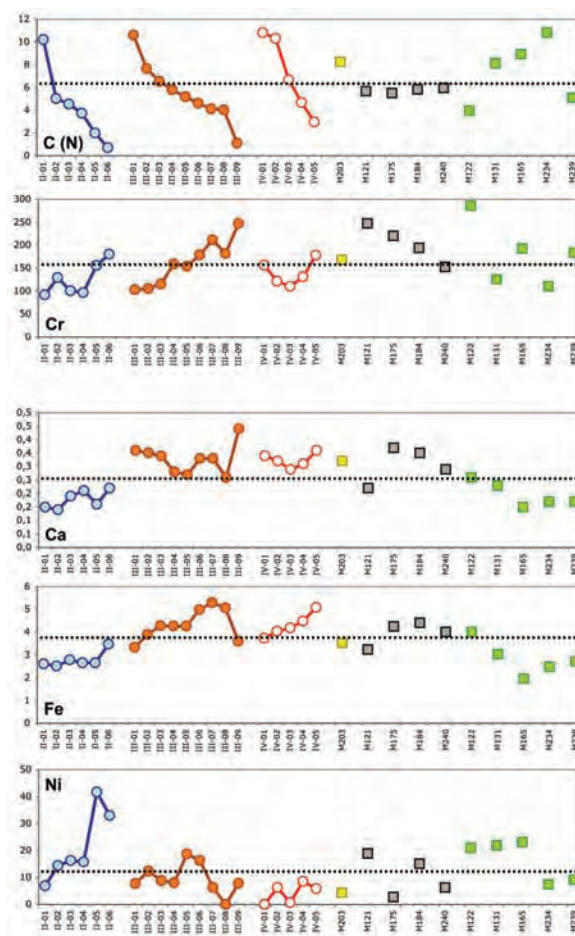


Figura 3) Variación de las concentraciones de los elementos asociados a F2 (C, en porcentaje, y Cr en $\mu\text{g g}^{-1}$); y F3 (Ca e Fe, en porcentaje; Ni en $\mu\text{g g}^{-1}$)

especial en las dos muestras basales. Esto último coincide con lo descrito para K y Rb, lo que refuerza la idea de una discontinuidad geoquímica.

El cuarto factor (F4) está relacionado con la variación de elementos químicos de muy baja movilidad en los sistemas edáficos ácidos: Ti, Zr y Nb. Como puede verse en la Figura 4 las concentraciones son muy homogéneas y muy próximas a la media total en prácticamente todas las muestras analizadas. La única excepción la constituyen, de nuevo, las dos muestras basales de MOU-II.

Finalmente, los elementos asociados a F5 son Mn, Zn y As. En este caso también hay un comportamiento opuesto entre estos elementos: las muestras con concentraciones elevadas de Mn y Zn tienen concentraciones bajas de As y viceversa (Figura 6). En términos generales las concentraciones de Mn y Zn son más elevadas en MOU-III y MOU-IV que en MOU-II y en las muestras de estructuras. Estos dos elementos tienen

concentraciones que tienden a disminuir con la profundidad (a excepción del Mn en MOU-IV).

Por lo que respecta al As, son las muestras de estructuras (con excepción de la de la zanja M-203) las que presentan contenidos altos a muy altos (Figura 6). Concentraciones de As superiores a unas pocas decenas de partes por millón son muy infrecuentes en los suelos de Galicia, y tan sólo han sido citadas en suelos contaminados por biocidas o en algunos enclaves de suelos desarrollados sobre materiales metamórficos —enriquecidos naturalmente, por su particular mineralogía. Este último parece ser el caso del yacimiento de A Mourela, como se describe brevemente a continuación.

Distribución espacial

La mayor parte de los elementos analizados muestran una variación mas o menos marcada con la profundidad en los perfiles de suelos. Sin embargo, a nivel espacial o bien su distribución en el yacimiento es homogénea (caso del K, Ti, Ga, Rb, Sr, Zr, Nb, Pb) o ésta no sigue un patrón definido (Ca). La excepción a esto la constituyen los elementos metálicos Mn, Fe, Ni, Cr, y Cu, además del Y y el As (Figura 6).

Hay una clara distribución espacial opuesta entre el Mn, Zn, Fe, Cu y Cr (y menos obvia en Y) frente a Ni y As. Esta distribución parece responder a un patrón ligado a la naturaleza del substrato geológico, aunque sorprende que se aprecie en los rellenos de las improntas y no puede descartarse que se deba al material empleado en el relleno

(que por otra parte podría esperarse que fuese de origen local). Dilucidar este aspecto requeriría análisis mas detallados (análisis mineralógico, por ejemplo) y también un mayor número de muestras tanto de estructuras como de sus áreas más próximas.

Estimación de la cronología

Al igual que en trabajos anteriores, podemos plantear una aproximación a la cronología de los materiales edáficos, empleando su naturaleza geoquímica, por medio del Índice Cronológico (IC). Dado que disponemos de una cronofunción para el área próxima del Xístral (en cronología calibrada BP), hemos aplicado dicha función a los valores de IC de las muestras estudiadas para obtener una estimación de su edad absoluta. Esta estimación se recoge en la Figura 7.

Para dos de las muestras (MOU-II-05 y MOU-III-09) no ha sido posible obtener una estimación debido a las bajas concentraciones de los elementos indicadores. Las dos muestras superficiales de los perfiles de suelo (MOU-II, MOU-III y MOU-IV) y las muestras de estructuras M-131, M-165, M-203, M-234 y M-230 serían actuales; las muestras MOU-II-03 y 04, las muestras MOU-III-03, 04 y 05, y la muestra de la estructura M-184, tendrían entre 200 y 500 años; MOU-III-06 y M-175, tendrían 700-800 años; MOU-III-07 y 08, MOU-IV 03, M-121, M239 y M-240, tendrían entre 900 y 1300 años; M-122 tendría 1900 años, MOU-IV-04 2800 años, MOU-IV-05 4700 años y MOU-II-06 5300 años. Esta estimación de edades indica que la mayor parte de las

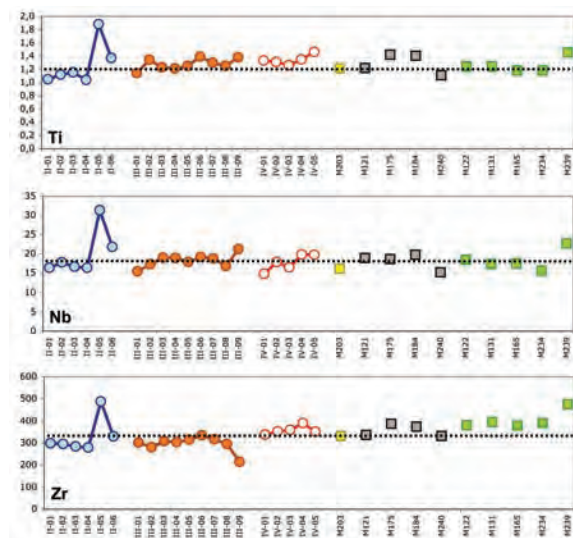


Figura 4) Variación de las concentraciones de los elementos asociados a F4 (en $\mu\text{g g}^{-1}$)

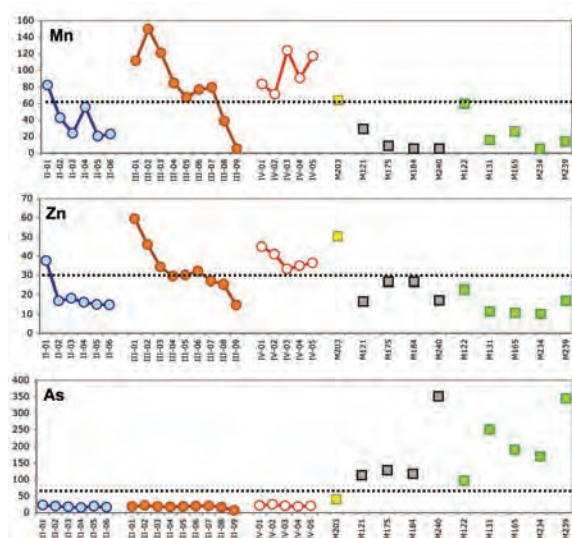


Figura 5) Variación de las concentraciones de los elementos asociados a F5 ($\mu\text{g g}^{-1}$)

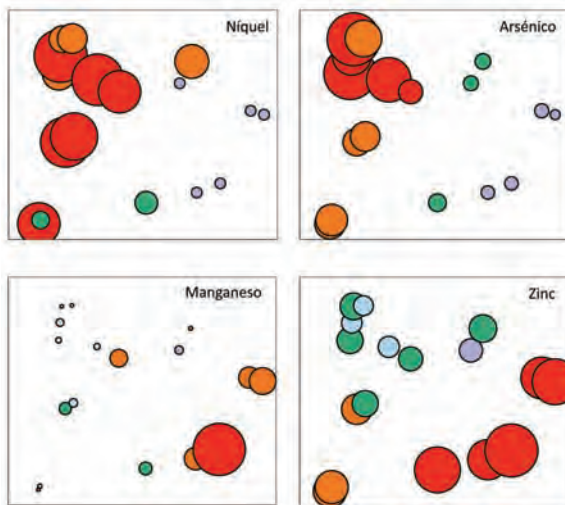


Figura 6) Distribución espacial de las concentraciones de algunos elementos en las muestras de estructura analizadas en el yacimiento de A Mourela. El diámetro de los círculos es proporcional a la concentración del elemento; el color se ha añadido para realzar las diferencias: las concentraciones siguen la secuencia rojo > naranja > verde > azul.

muestras –y por tanto de las superficies y estructuras analizadas tendrían menos de 1300 años; de ellas, 17 tendrían menos de 500 años y 8 entre 700 y 1300 años. Tan sólo cuatro muestras tienen edades más antiguas.

En los tres perfiles de suelo las edades aumentan con la profundidad. No obstante en MOU-III el aumento es muy moderado, pues la muestra más profunda para la que se pudo obtener una estimación (MOU-III-08) tendría tan sólo unos 1000 años. En MOU-II y MOU-IV la discontinuidad cronológica entre la muestra más profunda y las demás es muy fuerte (en especial en MOU-II), algo que concuerda con las discontinuidades geoquímicas ya mencionadas anteriormente. Es muy probable que la base de MOU-III tenga una edad similar a la de la base de los otros dos perfiles –recuérdese que también presenta una fuerte discontinuidad geoquímica.

Esto indica que la mayor parte de la superficie estudiada es reciente y que los únicos elementos de mayor edad puedan ser el resultado del truncamiento de una superficie más antigua –bien por erosión o bien, muy probablemente, por excavación.

Estudio del perfil externo de referencia (MOU I)

El testigo MOU-I corresponde a una unidad de suelo externa al yacimiento, cuyo estudio se recomendó para tener una re-

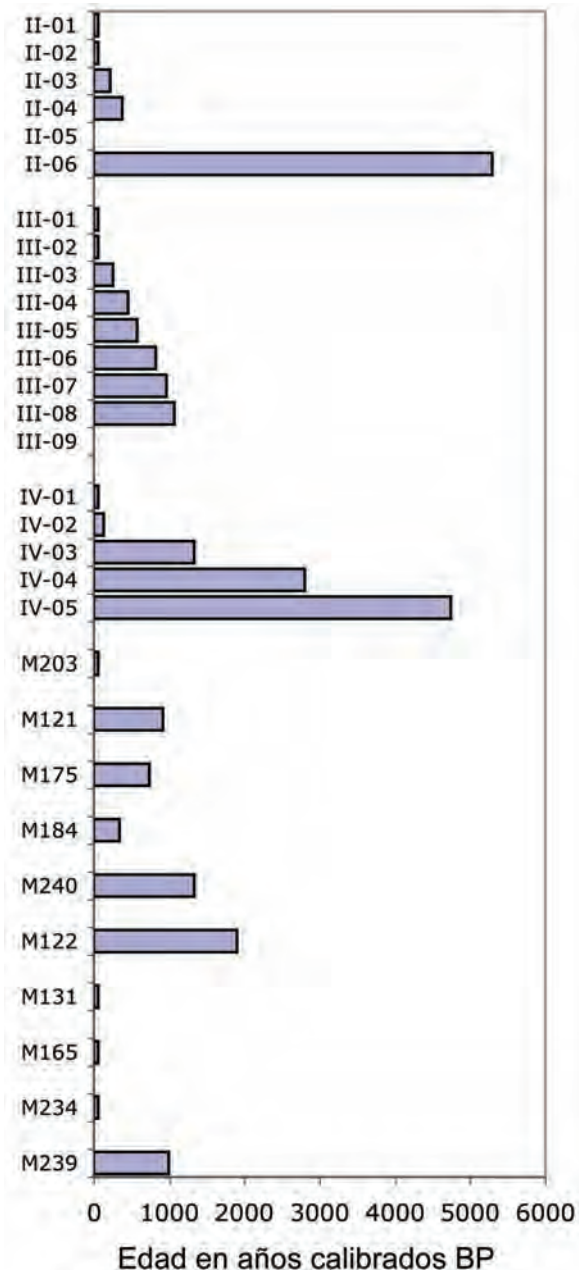


Figura 7) Estimación de la edad absoluta (en cal. BP) de las muestras analizadas en el yacimiento de A Mourela

ferencia de los suelos del entorno con la que comparar los testigos y muestras de estructuras tomadas en el yacimiento.

- Descriptiva

Zona exterior de la excavación, punto de muestreo MOU-I.

- Litología: Esquisto muy alterado, aparecen bandas de color gris de material más fresco, mezcladas con otras bandas de color anaranjado de material más alterado.

- Orientación: S-SE

- Forma: Superficie del suelo elevada con ligera pendiente.

- Vegetación: Prado.
- Pendiente: Clase 1 (<2% de inclinación).
- Niveles:

Au1 0-15cm. Limo-arenoso, con carbones. Bastantes raíces finas en los primeros centímetros. Color negro-verdoso. Entre los 5-10 cm hay gravas de cuarzo de tamaño fino – mayor abundancia hacia 6 cm-, también aparecen algunos fragmentos de roca alterada.

Au2 15-25cm. Color negro-verdoso; en este nivel aparece una gran cantidad de carbones. Hay chips de material más fino de color grisáceo (posible nivel de quema).

AB 25-30 cm. Nivel más limoso que el anterior y de color grisáceo.

B 30-40 cm. Color gris-verdoso, limoso. En la base hay gravas grandes y algunos cantos. En la parte superior hay gravas angulosas y cantos pequeños de cuarzo principalmente.

BC 40-50 cm. Abundancia de arenas y gravas de cuarzo angulosas con muestras de intensa alteración. Color rojizo.

2C 50-65 cm. Roca alterada.

R 65-81 cm. Esquisto poco alterado.

- Propiedades físico-químicas

El suelo MOU-I presenta reacción muy ácida a fuertemente ácida (Figura 8); todas las muestras de los horizontes analizados (A, Bw y C) tienen un valor de pH entre 3,9 y 4,2. La acidez es mayor (pH menor) en las muestras superficiales, en particular en el subhorizonte Au1. Por debajo de los 15 cm superficiales el pH aumenta con la profundidad en el subhorizonte Au2, para mantenerse casi constante en el resto del suelo.

En cuanto a la granulometría, en la fracción tierra fina predominan los limos y las arcillas (Figura 9) frente a la fracción arena; algo que está en consonancia con el material litológico dominante en la zona de estudio, pues el tamaño de grano dominante de los minerales de los esquistos es en general limo. A excepción de la muestra más profunda, en la cual el contenido de limo y arcilla es de un 36%, el resto de las muestras tienen contenidos de las fracciones finas superiores a un 40%. La proporción de finos es casi constante en los horizontes A y Bw (55-58%), disminuye ligeramente en el BwC y retorna a los valores anteriores (incluso un poco más elevados) en el horizonte 2C.

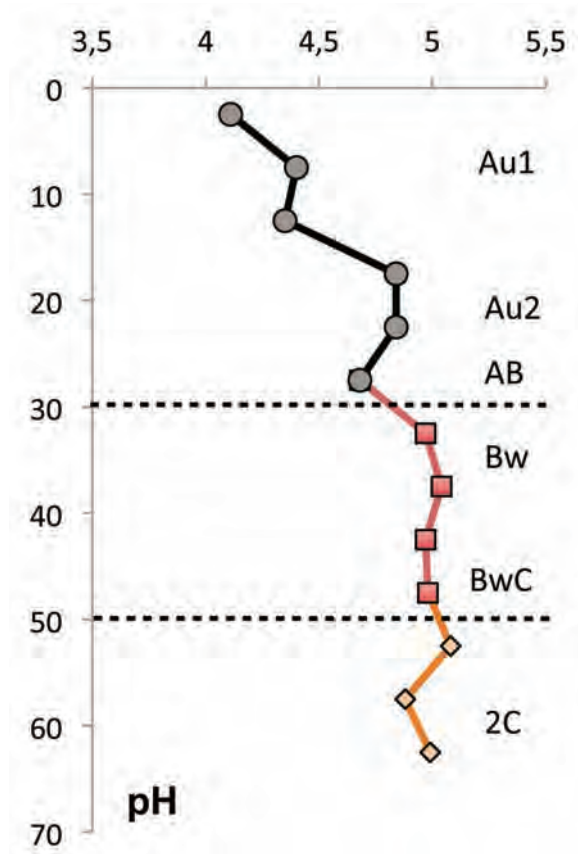


Figura 8) Variación vertical del pH (MOU-I)

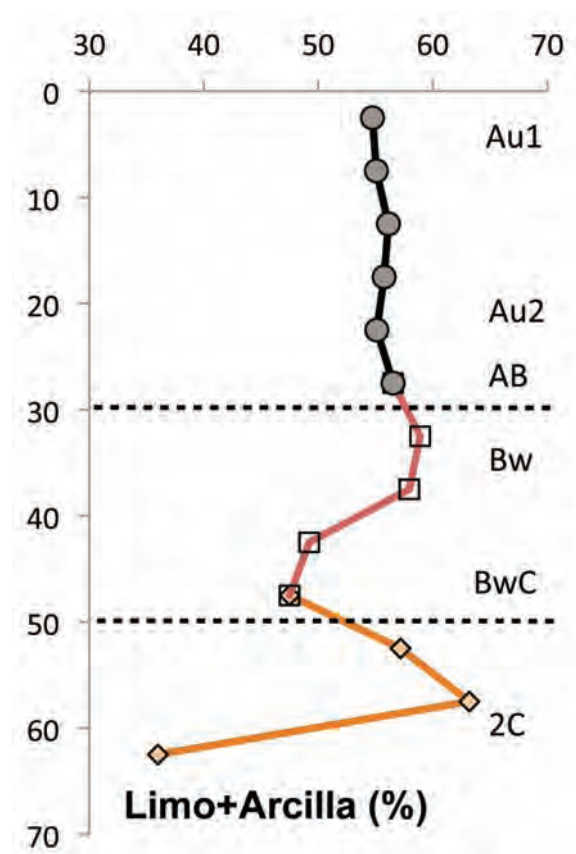


Figura 9) Variación vertical en el contenido de limo y arcilla (MOU I)

Por lo que respecta a las fracciones gruesas, la proporción de gravas es muy baja en todo el perfil a excepción de dos niveles concretos (Figura 10): el nivel más profundo analizado y el horizonte de transición BwC, ambos con contenidos entre un 58% y un 69% de grava.

Al igual que los perfiles internos del yacimiento, MOU-I presenta niveles discretos de concentración de carbones (Figura 11): en el horizonte superficial (tanto en el subhorizonte Au1 como en el Au2) como en el horizonte BwC. Es destacable el hecho de que el máximo de contenido de gravas coincide con un máximo de contenido en carbones, lo que apunta a procesos erosivos mediados por incendios.

- Composición elemental

En las muestras del testigo de suelo de MOU-I se llevó a cabo el análisis de la composición elemental por medio de fluorescencia de rayos X (FRX) en el Servicio de Rayos X de la RIAIDT (Universidad de Santiago de Compostela). Con esta técnica fue posible detectar 16 elementos químicos mayores, menores y traza (K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, y Pb). La configuración actual del equipo de FRX

no permite la detección de bajas concentraciones de algunos elementos químicos, por lo que Cu, Se y Nb no se han podido cuantificar en estas muestras. Aún así, tal como indicamos anteriormente, la amplia variedad de elementos químicos determinados puede permitir obtener información sobre la naturaleza mineralógica, los procesos edafogénéticos, la actividad humana e incluso la edad de los suelos. Pero a su vez, la elevada proporción de variables (elementos) requiere el empleo de técnicas estadísticas multivariantes, que ayuden a comprender la estructuración de la varianza (variabilidad en las concentraciones) e indagar en las propiedades y procesos subyacentes a la misma.

En la Tabla 1 se recogen las concentraciones de los elementos determinados. El elemento más abundante es el Fe, seguido del K, Ti y Ca (elementos mayores). De entre los elementos traza los más abundantes son el Zr, el Sr y el Rb. Algunos elementos tienen perfiles verticales muy similares. Así, por ejemplo, el K, Ti, Cr, Fe, Ga y Rb, muestran concentraciones casi constantes en los horizontes A, B y BC y valores más elevados en el 2C, indicativo de una discontinuidad entre el esquistos alterado y el suelo (que muy probablemente

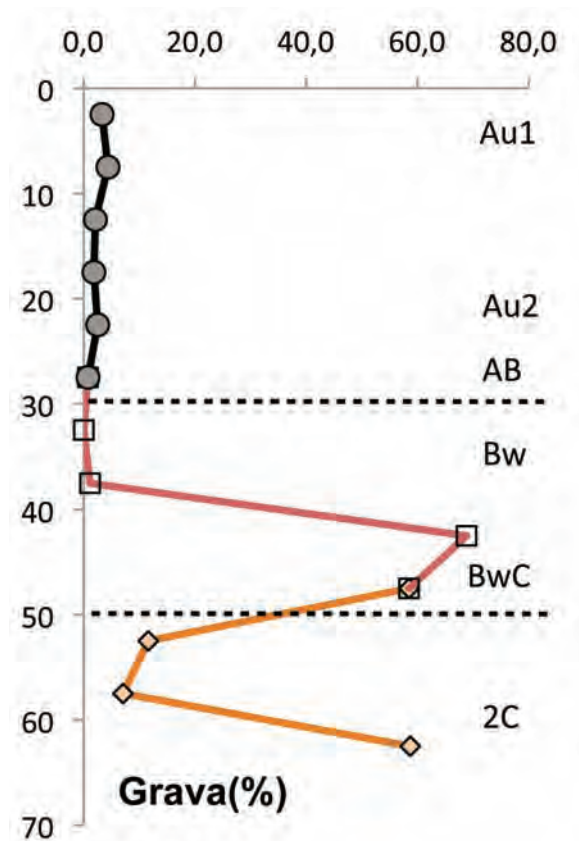


Figura 10) Variación en el contenido en grava (MOU-I)

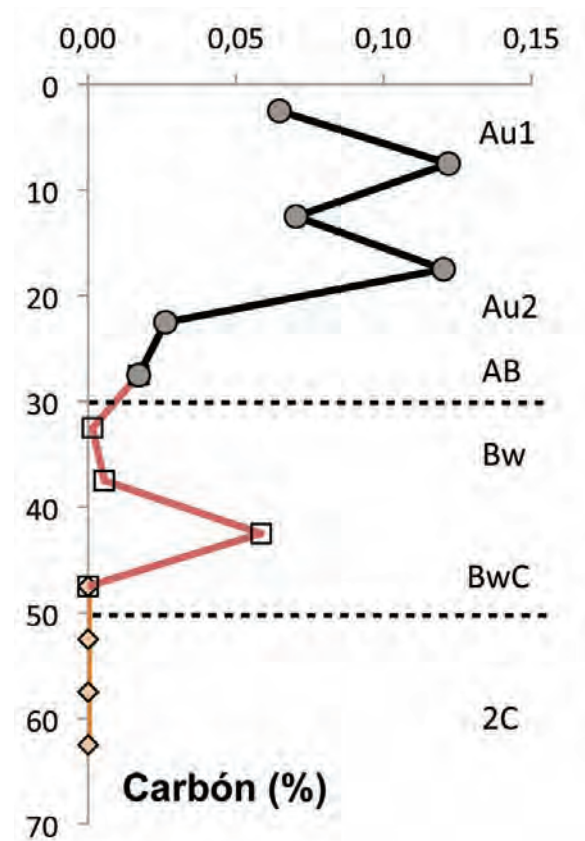


Figura 11) Variación en el contenido en carbones (MOU-I)

Prof (cm)	K	Ca	Ti	Fe	Cr	Mn	Ni	Zn	Ga	As	Br	Rb	Sr	Y	Zr	Pb
2,5	3.2	0.30	1.21	4.1	68	94	16	47	32	37	60	126	178	31	339	67
7,5	2.8	0.25	0.82	3.8	75	54	15	47	21	39	60	122	181	34	260	70
12,5	3.5	0.31	1.14	4.7	78	74	13	47	26	38	61	140	194	36	303	82
17,5	3.0	0.27	1.08	4.3	87	122	4	19	27	33	63	133	178	34	289	54
22,5	3.1	0.24	0.95	4.0	66	39	1	19	27	28	58	129	178	35	325	52
27,5	3.1	0.24	1.08	4.1	85	65	3	14	26	31	51	131	190	31	324	55
32,5	3.3	0.19	1.08	3.5	65	5	16	10	14	25	34	133	205	29	408	69
37,5	3.5	0.21	1.17	3.9	78	2	5	7	16	27	29	132	201	28	380	67
42,5	3.4	0.21	1.08	5.8	67	2	7	9	10	39	38	118	173	24	343	68
47,5	3.5	0.19	0.98	7.2	78	2	9	9	5	35	32	107	158	23	284	74
52,5	4.9	0.17	1.11	9.9	111	2	18	13	18	25	16	137	152	18	255	68
57,5	6.1	0.16	1.30	3.9	188	2	0	10	45	11	6	231	225	24	269	52

Tabla 1) Concentraciones de los elementos químicos determinados en las muestras del suelo MOU-I (K, Ca, Ti e Fe están en porcentaje, los demás elementos en $\mu\text{g g}^{-1}$)

es de origen coluvial, tal como sugiere la abundancia de gravas de cuarzo en el horizonte BwC). Calcio e Y muestran las concentraciones más elevadas en superficie y una disminución progresiva con la profundidad; As y Br comparten un máximo subsuperficial de concentración en el horizonte BwC, el mínimo en la base del horizonte 2C y un mínimo relativo en el Bw; Sr y Zr muestran un claro máximo de concentración en el horizonte Bw. La combinación de estos dos últimos hechos, máximo secundario de As y Br en el BwC y máximo de Zr en el Bw, nos permiten considerar que lo que se ha identificado morfológicamente como un horizonte BwC corresponde en realidad a un paleosuelo truncado. La acumulación de Zr podría ser resultado del proceso erosivo que lo truncó, mientras que los niveles elevados de Br y As en el BwC son indicativos de un horizonte que estuvo en o próximo a la superficie del suelo.

El Mn sólo tiene concentraciones detectables en el horizonte superficial. La ausencia de Mn en la parte inferior del perfil refleja la existencia de condiciones de hidromorfía temporal en el suelo; lo que es coherente con el tipo de alteración que presenta el horizonte 2C (con moteados). Finalmente, el Zn también presenta las concentraciones más elevadas en el horizonte superficial, aunque sólo en el subhorizonte Au1. Diversas investigaciones realizadas en el entorno de la central térmica de As Pontes han mostrado que los valores elevados de Zn se relacionan con las emisiones de dicha central, siendo el Zn un metal trazador de la combustión de carbón.

- Estadística multivariante

Con los datos obtenidos para este suelo hemos llevado a cabo un análisis de agrupación (*cluster analysis*) a fin de de-

terminar las similitudes en la naturaleza físico-química y la composición elemental. El análisis se realizó en dos pasos: 1) en un primer análisis se incluyeron sólo las muestras del suelo MOU-I, para determinar las diferencias/similitudes entre sus horizontes constitutivos; 2) en un segundo análisis se incluyeron todas las muestras analizadas, para establecer similitudes/diferencias entre el suelo externo (MOU-I) y los testigos y muestras de estructuras tomadas dentro el yacimiento.

El primer análisis ha corroborado algunas de las apreciaciones hechas más arriba (Tabla 2). Por un lado, se reconoce una cierta diferenciación vertical entre la parte superior del horizonte A y el AB y el Bw, aunque las diferencias en su naturaleza son pequeñas (las muestras de cada uno pertenecen a dos subcategorías del cluster). Por otro lado, se dan diferencias marcadas entre esos horizontes y el BwC y la parte superior del 2C y entre éstos y la parte inferior del 2C. Esto refuerza la hipótesis de que existe una discontinuidad significativa entre el horizonte BwC y los horizontes suprayacentes, además de la ya identificada para el horizonte C. Esto nos permite establecer una secuencia definitiva de horizontes: A, AB, Bw, 2BwC, 3C. Así pues el suelo contiene al menos tres ciclos formativos: un roca alterada *in situ* (3C), un resto de paleosuelo truncado (2 BwC) desarrollado sobre un coluvio antiguo y un suelo actual (A, AB, Bw) desarrollado a partir de un coluvio más moderno.

El segundo análisis nos permite establecer las afinidades geoquímicas entre todas las muestras analizadas. En la Tabla 3 hemos recogido los grupos geoquímicos a los que pertenecen cada uno de los niveles de los testigos de suelos. Recordemos que sólo MOU-I es un suelo externo al yacimiento, mientras que los otros tres se tomaron dentro de la zona ex-

	Morfología	Geoquímica
0-5	Au1	Ia
5-10	Au1	Ia
10-15	Au1	Ia
15-20	Au2	Ia
20-25	Au2	Ib
25-30	AB	Ib
30-35	Bw	Ib
35-40	Bw	Ib
40-45	BwC	II
45-50	BwC	II
50-55	2C	II
55-60	2C	III

Tabla 2] Niveles morfológicos y geoquímicos en MOU I

cavada (MOU-II: perfil completo en yacimiento para correlación estratigráfica; MOU-III: perfil completo del anillo; MOU-IV: perfil de acondicionamiento -nivel arqueológico 5).

Como puede verse en la tabla, el ciclo superficial -más joven- de MOU-I presenta una gran afinidad geoquímica con el nivel superior de MOU-II, y la base MOU-I con la base de MOU-II. Esto revela que los dos perfiles tomados como referencia (externa e interna) presentan grandes afinidades; pero también indica que el perfil MOU-II tiene una fuerte discontinuidad geoquímico/estratigráfica en su base (se apoyaría directamente sobre el horizonte 3C). Prácticamente todas las muestras de MOU-III y MOU-IV pertenecen al mismo grupo, y se diferencian significativamente de los perfiles de referencia, tanto interno como externo. La única excepción es la base de MOU-III pues su naturaleza es la misma que la del ciclo 2BwC de MOU-I. Esto también pone de manifiesto una discontinuidad en la base de MOU-III (cabe la posibilidad de que si se hubiesen tomado muestras a mayor profundidad en esta ubicación, se encontrase el nivel estratigráfico correspondiente a 3C).

Por lo que respecta a lo que subyace a la diferenciación, se pueden indicar los siguientes aspectos:

1. Las diferencias entre el grupo I y el II se deben a un mayor contenido de Ni, Sr, Y, Zr y Pb y un menor contenido de Cr, Mn y Br en el grupo I que en el II. Ambos muestran valores elevados de Zn (contaminación superficial por deposición atmosférica).

2. El grupo IV tiene contenidos relativamente elevados de K, Fe, Ni, Rb, Sr, Y, Zr y bajos de Cr, Zn, Ga; típico de hori-

Prof. (cm)	MOU			
	MOU I	II	III	IV
0-5	I	I	II	II
5-10	I	I	II	II
10-15	I	I	II	II
15-20	I	I	II	II
20-25	I	VI	II	II
25-30	I	VI	II	
30-35	I		II	
35-40	I		II	
40-45	IV		IV	
45-50	IV			
50-55	IV			
55-60	VI			

Tabla 3] Grupos resultantes del análisis de agrupación.

zontes subsuperficiales con menor grado de alteración y no afectados por deposición atmosférica.

3. El grupo VI es similar al anterior, con contenidos bajos Ca, Cr, Fe, Zn, As, Br y ausencia total de Mn; también característico de niveles subsuperficiales, tal vez sometidos a períodos de encharcamiento y condiciones reductoras.

4. Las muestras de estructuras M-57, M-70, M-104-3, M-175, M-184 y M-203, pertenecen al grupo II y son, por tanto, geoquímicamente afines a MOU-III y MOU-IV.

5. Las muestras de estructuras M-52, M-116, M-121, M-122, M-131, M-165, M-234, M-239 y M-240 forman un grupo separado (el grupo III), caracterizado por elevados contenidos de As y Br y bajos contenidos de Cr, Zn y Ga. Tienen una clara anomalía en cuanto al contenido de As, que podría deberse a la presencia de una mineralización en la zona en que se encuentran (véase el apartado de Distribución Espacial). Los bajos contenidos en Zn las separan de las muestras superficiales actuales.

6. La muestra M-22 tiene una naturaleza geoquímica particular: muy rica en Cr, Ni y Br y pobre en K, Fe, Zn, Rb, Sr e Y. Al igual que en el caso anterior, los bajos contenidos en Zn la separan de las muestras de la superficie actual, mientras que los igualmente bajos contenidos en otros elementos (K, Fe, Rb, Sr e Y) la asemejan a las muestras del grupo III.

Cabe señalar, finalmente, que los resultados geoquímicos resultan coherentes con la cronología radiocarbónica obte-

nida para las muestras analizadas (véase el apartado correspondiente a las edades). La única excepción viene representada por la muestra M-203 (UE 203) para la cual el IC le atribuye una edad reciente, pero la datación radiocarbónica indica una edad altomedieval. La única posible interpreta-

ción a esta discordancia es que el material de la rodera a la que pertenece la muestra se viese sujeto a algún proceso post-deposicional que hubiese cambiado su naturaleza ge-química, afectando con ello al contenido de elementos que intervienen en el cálculo del índice cronológico.