

SÍLEX Y PREHISTORIA. ANÁLISIS MINERALÓGICO DE MUESTRAS SILÍCEAS DE HUESCA Y ZARAGOZA

*Carlos Mazo Pérez**

*José Antonio Cuchí Oterino***

El sílex es una roca sedimentaria silícea de origen físico-químico que forma parte del grupo del cuarzo, estando incluido éste en la subclase de los tectosilicatos. Ese grupo está constituido por las diversas modificaciones del anhídrido silícico, tanto las polimorfos cristalinas como las amorfas. La diversidad que se puede observar dentro del mismo, tanto por lo que se refiere a las diferentes génesis de las rocas que lo integran (detrítica, físico-química, ya sea dando lugar a formas amorfas o cristalizadas, u orgánica o bioquímica), como a su aspecto exterior (color, brillo, textura, etc.) no son, en este caso, tan relevantes como la serie de características físicas y mecánicas que les resultan comunes, aunque con algunas diferencias de grado. Estas propiedades físicas y mecánicas, como son su elevada dureza, es decir, su notable resistencia a ser penetrados por otro material, que las capacita para trabajar materiales igualmente duros o muy densos y compactos; su escasa resiliencia, es decir, la baja resistencia a los choques, que permite *moldearlas* mediante percusiones y presiones; y su tipo de fractura, que proporciona esquirlas de filos aguzados, ya fueron *conocidas* por el hombre prehistórico, y es por ello que ese grupo de rocas constituyó la base material fundamental para la elaboración de sus artefactos líticos.

De todas las rocas silíceas la más ampliamente utilizada por aquellos hombres como soporte de sus útiles, al menos en lo concerniente a la prehistoria europea, es el sílex, que se convirtió en una roca casi insustituible desde las primeras etapas en las que el hombre se mostró ya como un animal tecnológi-

* Colegio Universitario de Huesca.

** Escuela Universitaria Politécnica de Huesca.

camente sofisticado, y preferible a otras (la cuarcita, por ejemplo) si resultaba posible disponer de ella.¹

Esta circunstancia y el hecho de ser más perdurable que otro tipo de materias alternativas (que, sin duda, también debieron emplearse, incluso con anterioridad) conduce a que la mayoría de los restos que se han conservado y que los prehistóricos recuperan de aquellos pretéritos sistemas tecnológicos (artefectos diseñados y empleados para aumentar la capacidad del hombre frente al medio) estén elaborados sobre este tipo de material.

Hace unas décadas se desarrolló substancialmente una línea de estudio que considera que la función de esos artefactos líticos de sílex (posteriormente se ha aplicado a otros soportes silíceos) se puede llegar a conocer a partir del análisis de unos rastros que aparecen en las zonas activas de las piezas durante su uso y que, en cierta medida, quedan como *fosilizados*, de forma que, en condiciones aceptables de conservación, podemos registrarlos e individualizarlos, llegando con ello a determinar las cinemáticas aplicadas y las materias procesadas por el hombre prehistórico en cada caso.

Incidentalmente, al constatarse cierta variabilidad en la velocidad de formación y de desarrollo de una de esas huellas, conocida como micropulido, que se achacó a las diferencias granulométricas que existían entre unos soportes y otros (la experimentación parecía indicar que un micropulido derivado de una idéntica actividad sobre la misma materia era más desarrollado y se formaba con mayor rapidez sobre un sílex de grano fino que sobre uno de grano grueso), surgió la cuestión de ¿en qué medida las características mineralógicas de los soportes podían influir en la tipología de esos rastros? Tal y como se planteaba la cuestión realmente no era algo nimio y se quería llamar la atención, sobre todo, en un aspecto concreto que podía tener implicaciones ciertamente negativas: ¿la variable materia prima podía llegar a producir un solapamiento de micropulidos? o dicho de otro modo ¿dos sílex diferentes podían presentar el mismo tipo de micropulido aunque la materia trabajada también hubiese sido distinta?

Esa variación mineralógica, además, quizás también podría traducirse en una presencia diferencial de las huellas laborales (soportes más o menos propensos a registrar determinadas huellas), e incluso en una conservación diferencial

¹ Esto es así en términos generales, aunque parece observarse alguna excepción significativa. Es el caso, por ejemplo, de los hendedores, por lo común realizados sobre cuarcita aunque no hubiera problemas de disponibilidad de sílex, y que podría tener su razón de ser en el mejor comportamiento de la cuarcita (mayor resiliencia y un desgaste en esquirolamientos menos acusado) ante determinadas tareas (P. UTRILLA y C. MAZO: *The use of quartzite in the Paleolithic of La Rioja: An essay of interpretation*. BAR International Series. 1989. En prensa). Un ejemplo mucho más evidente de la relación entre materia prima/destino funcional es el empleo de rocas metamórficas (mucho más tenaces) durante el Neolítico y Edad del Bronce en trabajos de percusión lanzada sobre madera (que además implica un cambio en la técnica de elaboración del artefacto), para lo que las rocas silíceas son mucho menos efectivas.

o en una transformación posterior de los rastros funcionales.² Todo esto, de manera global o parcial, podría llegar a ser un factor limitador ya no sólo para una interpretación concreta de un artefacto, sino de las perspectivas sobre estudios integrales de yacimientos, en los que, con demasiado optimismo, se pretendería reconstruir toda la gama de actividades económicas o de cadenas operativas desarrolladas por el hombre prehistórico.³

En consecuencia, a partir de 1980 en las publicaciones sobre funcionalismo se hizo un notable hincapié en que las colecciones experimentales que un analista debía manejar antes de afrontar el estudio de un conjunto arqueológico (convertido hoy en norma) se realizaran con el mismo tipo de sílex, en lo posible, que utilizó el hombre prehistórico en cada caso concreto, con objeto de reducir, eliminar o, al menos, controlar esa presunta variabilidad derivada de la materia prima. Sin duda que este planteamiento supone adoptar una posición ventajosa, pero toda esta inquietud en cuanto a actuar con un proceder científico parece que en muchos casos quedó sólo en eso. En numerosos trabajos se omitía cualquier alusión a la colección experimental y al carácter del programa realizado (de su existencia no había más indicio que una simple indicación textual), no se reflejaban variaciones substanciales con relación a las conclusiones obtenidas por autores anteriores (lo que, lógicamente, debía interpretarse en el sentido de que no se habían producido; incluso a pesar de que los sílex que se utilizaban en unos casos y otros presentaban una gran diversidad, al menos geográfica), en otros el origen del soporte de las piezas arqueológicas nada tenía que ver con el experimental y la mayoría carecía de análisis mineralógicos de los soportes. Esa general ausencia de divergencias fue posiblemente la que dio origen a una confianza desmesurada en el método (aunque sólo entre los propios analistas), dando la sensación de que el análisis funcional había alcanzado su madurez al poco de su nacimiento, y a su vez provocó un considerable desconcierto entre

²Nuestra experiencia con colecciones de referencia nos lleva a pensar que no todos los sílex responden de la misma manera a las acciones laborales. Reducir la cuestión a la relación grano/velocidad de desarrollo es reducir mucho el problema. Para explicarla en otros casos en los que la diferencia del soporte no era evidente se han involucrado otro tipo de variables: estado de la materia trabajada, contenido en agua, presión, duración, ángulo de contacto, etc. Sin embargo hemos podido observar que manteniendo esas variables constantes no todos los sílex responden igual, con independencia del grano. En general la tendencia ya comentada en cuanto a la velocidad de desarrollo se observa, pero también se dan casos de profundas diferencias en sílex de grano fino, llegando algunos a registrar mínimamente las huellas e incluso a no hacerlo ante determinadas materias.

Por lo que respecta a las alteraciones postdeposicionales, entre las que la pátina es la más importante, también hay una tendencia a que los sílex oscuros se modifiquen menos intensamente o no se modifiquen en comparación con los claros.

³Recientemente uno de nosotros ha apuntado, en ese mismo sentido, que las características mecánicas de la materia prima y los tratamientos térmicos a los que puede someterse voluntariamente o de forma accidental, influyen en la morfología y en la ratio de aparición de otro tipo de huella, los esquirlamientos, rastro sobre el que los analistas de macrodesgaste fundamentan buena parte de sus estudios (MAZO: 1992; e.p).

algunos que incorporándose por primera vez a estos estudios, y a la vista de lo expuesto, eran criticados por basar sus análisis en el cuerpo teórico ya desarrollado, y no en sus propias colecciones experimentales que, insistimos, no hacían sino reflejar una aparente y extraordinaria solidez del cuerpo teórico.

A raíz de que uno de nosotros se plantease un trabajo sobre la funcionalidad de los artefactos líticos del nivel magdaleniense de Abautz (Arraiz, Navarra), decidimos llevar a cabo un estudio, previo a la realización de la colección experimental comparativa, sobre afloramientos de material silíceo en Aragón y un análisis mineralógico, aunque sólo a nivel de lámina delgada, del tipo de sílex que cada uno de ellos ofrecía. El principal objetivo era elegir aquél que más similitudes presentara macroscópicamente y en su composición mineralógica a la norma de los soportes del yacimiento navarro, de manera que las comparaciones entre unos y otros pudieran efectuarse con un mayor grado de fiabilidad cuando las réplicas fueran sometidas a procesos de alteración o a procesos laborales, al suponerles, precisamente por ese parecido, comportamientos idénticos o próximos. Posteriormente se pretendía comparar comportamientos y registros funcionales en sílex mineralógicamente distintos. De forma esquemática, en la figura 1 se refleja el organigrama que regiría un estudio funcional, lógicamente sin desarrollar ninguno de los apartados experimentales.

El primer escalón en ese organigrama viene constituido por el establecimiento de una relación de procedencia entre el conjunto de artefactos del contexto arqueológico y el afloramiento o afloramientos que suministraron la materia prima. Esta relación puede ser simple o compleja, dependiendo del grado de homogeneidad que presenten aquellos y/o de la diversidad que ofrecen éstos. Evidentemente, dentro de la más estricta pragmática, no llegar a formular esa relación con certeza podría ser razón suficiente para no abordar ya las etapas posteriores. Sin embargo es obvio que como no en todos los casos se puede llegar a establecer esa relación, el análisis mineralógico puede ser el puente que ayude en los estudios funcionales y tecnológicos a superar esa fase. En este caso ya no se trata de determinar el lugar exacto en el que el hombre prehistórico se aprovisionó, sino de elegir un afloramiento, de entre una serie, que ofrece un sílex al que se le suponen las propiedades y los comportamientos mecánicos más parecidos al arqueológico, porque su estructura y su composición mineralógica también es la más parecida. En el caso del yacimiento de Abautz no fue posible, y todavía no lo es, determinar esa relación. Desconocemos dónde se localiza la cantera de aprovisionamiento.⁴

⁴Las prospecciones que se realizaron en las proximidades de la cueva de Abautz con objeto de localizar la fuente de aprovisionamiento de la materia prima no dieron resultados positivos. La espesa vegetación que en la actualidad presenta la zona dificulta esa tarea, pero con todo, según el mapa del Instituto Geológico y Minero de España —n.º 90, Sumbilla, E. 1:50000— las formaciones geológicas que se han individualizado en el área circundante al yacimiento, correspondientes al

1. MUESTRAS SILÍCEAS

En este artículo no vamos a tratar ni de huellas laborales, ni de alteraciones que pueden repercutir en su morfología y observación, ni de la diversidad que puedan experimentar unas y otras dependiendo del soporte que las contiene. Aquí se ofrece un listado de diversas localidades aragonesas en las que se han encontrado acumulaciones naturales de sílex de alguna importancia (para los estudios prehistóricos) y se presentan los resultados obtenidos en los análisis mineralógicos que se efectuaron sobre distintas muestras de esos afloramientos.

Sobre el territorio, esta roca se encuentra repartida de forma muy desigual. Además las características de la misma pueden variar sustancialmente de unas localidades a otras, e incluso, en ocasiones, se pueden encontrar diversos tipos de sílex dentro de una misma ubicación. En ausencia de la acción humana, la presencia de sílex en un área dada se debe a razones de índole geológico. Aparece por lo general en masas de forma arriñonada, aunque también se puede encontrar formando capas, que dan lugar a bloques tabulares o tableados. Este material puede hallarse encajado dentro de perfiles geológicos de rocas competentes o puede haber sido transportado por agentes de modelado externo y estar asociado a depósitos sueltos. Como ejemplo del primer caso tendríamos los nódulos de sílex que se encuentran en algunas de las formaciones calcáreas que rodean el centro de la cuenca del Ebro, como en las calizas cretácicas del prepirineo oscense. Un ejemplo de la segunda posibilidad lo constituyen las terrazas fluviales, como las del Ebro o del Matarraña, en las que se encuentran cantos de sílex más o menos rodados entre la glera.

El listado de afloramientos que aportamos no es completo (se conocen otros varios que no fueron objeto de estudio) y la muestra no es homogénea dado que las cantidades accesibles de sílex encontrado difieren sensiblemente de unas localidades a otras. Sin embargo, con la excepción de un tipo que

Albiense (Cretácico Inferior), y, un poco más al Oeste, al Frasnense (Devónico Superior) y al Buntsandsiense (Triásico), no contienen este material silíceo. Como tampoco lo contienen las formaciones que atraviesan el arroyo Zaldazaín y el río Ulzama, cuyos cauces discurren muy próximos a la cueva, pero que no transportan el más mínimo nódulo o fragmento de sílex.

El nivel magdaleniense de Abautz parece corresponder a una ocupación bastante puntual de la cueva, lo que podría significar que el hombre prehistórico no tuviese la necesidad de abastecerse de materia prima en el lugar durante su estancia en ella, siendo transportada consigo en su desplazamiento, o incorporándose durante el mismo. Sin embargo, aunque este argumento es posible, no se ve fortalecido por el hecho de que el número de restos de talla es elevado, y el de soportes no retocados y núcleos notable (Vid. P. UTRILLA: El yacimiento de la cueva de Abautz. Arraiz, Navarra. *Trabajos de Arqueología Navarra*, 3, págs. 203-345, 1982). Al Norte de Beruete e Igoa hay un nivel de calcarenitas arenosas correspondientes al Albiense medio que presenta una silicificación general. El afloramiento se encuentra a 16 km., en línea recta, del yacimiento, sin embargo ni las características macroscópicas de su aportes, ni su composición mineralógica, con una elevadísima proporción de carbonato cálcico, nos hacen pensar en este lugar como el punto de aprovisionamiento.

aparece en yacimientos del Matarraña (Bajo Aragón), extraordinariamente tenaz, de mala talla y peor lascado (tal y como hoy se presenta) y de tacto muy áspero, creemos que el sílex (o las rocas más o menos silicificadas) ofrecido por los 10 afloramientos que aquí se citan representa una buena parte de la gama de este material que aparece en los yacimientos prehistóricos de nuestra región, al menos por lo que a las características determinables a simple vista se refiere. Decimos a simple vista porque el análisis mineralógico ha deparado algunas sorpresas. El sílex se define como una roca dura, de grano muy fino (textura cripto o más o menos microcristalina), color variable, fractura concoidea lisa y brillo vítreo. De origen sedimentario, su composición mayoritaria son diversos materiales no detríticos de la sílice (compuesto oxigenado del silicio, de fórmula SiO_2), al menos en un 50%. De todos los afloramientos que aquí se citan, cualquier prehistoriador hubiera clasificado las muestras, por su aspecto, como sílex. Una de ellas habría planteado serias dudas o se habría descartado al observar su tipo de fractura, pero, como ya veremos, son más las muestras que, tras el análisis mineralógico, no podrían considerarse sílex en sentido estricto, aunque en apariencia lo parezcan, se comporten y se utilicen como tal.

Estos afloramientos no responden tampoco a una prospección sistemática. No se ha seguido un programa organizado para la búsqueda de las localidades. En ocasiones se prospectó el territorio próximo a algún yacimiento arqueológico, normalmente paleolítico (el estratificado de Gabasa o el superficial de Pozuelo), en el que aparecían útiles de sílex. En otros casos el hallazgo fue resultado de recorridos diversos sin una evidente finalidad arqueológica.

El total de muestras analizadas es de 16, procedentes de 10 áreas de afloramiento localizadas en las provincias de Huesca y Zaragoza (Fig. 2). El análisis petrológico es elemental, sólo a nivel de lámina delgada. Para la preparación de las láminas delgadas se definieron cortes perpendiculares a la estructura del nódulo o banco, intentando incluir, asimismo, parte de la zona de córtex de la muestra. Dada la dificultad del proceso de realización de las láminas delgadas, y el hecho de que éste no ha sido ejecutado por nosotros mismos, no nos es posible asegurar que se haya cumplido este objetivo en todos los casos, por lo cual y en general, no vamos a hacer consideraciones a este respecto.

El listado de las muestras analizadas a la lámina delgada es el que se relaciona a continuación, apareciendo la formación geológica, la localidad y la provincia de donde procede cada una ellas. En los casos, que son la mayoría, en los que sólo se analiza una muestra de un yacimiento, ésta fue elegida por considerarla como representativa del afloramiento, constituyendo la norma dentro de la variabilidad que cada cantera puede presentar.

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| 1.—Muschelkalk de Nuévalos (Z). | 3.—Cretácico de Escuaín (Hu). |
| 2.—Cretácico de Calasanz (Hu). | 4.—Pontiense de Borja (Z). |

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 5.—Mioceno de Borja (Z). | 11.—Mioceno de Pozuelo de Aragón (Z). |
| 6.—Mioceno de Botorrita (Z). | 12.—Mioceno de Pozuelo de Aragón (Z). |
| 7.—Mioceno de Botorrita (Z). | 13.—Mioceno de Mara (Z). |
| 8.—Mioceno de Muel (Z). | 14.—Mioceno de Mara (Z). |
| 9.—Mioceno de Sástago (Z). | 15.—Mioceno de Mara (Z). |
| 10.—Mioceno de Pozuelo de Aragón (Z). | 16.—Mioceno de Épila (Z). |



Fig. 2.

Localización geográfica de los afloramientos de sílex con muestras analizadas petrográficamente.

También se han reflejado las características macroscópicas de 12 de las 16 muestras de sílex, haciendo referencia a aspectos tales como: el color en fresco y la variación de coloración que, en algunos casos, presentaban aquellas en las que ya se observaba algún tipo de alteración (pátina, por lo general), expresados

mediante el código de la tabla de colores de Munsell para suelos; así como en qué medida éste era uniforme y si existían veteados. Se ha hecho indicación, también, al espesor y al tipo de córtex y a la densidad de cada una de las muestras. Igualmente fueron tenidos en cuenta aspectos como la existencia o no de líneas de fractura, la facilidad y la calidad del lascado (mediante un criterio personal y en consecuencia un tanto subjetivo, pero que puede dar una idea aproximada de las diferencias que sobre este aspecto existían entre ellas, por cuanto tanto el gesto técnico como la fuerza desarrollada se han pretendido mantener constantes) y la presencia de inclusiones, indicándose de qué tipo eran. Ninguna de las muestras es de carácter tableado, tratándose en todos los casos de nódulos con córtex total o, en algunos, parcial (Nuévalos, Calasanz, Pozuelo —12— y Mara —13—).

2. CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS

En las tablas 1 y 2 aparecen indicadas las características macroscópicas de 12 muestras de 8 afloramientos, de los que 3 tienen varias representaciones (Borja, Botorrita y Pozuelo). La mayor diversidad se aprecia en el apartado del color (aunque todas ellas se incluyan dentro de las gamas de grises y marrones) y, lógicamente, se habría incrementado de incluir soportes que resultan menos representativos en esos mismos afloramientos. No es extraño por cuanto ya es sabido que algunas canteras proporcionan sílex muy heterogéneos en cuanto a este rasgo de manera que a la par que aumenta la diversidad interna se incrementa el grado de solapamiento con materiales de otras canteras.

El color tiene repercusiones de orden técnico en los análisis funcionales. Evidentemente no tiene ninguna implicación en la velocidad de formación del micropulido, ni tampoco determina sus características morfológicas, pero sí atañe a su posterior observación. En este sentido los sílex muy claros resultan incómodos de analizar por cuanto reflejan una mayor cantidad de luz en general, entre la que se diluye o se enmascara la propia del área micropulida. Aunque existen algunas soluciones técnicas para este problema (tinciones con metilo de violeta, moldes, etc.) la calidad de la observación no es la misma.

Del total de muestras, 8 fueron clasificadas como de «grano fino» aparentemente de muy buena calidad para el lascado y 4 en las categorías, menos aptas, de «grano medio y grueso» repartidas al cincuenta por ciento. En realidad esta división no se realiza tanto con criterios visuales sino al tacto y sería por tanto más apropiado hablar de superficies lisas o suaves y de superficies rugosas. Debemos reconocer que partíamos con el prejuicio de que esa característica repercutía en un lascado de peor calidad y con mayores dificultades en la operación en las masas de sílex que se incluyesen en las dos últimas categorías; sin

CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS												
Nº de MUESTRA	PROCEDENCIA	Color fresco	Color alter.	Grado			Veteado			Esp. máx. Córtez (mm.)	Ferrug. Tipo Calcar. Córtez	Densidad
				Nada	Poco	Uniforme Muy unif.	Si	No Débil.				
1 Nue.		7,5YR 6/0	7,5YR 6/6							0.3		2.53
2 Cal.		7,5YR 6,5/0	5YR 6/1							0.2		2.53
3 Esc.		5YR 3/1	-							4.0		2.53
4 Bor.		5YR 4/1	-							2.0		2.37
5 Bor.		10YR 4,5/2	-							2.0		2.42
6 Bot.		5YR 3,5/1	-							2.0		2.51
7 Bot.		10YR 4,5/2	-							4.0		2.52
8 Mu.		10YR 6,5/2	-							4.0		2.41
10 Poz.		2,5YR 3/0	-							0.5		2.46
11 Poz.		7,5YR 7,5/0	-							1.0		2.46
12 Poz.		2,5Y 7/0	7,5YR 7/0							9.0		2.42
13 Ma.		2,5Y 7,5/0	10YR 4/1							0.5		2.51

Tabla 1.

embargo, a la vista de nuestros resultados y teniendo en cuenta, por supuesto, que las muestras definidas como tales realmente son escasas, no resulta posible asegurar que semejante carácter determine la calidad de los soportes y la facilidad de la operación (salvo cuando, es obvio para todos los casos, existan líneas de fractura previas patentes o latentes), aunque quizás se pueda intuir una cierta tendencia. De las 8 muestras de grano fino, dos ofrecieron soportes muy malos, siendo los de Escuaín excepcionalmente deplorables. Todos los nódulos de esta cantera se comportaron de la misma manera, ofreciendo soportes de forma paralelepípeda, ligeramente romboidal (semejantes a los cristales de calcita), sin las características propias de una fractura concoidea. De las 4 incluidas en la otra categoría, una ofreció un lascado de muy buena calidad. Este hecho podría ser debido a que el aspecto, más grosero, y el tacto, más áspero, no dependan exclusivamente de lo microcristalinas o criptocristalinas que sean las masas (compárense las láminas 8 y 13), sino de algún otro tipo de factor o factores

(como se observa, por ejemplo, para el caso de las fracturas transgranulares en sílex con tratamientos térmicos controlados). La presencia de elementos extraños (en nuestro caso microfósiles), aunque puede afectar de forma muy puntual al soporte, no parece tener, a tenor de lo visto aquí, ninguna influencia.

CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS																		
Nº de MUESTRA	PROCEDENCIA	Lineas de fractura		Lascado		Tipo de grano		Inclusiones y elem. extraños		Tipo de inclusión								
		Si	No	Malo	Aceptable	Buena	Fino	Medio	Grueso	Si	No	Dend. pirolusita	Geodas cuarzo	Carb. cálcico	Gasterópodos	Oxido manganeso	Oxido hierro	
1 Mue.																		
2 Cal.																		
3 Esc.																		
4 Bor.																		
5 Bor.																		
6 Bot																		
7 Bot.																		
8 Mu.																		
10 Poz.																		
11 Poz.																		
12 Poz.																		
13 Ma.																		

Tabla 2.

3. ANÁLISIS PETROLÓGICO

• *Muestra 1.*

Localidad: Nuévalos (Zaragoza). Término de los Estrechos. Corte de la carretera de Nuévalos a Munébrega.

Clasificación: Posible dolomía silicificada.

Formación geológica: Tramo medio del Muschelkalk.

Mineralogía: El porcentaje de minerales es variable a lo largo de la lámina, sin un predominio claro de la sílice, estando constituida ésta por ópalo, cuarzo microcristalino, cuarzo macrocristalino y lutecita. Por lo que respecta a los carbonatos, se individualizan esparita y posiblemente dolomita. Menos de un 1% corresponde a óxidos de hierro, aunque el tipo de mineral o minerales no han sido identificados (Fig. 3.1).

Textura y estructura: La textura de la lámina parece hallarse controlada por fantasmas de fósiles. El material de los caparazones está formado por romboedros de carbonatos, pero el hecho de que no se haya realizado una tinción de la lámina limita la identificación de los carbonatos en lo que hace referencia a la posible presencia de dolomita. Existen en ella dos tipos de silicificaciones: en huecos y difusa.

En el caso de la silicificación en huecos, el interior de alguno de los fósiles está relleno por lutecita y cuarzo macrocristalino. Los semiesferulitos de lutecita tapizan las paredes interiores de los caparazones fosilíferos y se transforman hacia el centro del hueco en cuarzos macro (que presentan diversas inclusiones), con extinción en aguas. La sutura entre ellos es rectilínea y de tipo poligonal. En algunos rellenos de fósiles no hay sílice fibrosa y se pasa directamente de cuarzo micro a macro.

En los puntos de silicificación difusa se detecta ópalo, sílice microcristalina en mosaico irregular y fibras irregulares de lutecita. Alguna forma fibrosa no tiene cambio de color por cuadrantes al introducir la lámina de yeso. No aparece ninguna forma lenticular que pudiera identificarse como un pseudomorfo de yeso (Lám. 1).

Procesos diagenéticos: El hecho de no haber teñido la muestra limita las deducciones diagenéticas, sin embargo parece que existe un proceso de silicificación de una roca carbonatada que actúa a varios niveles. En unas zonas se realiza de forma dispersa, incidiendo sobre los romboedros de carbonatos, mientras que en el interior de los fósiles, y sin afectar al material de los caparazones, se produce la formación de cuarcina, a la cual se la considera como indicador de la presencia de sulfatos en el medio. El hecho de que sólo aparezca este mineral en el interior de algunos fósiles hace pensar más en la posibilidad de una antigua existencia de sulfatos derivados de especies orgánicas azufradas, que en la existencia previa de yesos de origen inorgánico formados en *sebjas*.

Información geológica: El sílex procede de un tramo litológico identificado como dolomías en capas gruesas, de colores grises y rojizos, con una potencia aproximada de 30 m., correspondiente a la Facies Muschelkalk (Triásico Superior). Se trata de dolomías con textura de mosaico hipidiótico, de grano fino, con *pelets* irregulares y sombras de fósiles. Tienen estructuración de microlaminación paralela y algunas vacuolas, con señales de dolomitización incipiente.

Es frecuente la aparición de sílex en nódulos y/o placas. Estos materiales se han depositado en un ambiente de llanura de marea con acción de oleaje, de inter a submareal, en el que se desarrollaban barras que podían aislar zonas protegidas con carácter salino —sílex—. IGME 1:50 000. 437 (Ateca).

• *Muestra 2.*

Localidad: Calasanz (Huesca). Recogido en el cerro situado al Noroeste de la localidad.

Clasificación: Silexita.

Formación geológica: Cretácico superior, cerca de la base de la facies Garum.

Observaciones: El sílex se presenta en nódulos de tamaño decimétrico, con diaclasas que los fracturan en poliedros de superficie plana.

Mineralogía: Ópalo, cuarzo micro y macrocristalino y calcedonita son los integrantes de la sílice. El resto, que sólo alcanza un 1%, son óxidos de hierro, también sin identificar (Fig. 3.2).

Textura y estructura: Está dominada por un mosaico de cuarzo microcristalino con suturas irregulares y extinción en aguas. Con luz paralela presenta fantasmas de fósiles. Puntualmente se observa presencia de calcedonita. El ópalo aparece en áreas globulares no conexas y en «grietas» rellenas, tapizando los bordes. En el centro de estas discontinuidades se encuentra la calcedonita en esferulitos que contactan por aristas rectilíneas, dando lugar a un mosaico hexagonal. Más al interior de estas zonas de acumulación de calcedonita, y en algunas ocasiones con una disposición lateral, se encuentran cristales de cuarzo de mayor tamaño que presentan inclusiones en su interior. En algún caso la calcedonita aparece en esferulitos singulares, abrigada en la concha de un fósil. Aquella ha crecido en varios episodios e incluso parece observarse el paso de lutecita a calcedonita. La calcedonita se encuentra asociada con óxidos de hierro que la tiñen. En las ya mencionadas «grietas» se produce una acumulación de ópalos y óxidos de hierro. El crecimiento de los minerales de sílice ha desplazado a los opacos. También aparece alguna espícula silíceas. Existen aureolas ferruginosas en torno a poros (Lám. 2).

Procesos diagenéticos: La primera impresión es la de que se trata de nódulos de sílex de precipitación directa, asociada con organismos vivos. La diagénesis del ópalo por deshidratación y cristalización desemboca en la aparición de cuarzo microcristalino y calcedonita. En puntos concretos, tal vez en poros, se han producido procesos de redisoluciones. Las grietas quizás pudieran estar asociadas a procesos de tipo tectónico, a modo de estilolitos. Otra posibilidad sería considerarlos como *burrows*. En todo caso su edad aparece como tardía y en ellos se

produjo la precipitación inicial del ópalo asociado a los óxidos de hierro. La disminución de las concentraciones en sílice disuelta conduce a la precipitación de la calcedonita y el cuarzo macro.

Información geológica: El sílex procede del nivel litológico que tradicionalmente se conoce como facies Garumniense, situado en perfecta continuidad con los niveles superiores del Cretácico Superior (Mastrichtense). Este nivel está constituido por tres tramos diferenciados, de los que el inferior está caracterizado por presentar caliza micrítica gris con carofitas, gasterópodos de agua dulce y oncolitos, así como niveles de nódulos de sílex. IGME 1:200 000. 23 (Huesca).

- *Muestra 3.*

Localidad: Paraje de Cabianzuelo, Escuaín (municipio de Puértolas, Huesca).

Clasificación: Caliza silicificada.

Formación geológica: Cretácico-Eoceno del Pirineo.

Mineralogía: Un 30% corresponde a sílice microcristalina difusa, sílex detrítico, espículas silíceas y calcedonita. Los carbonatos, micrita y esparita, constituyen el 50%. Casi un 20% lo representan minerales arcillosos y algo menos del 1% son óxidos de hierro (Fig. 3.3).

Textura y estructura: Se trata, básicamente, de un esqueleto de espículas silíceas y granos redondeados de sílice detrítica, en una matriz mixta de carbonatos y arcillas. En el interior de algunos fósiles aparece sílice fibrosa, considerada como calcedonita. La silicificación más importante se produce en forma difusa, por cuarzo microcristalino, a la manera de mosaico irregular, con algunos restos de ópalo. Espículas y granos de cuarzo detrítico están parcialmente corroidos. Algún cuarzo parece presentar hábito romboédrico (Lám. 3).

Procesos diagenéticos: Aparentemente, la fase inicial de su formación fue la cementación por esparita de un esqueleto de granos de cuarzo, fósiles varios y espículas silíceas (posiblemente esponjas). Los granos de cuarzo y las espículas aparecen corroídos, quizás por un aumento en el pH, lo cual daría origen a la precipitación de la esparita de cristales romboédricos zonados. En una fase posterior se produciría un efecto de precipitación de la sílice en grietas, que posiblemente tiene un origen cercano. Dado que la muestra aparece en una zona de falla, la fase de agrietamiento y la migración de la sílice podría estar asociada a efectos de la misma.

Información geológica: Es difícil ubicar la muestra dado que se recogió en unas calizas carstificadas en la ladera del *klippe* de Castillo Mayor, que presenta, además, unos importantes recubrimientos de ladera (*grezes-litées*).

Es muy probable que proceda de algún afloramiento de caliza con sílex areniscas del Terciario de facies de plataforma, aunque también podría corresponder al Santonense. En la entrada de Añisclo se localiza un nivel de 43 m. de caliza de color gris oscuro (biomicrita) con niveles de nódulos de sílex. Estas calizas se encuentran igualmente en la zona del circo de Soaso y se les atribuye una edad del Ilerdense inferior (Eoceno). Asimismo, la formación Metils (Ilerdense superior) de caliza (micrita) arcillosa también presenta algunos pequeños nódulos de sílex.

Por otra parte, en Aguasalenz se localiza un potente conjunto de calizas grises oscuras micríticas en bancos de 1 decímetro en general, que presentan abundancia de niveles con nódulos de sílex. Corresponden al Santonense (Cretácico Superior).⁵ IGME 1:50 000. 178 (Broto). IGME 1:50 000. 179 (Bielsa).

• *Muestra 4.*

Localidad: Borja (Zaragoza). Se encontró suelto en las proximidades del yacimiento arqueológico romano denominado «Los Pedreñizos».

Clasificación: Probable caliza pontiense silicificada.

Formación geológica: Mioceno continental del Ebro. Vindoboniense-Pontiense.

Mineralogía: La sílice, en forma de cuarzo cripto y microcristalino, calcedonita y granos de cuarzo detrítico corroídos, constituye el 20%. Los carbonatos (micrita) casi el 80%, y menos del 1% los óxidos de hierro (Fig. 3.4).

Textura y estructura: Presenta una zonación subparalela y con una clara dominancia del contenido fosilífero. Algunos fósiles tienen su interior tapizado por semiesferulitos de calcedonita en sutura casi lineal, que en su centro pasa a cuarzo mesocristalino con extinción en aguas. Aparece también cuarzo microcristalino en forma difusa (Lám. 4).

Procesos diagenéticos: Aparentemente, la roca inicial fue una caliza o una caliza margosa continental formada en aguas dulces, libres de sulfatos y con abundantes microorganismos e incluso gasterópodos. A partir de ella se produciría un proceso de silicificación limitado, que posiblemente se realizó en una época temprana. Los huecos del interior de los fósiles se encuentran tapizados de esferulitos de calcedonita, los cuales dieron lugar a cuarzo de mayores dimen-

⁵Es necesario hacer un estudio de micropaleontología para poder definirse con más seguridad. En la facies de plataforma del ilderdense inferior aparece Alveolina, Nummulites, Assilina, Dyscocy-clina, espículas, Globorotalia (*Gl. aequa*, *Gl. gracilis*, *Gl. aff. mackannai*). La formación Metils contiene espículas, radiolarios, ostrácodos, rotálidos, lagénidos y globigerínidos. Por su parte, la microfacies de las calizas de Aguasalenz se caracteriza por la presencia de espículas y algunos ostrácodos, habiéndose hallado Lacazina (*L. elongata*), Minuxia Lobata y Montcharmontia.

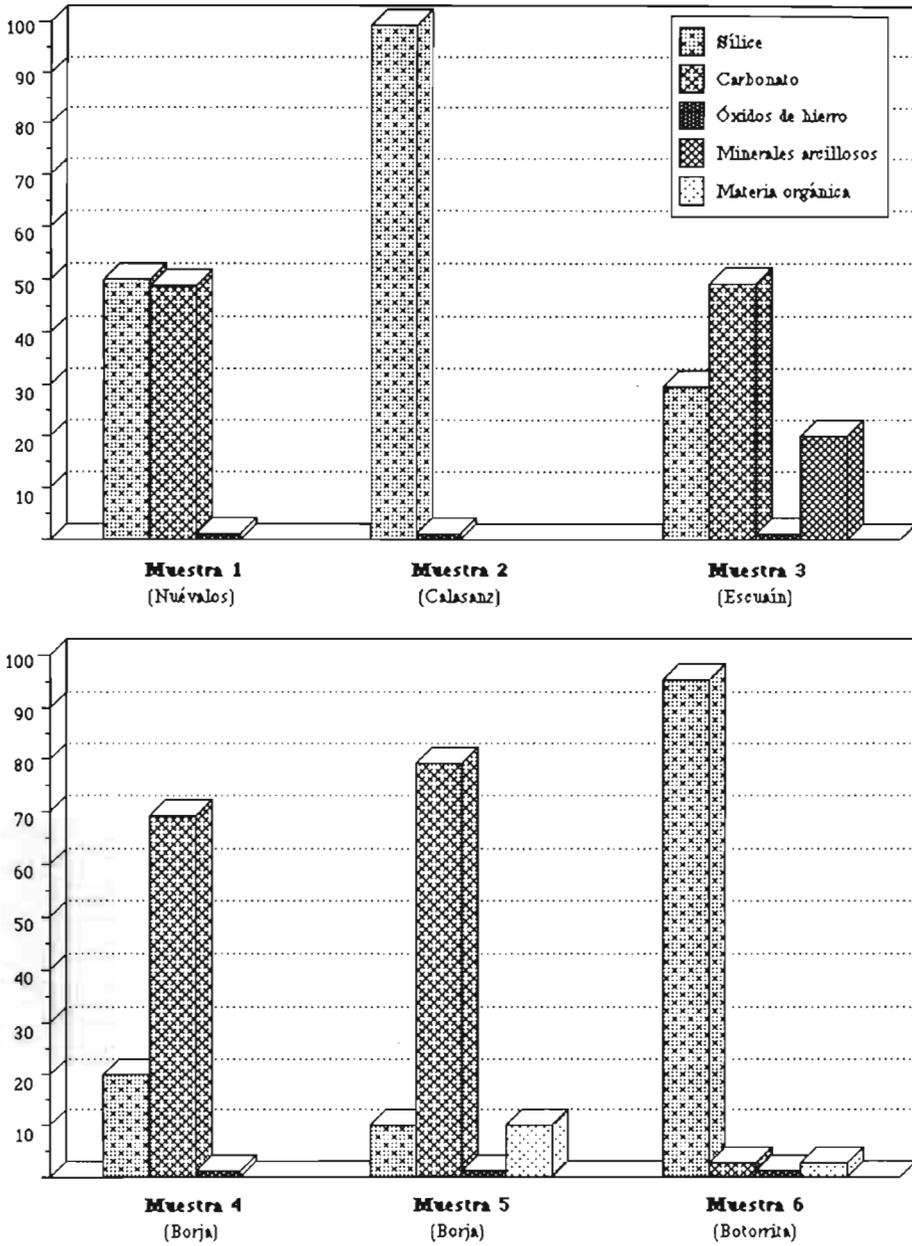


Fig. 3.

siones cuando la concentración de la sílice disuelta disminuyó. Las conchas de los fósiles no se han silicificado y posiblemente han orientado la formación de la calcedonita. En el resto de la roca aparecen algunos procesos de silicificación dispersos que pueden suponerse por acciones de reemplazamiento.

La presencia de granos de cuarzo corroídos podría indicar una fase, previa a la silicificación, de pH elevado. En todo caso no parece que sea ésta la fuente de la sílice neoformada sino que hay que buscarla dentro del mecanismo que produce la silicificación en la misma zona de potentes bancos de sílex ya citados en el IGME 320.

Información geológica: El sílex es un material muy extendido en toda la zona, ya sea acompañando al yeso, como en el caso de la formación Monteagudo (Vindoboniense-Pontiense), ya sea en las calizas y margas limolíticas calcáreas (Pontiense). Ambas formaciones presentan en algunos tramos de sus unidades litológicas frecuentes nódulos de sílex, en ocasiones de considerable tamaño. Como en el caso anterior es necesario un estudio micropaleontológico. IGME 1:50 000. 320 (Tarazona).

• *Muestra 5.*

Localidad: Borja (Zaragoza). Carretera de subida a la Muela de Borja.

Clasificación: En campo se consideró como integrante de una costra cuaternaria. Esta opinión debe ser ratificada con una nueva visita, ya que la información del microscopio petrográfico apunta hacia una marga silicificada.

Formación geológica: Mioceno continental del Ebro.

Mineralogía: El contenido en sílice supone el 10%, constituido por cuarzo micro y macrocristalino, granos de sílice detrítica redondeados con síntomas de crecimiento y algún cuarzo idiomorfo. Los carbonatos (micrita) constituyen casi el 80%. Algo menos del 10% es materia orgánica y menos del 1% óxidos de hierro (Fig. 3.5).

Textura y estructura: Se trata de una roca relativamente homogénea con una distribución irregular de oquedades rellenas de sílice y zonas de acumulación de materia orgánica (*¿pellets?*). Esencialmente micrítica. Los poros se encuentran rellenos de ópalo que pasa a minerales fibrosos (calcedonita con sutura lineal), los cuales presentan extinción en aguas hacia el centro. También existe sílice microcristalina difusa. No se observan pseudomorfos de yeso en sílice, aunque algún carbonato parece presentar forma lenticular. Los óxidos de hierro se presentan en asociaciones más o menos lineales de glómérulos (Lám. 5).

Procesos diagenéticos: El proceso diagenético parece seguir una doble vía de silicificación. Por un lado, silicificación en poros, que se inicia a partir de soluciones concentradas de sílice que precipitan ópalo en las paredes de la

cavidad. Conforme disminuye la concentración de sílice disuelta se pasa a la precipitación de otras formas como calcedonita y cuarzo macro. Por otra parte se asiste a un proceso de sustitución de la matriz micrítica por sílice microcristalina.

Información geológica: Sin olvidar lo ya comentado para la muestra anterior, nos inclinamos por considerar ésta como correspondiente al tramo superior de la Unidad T^{Bb-Bc}11-12, de edad Vindoboniense-Pontiense. El tramo en cuestión se trata de arcillas y limos de tonalidades rojas y pardo-amarillentas, con bancos interestratificados de calizas arenosas, calizas arcillosas, a veces con nódulos de sílex, margas limolíticas compactas con sílex y, hacia el techo, algún nivel arenoso. IGME 1:50 000. 320 (Tarazona).

• *Muestra 6.*

Localidad: Botorrita (Zaragoza). Canto suelto recogido en las proximidades del Cabezo de las Minas.

Clasificación: Silexita marrón con una zonación interior concéntrica al nódulo a modo de anillos de Liesegang.

Formación geológica: Mioceno. La muestra estaba suelta a techo del glacis que desciende desde La Plana de Zaragoza.

Mineralogía: 95% de sílice, individualizada como ópalo, cuarzo micro y macrocristalino y calcedonita. Aproximadamente un 2% de carbonatos (micrita), 2% de materia orgánica y un 1% de óxidos de hierro (Fig. 3.6).

Textura y estructura: Bastante homogénea, aunque se aprecia una transición entre los diferentes minerales de la sílice. También se observa la presencia de fantasmas de fósiles (visibles en luz paralela), así como la de cuarzo microcristalino en mosaico. La zonación observada macroscópicamente se debe al diferente desarrollo de la cristalinidad de la sílice. En algún caso la zonación se ve reforzada por la concentración de óxidos de hierro. En el interior de algunos fósiles hay calcedonita tapizando las paredes de la concha que se transforma hacia el centro en cuarzo microcristalino de mayor tamaño. Parecen observarse algunos granos de cuarzo que pudieran ser autigénicos o, con mayor probabilidad, detríticos (Lám. 6).

Procesos diagenéticos: Aparentemente se trata de una caliza o una margocaliza fosilífera en la que se ha llegado a un elevado grado en el reemplazamiento del carbonato cálcico por la sílice. El ópalo está evolucionando hacia cuarzo microcristalino. Los huecos del interior de los fósiles se tapizan de esferulitos de calcedonita que dieron paso a cuarzo de mayores dimensiones cuando la concentración de la sílice disuelta disminuyó. Las conchas de los fósiles no se han silicificado y posiblemente han orientado la formación de la calcedonita.

Información geológica: El hecho de que la muestra se encontrase suelta no

permite hacer demasiadas precisiones sobre su lugar de procedencia. Nos inclinamos a pensar, sin embargo, que podría localizarse en la Plana de Zaragoza, que Quirantes (1978) incluye dentro del Miembro Castejón de la Formación Alcuabierre, de edad miocena (Vindoboniense-Pontiense).⁶ Se trata de una plataforma calcárea que, como otras, culmina el relleno mioceno del Ebro, presentando bancos, a veces potentes de calizas, limos, margas y alguna pasada yesífera, pudiendo existir, asimismo, calizas con nódulos y masas de sílex. IGME 1:200 000. 32 (Zaragoza).

• *Muestra 7.*

Localidad: Botorrita (Zaragoza). Canto suelto recogido en las proximidades del Cabezo de las Minas.

Clasificación: Silexita.

Formación geológica: Mioceno.

Mineralogía: Sílice en un 80% (ópalo, cuarzo microcristalino y ¿calcedonita?). Los carbonatos suponen algo menos del 20% —micrita y ¿esparita?— apareciendo en caparazones de fósiles y algas. Óxidos de hierro en menos de un 1% (Fig. 4.7).

Textura y estructura: Se encuentra dominada por los numerosos restos de fósiles. El carbonato de los fósiles no ha sido completamente reemplazado, y en el interior de ellos aparecen formas fibrosas, no esféricas, posiblemente calcedonita y cuarzo microcristalino en empalizada que pasa a mosaico hacia el centro (Lám. 7).

Procesos diagenéticos: Similares a los de la muestra anterior.

Información geológica: La misma que para la muestra anterior.

• *Muestra 8.*

Localidad: Muel (Zaragoza). En cantera.

Clasificación: Caliza silicificada.

Formación: Mioceno continental del Ebro. Formación Longares.

Mineralogía: La sílice supone el 30%, individualizándose cuarzo microcristalino, ¿lutecita? y algún grano detrítico. Los carbonatos (micrita) constituyen el 60%, mientras que los óxidos de hierro y la materia orgánica representan aproximadamente el 2% para cada caso (Fig. 4.8).

⁶J. QUIRANTES: *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario continental de los Monegros*. Institución «Fernando el Católico», C.S.I.C., Zaragoza, 1978.

Textura y estructura: En esta lámina se encuentra controlada por los fantasmas de los fósiles de la roca original. Las conchas de éstos parecen resguardar a un mineral de sílice fibrosa que aparentemente es lutecita, que presenta una extinción irregular (¿tensionada?). Ésta también se localiza fuera de las conchas, formándose a partir del cuarzo microcristalino. En algún punto parece verse sílice fibrosa con extinción en paralelo. Los opacos tienden a acumularse en forma de masas, asociados a sílice microcristalina, y en el interior de fósiles. Existen algunos poros rellenos de microcuarzos en forma de *puzzle*. También se observan algunos granos detríticos recrecidos. Hacia lo que pudiera ser el córtex del nódulo disminuye el grado de silicificación (Lám. 8).

Procesos diagenéticos: La roca original, posiblemente una marga yesífera, ha sufrido un proceso de silicificación. La aparición de lutecita se interpreta como presencia original de sulfatos de diverso origen (en este caso yeso), reemplazados por la sílice.

Información geológica: La Formación Longares, de donde procede esta muestra, pertenece a una unidad cronoestratigráfica Aquitaniense-Vindoboniense inferior (Mioceno), con límite superior poco preciso por falta de apoyo paleontológico. IGME 1:200 000. 32 (Zaragoza).

• *Muestra 9.*

Localidad: Sástago (Zaragoza). Laguna de la Playa. Suelto en las obras de las salinas antiguas.

Clasificación: Marga yesífera.

Formación geológica: Mioceno. Formación Alcubierre. Miembro Bujaraloz.

Mineralogía: La sílice, en forma de cuarzo microcristalino, constituye el 60%. Los carbonatos (micrita y esparita) el 35%. Casi un 5% correspondería a sulfatos (yesos y anhidrita), y algo menos del 1% a arcillas de neoformación (Fig. 4.9).

Textura y estructura: Presencia de fantasmas de fósiles. Cemento micrítico con poros llenos de cuarzo microcristalino con extinción normal y sutura poligonal, e inclusiones de yeso que también presentan algunos puntos con micritas. Los yesos se presentan en grandes cristales aciculares intercrecidos (Lám. 9).

Procesos diagenéticos: La sedimentación del lodo micrítico, en el ambiente sedimentario de las sebjas del Terciario continental de la cuenca del Ebro, supone la presencia simultánea de carbonatos y sulfatos de calcio. La anhidrita parece tener una génesis secundaria. La digénesis de este material margoso puede suponer la transformación del lodo micrítico con recristalización esparítica y la transformación del yeso en anhidrita. La silicificación, relativamente pequeña de estos materiales, se centra en poros y huecos de fósiles.

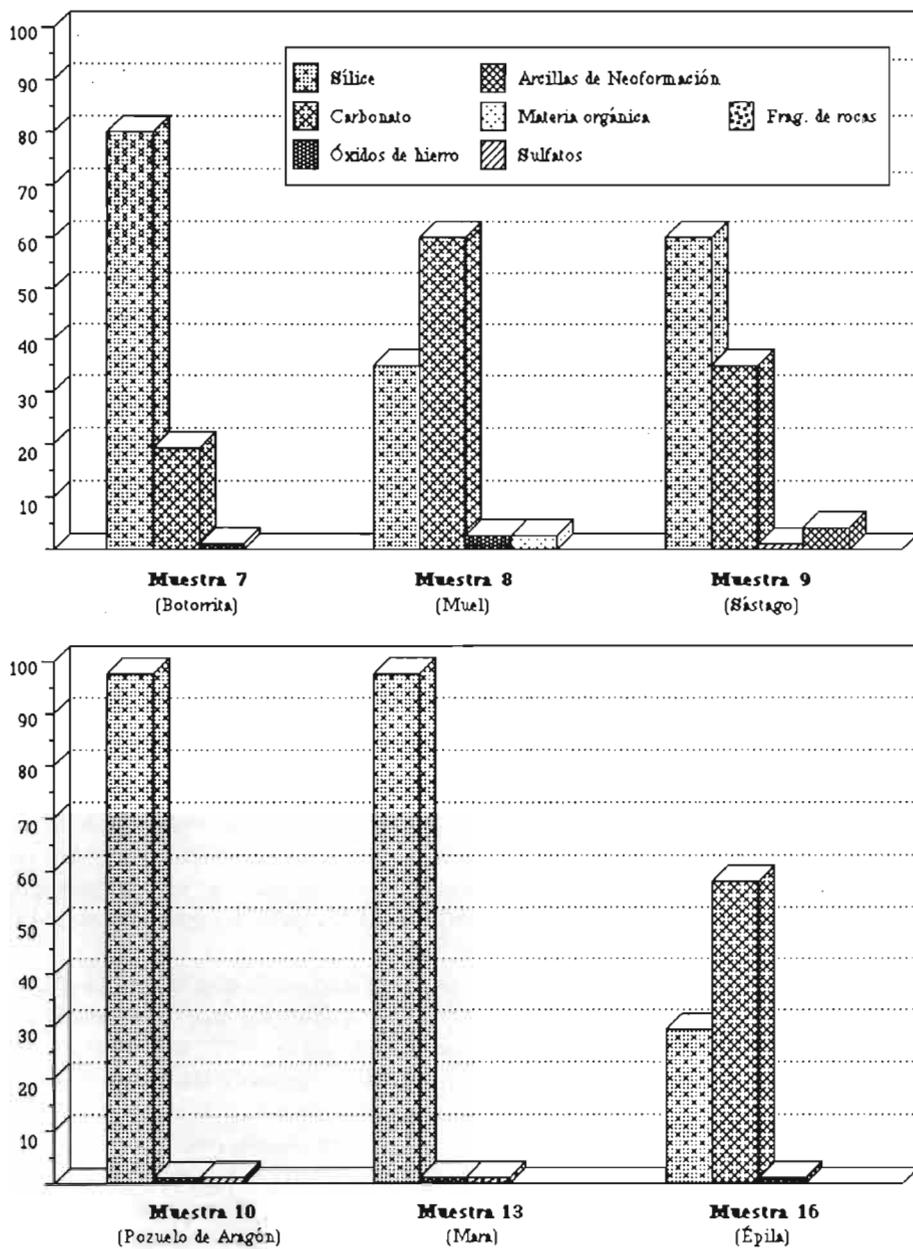


Fig. 4.

Información geológica: El estudio básico de la zona monegrina es el realizado por J. Quirantes (1978). Aunque no parece dedicar demasiado interés a los procesos de silicificación, señala la presencia de paragénesis de yeso y sílex en muestras de la zona del Castellar (Tauste, Zaragoza). En el corte de Bujaraloz no señala la presencia de sílex, pero sí están indicados en el corte de Peñalba II, nivel Blanco de Peñalba, donde aparecen margas blancas y verdes así como calizas (biomicritas) con nódulos de sílex y de yeso. En la base del corte se repite la presencia de sílex en una facies similar a la descrita.

• *Muestra 10.*

Localidad: Pozuelo de Aragón (Zaragoza).

Clasificación: Silexita.

Formación geológica: Posiblemente Mioceno continental del Ebro. La muestra se localizó suelta y no puede asignarse a ninguna formación concreta.

Mineralogía: 98% de sílice, constituida por ópalo, cuarzo microcristalino, lutecita y cuarcita, 1% de óxidos de hierro y 1% de yeso, posiblemente restos de anhidrita (Fig. 4.10).

Textura y estructura: Mosaico de ópalo y sílice cripto y microcristalina. Se observan cristales lenticulares de yeso corroídos por sílice en semiesferas de lutecita. Los óxidos de hierro se presentan en formas esferoidales y fibrosas. En ocasiones se disponen en la zona de contacto entre el yeso y la sílice. Existen, asimismo, acumulaciones esferoidales de pequeños cristales lenticulares de cuarzo que sólo se observan en luz paralela. Con nicoles cruzados estas zonas aparecen como áreas oscuras, con predominio de ópalo. Algunos de estos núcleos no están completamente silicificados y presentan cuarzo en empalizada en el borde. En algunos puntos se observa la neoformación de un mineral no identificado, tal vez arcilloso. También aparecen pequeños cristales, posiblemente de celestina, con alto relieve en luz paralela (Lám. 10).

Procesos diagenéticos: Se trata de la silicificación de una marga yesífera. El reemplazamiento inicial parece iniciarse por ópalo. Por recristalización de este mineral o por disminución de la concentración de la sílice en disolución, se produce la formación de la lutecita. La sílice cripto y microcristalina se produce también en relación con el proceso de envejecimiento y recristalización de ópalo o por disminución de la concentración de la sílice en disolución. Las aglomeraciones lenticulares de yeso han sido asociadas a procesos diagenéticos de carácter edáfico.

Información geológica: Como ya se ha señalado, el hecho de tratarse de una muestra suelta hace difícil precisar su origen geológico. Aparece el sílex en los glaciais del piedemonte de Fuendejalón, pudiendo provenir tanto de la unidad

litológica de margas, arcillas, conglomerados y areniscas de edad Vindoboniense-Pontiense, como de la unidad de calizas y margas del Aquitaniense-Vindoboniense. IGME 1:200 000. 32 (Zaragoza).

• *Muestra 11.*

Localidad: Pozuelo de Aragón (Zaragoza).

Clasificación: Silexita.

Formación geológica: Posiblemente Mioceno continental del Ebro. La muestra se localizó suelta y no puede asignarse a ninguna formación concreta.

Mineralogía: Semejante a la de la muestra anterior.

Textura y estructura: Similar a la lámina n.º 10. Algunas diferencias radican en la presencia de lenticulares de sílice y en la aparición en algunos puntos de calcedonita. También se observa la presencia de cuarzo petaloideo, con extinción similar a la de la lutecita, asociado a cuarzo macroscópico con extinción en aguas y en mosaico con bordes poligonales irregulares. Algunos esférulos parecen tener un carácter mixto, con acículas contiguas de elongación positiva y negativa. Asimismo, se aprecia, localmente, una mayor cantidad de micrita (hasta un 5%). Aparecen lenticulares de yeso sin silicificar (Lám. 11).

Procesos diagenéticos e información geológica: Similares a los de la muestra anterior.

• *Muestra 12.*

Localidad: Pozuelo de Aragón (Zaragoza).

Clasificación: Silexita.

Formación geológica: Idéntica a la de las dos muestras precedentes.

Mineralogía: Semejante a la de las dos muestras anteriores.

Textura y estructura: Similar a la de la lámina n.º 10. Difiere en la presencia de esferulitos de lutecita de bordes irregulares, pasando a cuarzo petaloide y cuarzo micro (Lám. 12).

Procesos diagenéticos: Similar a los de las láminas n.º 10 y 11. La línea de acumulación de carbonatos y estroncio parece bastante posterior a los procesos de silicificación.

Información geológica: Idéntica a la de las dos láminas anteriores.

• *Muestra 13.*

Localidad: Mara (Zaragoza).

Clasificación: Silexita.

Formación geológica: Aparece en grandes bancos en la base de la cantera de sepiolita. Mioceno continental de la cuenca de Calatayud. Posiblemente Aragoniense.

Mineralogía: La sílice (cuarzo microcristalino) supone el 98%. Fragmentos de roca y óxidos de hierro constituyen el 1% respectivamente (Fig. 4.13).

Textura y estructura: Mosaico de sílice mesocristalina con tamaño de grano relativamente uniforme y suturas irregulares. Los óxidos de hierro se presentan en forma de rosarios de esferulitos. Se observa la presencia de pseudomorfos lenticulares de yesos silicificados que son visibles en luz paralela. En un lateral de la lámina se pasa a una textura de grano menor en donde se observan formas fibrosas de lutecita de suturas irregulares. También se aprecia un bandeado de opacos (Lám. 13).

Procesos diagenéticos: Se trata de un proceso de silicificación de un yeso o una marga yesífera.

Información geológica: El sílex se ha tomado en la base de la cantera de sepiolita, acualmente en explotación, que existe entre las localidades de Mara y Orera. Son frecuentes los nódulos de sílex que, en ocasiones, aparecen arrosariados constituyendo prácticamente niveles continuos. Forman parte de un tramo de yesos y arcillas grises de unos 100 m. de potencia, correspondiente al Aragoniense superior (Mioceno). IGME 1:50 000. 438 (Paniza).

• *Muestra 14.*

Localidad: Mara (Zaragoza). El sílex pertenece al techo de la zona de explotación de sepiolita en las proximidades de Mara y Orera.

Clasificación: Silexita estratiforme con accidentes a modo de *burrows* verticales de color más claro que el resto de la roca.

Formación geológica: Mioceno de la cuenca de Calatayud. Posiblemente Aragoniense.

Mineralogía: El porcentaje de los diversos minerales es muy variable. En los tubos predominan los minerales calcáreos, arcillosos y los fragmentos de rocas, mientras que entre ellos predomina la sílice. La sílice está constituida por cuarzo micro y macrocristalino. En los carbonatos se individualizan micrita y esparita. Aparecen, asimismo, óxidos de hierro, restos de roca y arcilla.

Textura y estructura: Textura compleja en dominios, estableciéndose diferencias entre las zonas de la masa general y los tubos verticales. El aspecto

general es muy irregular. En el interior de los dominios aparecen cuarzos macro en empalizada irregular, con suturas poligonales en el borde de huecos de grandes dimensiones. Estos huecos son circulares y de aspecto muy regular. En su interior se observan, también, rellenos de cuarzos macro, con sutura rectilínea y extinción normal. Aparece calcedonita con sutura irregular, en esférulos de pequeño tamaño, asociada con el ópalo. Los bordes de los grandes cristales característicos de la esparita aparecen irregulares, tal vez corroídos. En ocasiones estos cristales se encuentran maclados. Los fragmentos de rocas, en general muy alterados, se localizan fundamentalmente en los dominios arcillosos, mientras que los óxidos de hierro se presentan asociados con la sílice, como acumulaciones de glomérulos (Lám. 14).

Procesos diagenéticos: La génesis de esta roca parece compleja. Posiblemente a partir de sedimentos derivados de las cercanas áreas paleozoicas, se crearían depósitos en los que se produciría, por efectos diagenéticos, la formación de la sepiolita infrayacente a este nivel silíceo, que por otra parte parece haber experimentado un proceso de tipo edáfico.

Los huecos esféricos, rellenos con posterioridad de cuarzo, parecen ser el resultado de una porosidad secundaria, tal vez relacionada con los procesos de corrosión de los granos detríticos y el crecimiento de los cristales grandes de esparita. Con posterioridad, la corrosión de estos últimos cristales podría ser coincidente con la precipitación de la sílice en estos huecos. El aspecto de la sílice difusa hace pensar en un proceso amplio de reemplazamiento generalizado de arcilla por sílice. Su relación temporal con el proceso anterior no es fácil de determinar. Aparentemente es anterior. En ella se da la típica transición desde ópalo hasta minerales de cuarzo de mayor tamaño, bien por procesos de envejecimiento del ópalo o por disminución de la concentración de la sílice disuelta.

Información geológica: Idéntica que en la muestra anterior.

• *Muestra 15.*

Localidad: Mara (Zaragoza). El sílex pertenece al techo de la zona de explotación de sepiolita en las proximidades de Mara y Orera. Lámina delgada cortada paralelamente a los *burrows*.

Clasificación: Silexita estratiforme con accidentes a modo de *burrows* verticales de color más claro que el resto de la roca.

Formación geológica: Mioceno de la cuenca de Calatayud. Posiblemente Aragoniense.

Mineralogía: Similar a la de la muestra n.º 14. Aunque en este caso es más evidente la presencia de la esparita en romboedros, en ocasiones maclados. Las formas fibrosas de la sílice no son tan aparentes como en la lámina anterior.

Textura, estructura y procesos diagenéticos: Similares a los de la muestra anterior (Lám. 15).

Información geológica: Idéntica a la de la muestra anterior.

• *Muestra 16.*

Localidad: Épila (Zaragoza). Paraje de Cantaperdices, en el límite con el término de Rueda de Jalón.

Clasificación: Caliza silicificada.

Formación geológica: Mioceno continental del Ebro. Posiblemente Aquitaniense-Vindoboniense.

Mineralogía: Difícil de cuantificar. En principio puede estimarse un promedio de un 30% de sílice y algo menos del 70% de carbonato. Sin embargo estos valores son generales y no responden a la distribución real de ambos componentes en los diversos puntos de la lámina. Entre la sílice se identifican ópalo, cuarzo criptocristalino, cuarzo macrocristalino y lutcita. Los carbonatos están constituidos por micrita y esparita. En cantidades inferiores al 1% aparecen óxidos de hierro y celestina, así como otros minerales sin identificar (Fig. 4.16).

Textura y estructura: Básicamente está determinada por micrita dispersa, con acumulaciones de cuarzo microcristalino de textura irregular y compleja. La lutcita, de suturas irregulares entre esferulitos, se encuentra en huecos y tapizando paredes de grietas. Con alguna frecuencia los esferulitos aparecen aislados, tanto entre las masas de carbonatos como entre la sílice. Existen fantasmas de fósiles, cuyas paredes no aparecen silicificadas. Los óxidos de hierro, de aspecto informe, están relacionados con el estroncio (Lám. 16).

Procesos diagenéticos: Se trata de una caliza continental tal vez edafizada, en la que se encontraban presentes sulfatos —yeso—. Posteriormente sufre dos procesos de silicificación, quizás simultáneamente, con acumulación en forma difusa de ópalo y cuarzo microcristalino. En los huecos se produciría una acumulación de cuarzo micro y lutcita. Estos huecos muy bien podrían ser «fantasmas» de nódulos de yeso o de anhidrita rehidratada. Las zonas de acumulación del cuarzo más cristalino quizás tengan su origen en un proceso de porosidad secundaria.

Información geológica: El sílex fue recogido en ladera, sin que pueda determinarse su procedencia con exactitud. Podría corresponder a la Formación Zaragoza o a la unidad geoestructural de calizas y margas que aflora en la zona, ambas de edad Aquitaniense-Vindoboniense (Mioceno). IGME 1:200 000. 32 (Zaragoza).

4. PROCESOS TÉRMICOS Y QUÍMICOS

Con posterioridad a este análisis, muestras procedentes de los mismos bancos que sirvieron para la obtención de las láminas delgadas fueron sometidas a una serie de procesos térmicos y químicos. En el campo de la Prehistoria estas pruebas tienen un doble objetivo: por un lado aportar mayor información sobre algunas características de los sílex, no sólo mineralógicas, sino también mecánicas (caso de las pruebas térmicas); por otro, intentar reflejar las posibles modificaciones sufridas como consecuencia de algunos de los procesos de alteración a los que se han podido ver sometidos los útiles realizados por el hombre tras su abandono y depósito, y que pueden afectar no sólo a su aspecto general, sino también al registro funcional.

En cualquier caso, no existe unanimidad sobre si estos tipos de tratamientos reproducen de forma apropiada esas alteraciones. Para algunos, son demasiado exagerados (sobre todo los químicos), para otros ya resultaba «ridículo sugerir que unos pocos experimentos de laboratorio, hechos bajo condiciones artificiales, sean equivalentes a la acción de la Naturaleza, cuyas fuerzas son tan complicadas, tan variadas y entran en juego tan lenta e irresistiblemente...».⁷

Las pruebas han sido las siguientes: 1. *Calentamiento en estufa*; 2. *Ataque con ácido clorhídrico* y 3. *Ataque con hidróxido potásico*. En cada caso una muestra, previamente pesada, de fragmentos de sílex de tamaño no superior a 5 cm. de longitud y 2 cm. de anchura se sometió en una estufa de desecación a una temperatura de 200°C durante 17 días, a la acción, en una campana de gases, de 100 c.c. de una disolución de ClH 1N durante 59 días y de 100 cc. de una disolución de KOH 1N durante un total de 55 días. En el caso de los tratamientos químicos periódicamente se renovaba el ácido o el álcali para mantener cubierta la muestra y mantener la eficacia del ataque.

Frente a una muestra testigo se pretendían constatar apariciones de líneas de fractura y/o estallidos al someterlos a una fuente de calor, así como variaciones de peso y modificaciones del color exterior (pátina) en las tres situaciones. Las variaciones de peso aparecen en la tabla 3.

La sílice en su forma normal es muy poco reactiva. Resiste el ataque del cloro, bromo, hidrógeno y de la mayoría de los ácidos a temperatura ambiente o ligeramente superior a ella. Es atacada por el flúor, por el ácido fluorhídrico y por los álcalis. M.E. Mansur obtuvo pátinas blancas sobre piezas líticas por inmersión de las mismas en una solución con pH superior a 10, aunque no indica el tipo de concentración. En su experimento el hidróxido de potasio

⁷F. HAWARD: The problem of the eoliths. *Proceedings of the Prehistoric Society of East Anglia*, I, págs. 347-359. 1914.

Tabla de alteraciones en el peso de las muestras de sílex (en grs.)													
Nº de MUESTRA	PROCEDENCIA	Sometidas a 200° C durante 17 días				Inmersión en ácido clorhídrico durante 59 días				Inmersión en potasa durante 55 días			
		Peso inicial	Peso final	Variación negativa	%	Peso inicial	Peso final	Variación	%	Peso inicial	Peso final	Variación positiva	%
1	Wue.	146.53	146.32	.21	.14	50.76	49.41	-1.35	2.65	56.32	56.38	.06	.10
2	Cal.	151.67	150.96	.71	.46	50.40	50.72	+32	.63	49.80	50.46	1.34	2.69
3	Esc.	167.82	167.31	.51	.30	50.73	51.06	+33	.65	53.11	54.75	1.64	3.08
4	Bor.	170.71	169.55	1.16	.67	50.77	47.25	-3.52	6.93	55.42	55.44	1.98	3.70
5	Bor.	138.09	137.36	.73	.52	50.65	47.73	-2.92	5.76	51.93	54.59	2.66	5.12
6	Bot.	164.34	163.55	.79	.48	50.49	50.64	+25	.49	53.86	55.22	1.36	2.52
7	Bot.	153.85	153.07	.78	.50	50.37	49.89	-.48	.95	51.60	52.50	.90	1.74
8	Mu.	168.34	166.82	1.52	.90	50.92	50.98	+06	.11	59.49	60.62	1.13	1.89
10	Poz.	148.82	148.40	.42	.28	50.09	49.54	-.55	1.09	52.22	52.28	.06	.11
11	Poz.	176.69	175.62	1.07	.60	50.90	50.43	-.47	.92	55.58	56.57	.99	1.78
12	Poz.	181.05	180.65	.40	.22	50.46	50.04	-.42	.81	52.63	53.21	.58	1.10
13	Ma.	169.38	168.96	.42	.24	50.64	50.83	+19	.37	54.24	55.09	.85	1.56

Tabla 3.

provocó una pátina blanca totalmente cubriente al cabo de 20 días, aunque ya resultaba apreciable la alteración en la primera semana. Sobre el tratamiento realizado con hidróxido de sodio (NaOH) comenta la aparición de un «aspecto cavernoso en la superficie debido a la disolución de una parte de la sílice superficial».⁸ Por el contrario L.H. Keeley sí que obtuvo una pátina en tres piezas en una disolución templada de un 30% de NaOH.⁹

Sin embargo, nosotros no hemos observado ninguna diferencia a nivel microscópico entre las muestras que fueron sometidas a los ataques químicos y las

⁸ M.E. MANSUR: *Microscopie du matériel lithique préhistorique. Traces d'utilisation, altérations naturelles, accidentelles et technologiques*. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique. Paris. 1986)

⁹ L.H. KEELEY: *Experimental determination of stone tool uses. A microwear analysis*. The University of Chicago Press. 1980.

que sirvieron de comparación. Quizás la concentración fuera débil (en el caso del KOH a 1N supone 56 grs. por litro de disolución), o nuestras rocas silíceas diferentes pero lo cierto es que el aspecto de la superficie no se vio alterado ni por el ácido ni por la base.¹⁰ Sólo en algunas muestras que permanecieron durante 17 días en una estufa, a una temperatura constante de 200°C, se apreció un ligero cambio de coloración. Las muestras número 2 (Calasanz) y 12 (Pozuelo) de color gris, gris claro, así como la 11 (Pozuelo), de color gris claro a blanco, manifestaron una tendencia a adquirir un tono ligeramente amarillo, aunque no por toda la superficie, sino repartidas por diferentes zonas y, fundamentalmente, en las aristas; mientras que las muestras 6 y 7 (Botorrita) de color gris marrón oscuro y gris muy oscuro a marrón, que no cambiaron de color ni de tono, sí adquirieron un aspecto ligeramente más brillante, sedoso, que afectaba a toda su superficie. Sin embargo estos dos tipos de modificaciones fueron reversibles, como se ha constatado posteriormente. Las muestras no fueron almacenadas, sino que permanecieron en el laboratorio en contacto con el aire, dentro de los mismos contenedores de aluminio en que habían sido introducidas a la estufa. Después de varios meses todas las muestras que experimentaron esos ligeros cambios habían recuperado su aspecto original y no presentaban ninguna diferencia con las piezas que sirvieron de registro.¹¹

Sí se observaron variaciones en cuanto al peso en todos los casos. Todas las muestras que fueron introducidas en la estufa perdieron peso (aunque en

¹⁰ En esta fase inicial de lo que sería un posterior estudio funcional no era nuestra intención recrear las experiencias de otros investigadores, sino comprobar cómo se comportaban nuestras rocas. En cualquier caso recrear esas condiciones tampoco es fácil porque hay algún problema de interpretación de datos y en consecuencia las comparaciones tampoco son seguras. Así, cuando un autor dice, por ejemplo, que la concentración es del 30% de HCl no queda muy claro cuál es realmente el tipo de concentración. Cabe suponerse que en realidad es mucho menos de lo que aparenta, por cuanto la solución concentrada comercial más habitual (hay otras) que marca los 22° Baumé contiene un 37% de clorhídrico.

¹¹ Con anterioridad a esa prueba, y sin ninguna relación con este trabajo, había sido sometida la mitad de un nódulo de sílex de color gris-blanco procedente del río Matarraña (Bajo Aragón), del que desconocemos su composición, a una prueba térmica durante 20 días. En este caso la temperatura no permaneció constante sino que, con intervalos de unas 12 horas, se produjeron subidas hasta 200°C y descensos hasta la temperatura ambiente. El objetivo era comprobar si se producían estallidos o líneas de fractura o por el contrario mejoraba el lascado en un sílex que, de por sí, era de muy mala calidad. En este sentido no se constató ningún cambio, sin embargo la pieza varió considerablemente de color, presentando después de la prueba un tono amarillento —con zonaciones rojizas— en casi toda su superficie, muy diferente al que se observa en la otra mitad, no sometida a este proceso. En este caso, a pesar de que ha transcurrido mucho más tiempo, no se ha producido una reversión de la alteración. Las únicas diferencias entre las dos pruebas han sido: 1.ª Mientras en un caso la temperatura permaneció constante, en el otro se produjeron variaciones muy importantes, aunque no bruscas. 2.ª Tras la salida de la estufa, en un caso las muestras permanecieron en contacto con el aire y la luz y en otro fue almacenada. Sobre si existen diferencias en los tipos de sílex sólo podemos decir que macroscópicamente el del Matarraña es semejante a las muestras 11 y 12 de Pozuelo, pero no podemos hacer ninguna otra indicación.

porcentaje muy variable dentro de su escasa magnitud) con valores que oscilan entre el 0.14 y el 0.90%. Este hecho parece que puede explicarse a través de una pérdida de agua, aunque el proceso no ha conllevado la aparición de líneas de fractura, saltados o estallidos. Exámenes petrográficos de láminas delgadas han indicado que a esas temperaturas, incluso superiores (350°), no se producen cambios mineralógicos, ni en cuanto al tamaño, ni en cuanto a la forma u orientación de los granos de cuarzo criptocristalino. Las variaciones son de orden mecánico (de resistencia a la presión), pero diferentes según el enfriamiento haya sido rápido o lento. La ausencia de estas huellas parece lógica si tenemos en cuenta que la temperatura no fue elevada, que permaneció constante y, sobre todo, que se alcanzó de forma gradual. En el laboratorio la probabilidad de aparición de estas huellas es mayor, lógicamente, cuanto más alta es la temperatura que se alcanza, pero también cuanto menor es el tiempo en que se logra, y también cuando se producen choques térmicos (desde +20 hasta -30°C) o enfriamientos progresivos desde una temperatura ambiente. En cualquier caso los comportamientos tampoco son homogéneos y el número de ciclos que cada muestra puede resistir sin alterarse es variable.

La explicación para las variaciones registradas en el peso de las muestras cuando se introdujeron las piezas en las disoluciones de ácido clorhídrico y de hidróxido potásico no es tan inmediata. En el caso del clorhídrico es un hecho innegable que se produjeron tanto aumentos como pérdidas de peso. Algunas muestras, 4 y 5 (Borja), perdieron hasta el 6 y 7%. En principio la explicación podría ser que el clorhídrico provocó una disolución de los carbonatos, lo que coincide con la circunstancia de que las muestras con mayor porcentaje de carbonatos son las que más peso han perdido. Sin embargo este argumento no se ajusta bien con el hecho de que las muestras de Pozuelo, con un 95 a 98% de sílice, también hayan experimentado esa variación negativa, aunque, ciertamente, en unas proporciones más bajas. Para el aumento de peso (que ocurrió en todas las muestras cuando la disolución era de hidróxido potásico) la explicación de que se ha podido producir una disolución o corrosión de la sílice exterior que ha permitido la entrada de agua no se ve apoyada por el análisis microscópico de la superficie, que como ya se ha dicho, no varió. Por otra parte la absorción de agua tampoco fue semejante en muestras que presentan las mismas características, como es el caso de las de Pozuelo. Realmente no tenemos argumentos serios para explicar estas circunstancias, aunque los hechos quedan aquí reflejados.

5. COMENTARIO

Es evidente que la pregunta sobre la homogeneidad del sílex ha tenido una respuesta negativa desde antiguo. Diversos caracteres macroscópicos (color, tex-

tura, fractura) diferencian clases de sílex y esto era ya conocido por el hombre prehistórico, que en algunos casos procedía a una clara selección cuando tenía la más mínima ocasión de elegir.

El análisis petrológico a la lámina delgada, aun siendo una técnica muy elemental (para el caso de la determinación de fuentes de aprovisionamiento sería más correcto utilizar la difractogrametría de rayos X o el análisis de elementos traza, e incluso análisis infrarrojo, térmico diferencial o dilatométrías), pone de manifiesto que bajo el término sílex se engloban una serie de rocas con una composición muy diversa, todas ellas con contenidos en sílice, pero en proporciones sumamente variables (Fig. 5). Esta variabilidad, que también resulta observable entre muestras procedentes del mismo afloramiento, se hace más patente cuando comparamos muestras que han sido recogidas en canteras distintas.

En primer lugar puede individualizarse un grupo que quedaría compuesto por una serie de calizas y de margas silicificadas —como son las muestras 3 (Escuaín), 4 y 5 (Borja), 8 (Muel) y 16 (Épila)— que presentan un porcentaje relativamente variable de sílice en su composición, pero en cualquier caso bajo, siendo inferior al 40% y no alcanzando en alguna muestra ni el 10% (Fig. 6).

Entre este grupo y el de las silexitas se podría individualizar otro conjunto, el cual quedaría integrado por la muestra de Nuévalos (1) y la de Sástago (9), es decir, materiales también silicificados, una dolomía y una marga yesífera respectivamente, pero en los que el componente silíceo es algo más elevado que en el grupo anterior, oscilando entre el 50 y el 60%, aunque, por consiguiente, el porcentaje de los carbonatos resulta bastante elevado todavía (Fig. 7).

Queda, por último, el conjunto de las silexitas, el cual está constituido por las muestras procedentes de Calasanz (2), Botorrita (6 y 7), Pozuelo (10, 11 y 12) y Mara (13, 14 y 15). En este grupo la sílice supone, como es lógico, el elemento mineralógico más importante, con porcentajes del 95 y 98% en muchos casos (Fig. 8).

Las diferencias que aquí se han puesto de manifiesto no resultan inmediatas para los prehistoriadores, e incluso quizás tampoco para los geólogos, de manera que no resulta extraño que todas las muestras, tras un somero examen visual, entren dentro de la misma categoría. Para el prehistoriador, desde una perspectiva tradicional, ese error es poco importante. *Grosso modo*, las propiedades por las que fueron elegidas por el hombre prehistórico se mantienen, al margen de que su composición sea ciertamente distinta, y el resultado el mismo: un artefacto capaz de satisfacer una necesidad. Sin embargo la diversidad de rocas silíceas que aparece en diversos yacimientos arqueológicos de Aragón hace interesante realizar un estudio acerca de sus canteras, características geoquímicas, petrológicas y mecánicas de cara a poder definir mejor su origen y propiedades. El interés no sólo radica ahora en poder determinar puntos de aprovisionamiento

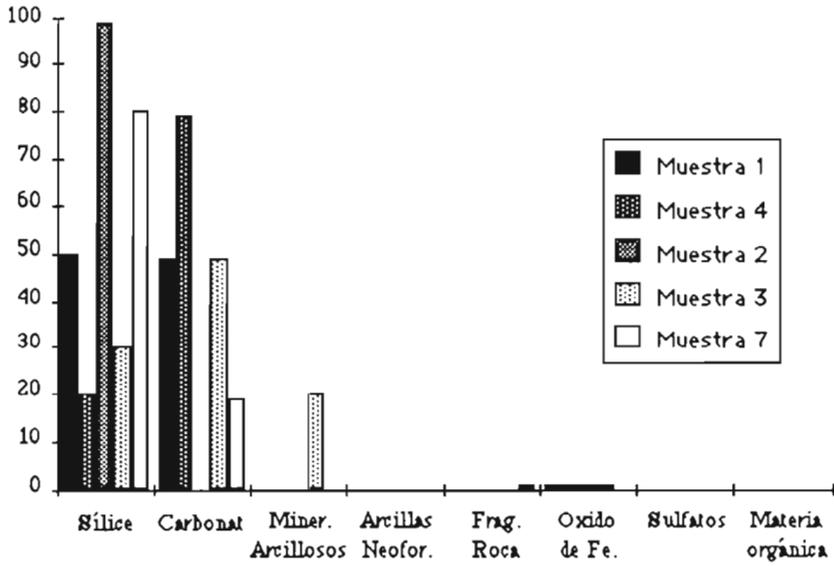


Fig. 5.

Comparación entre muestras procedentes de distintos afloramientos.

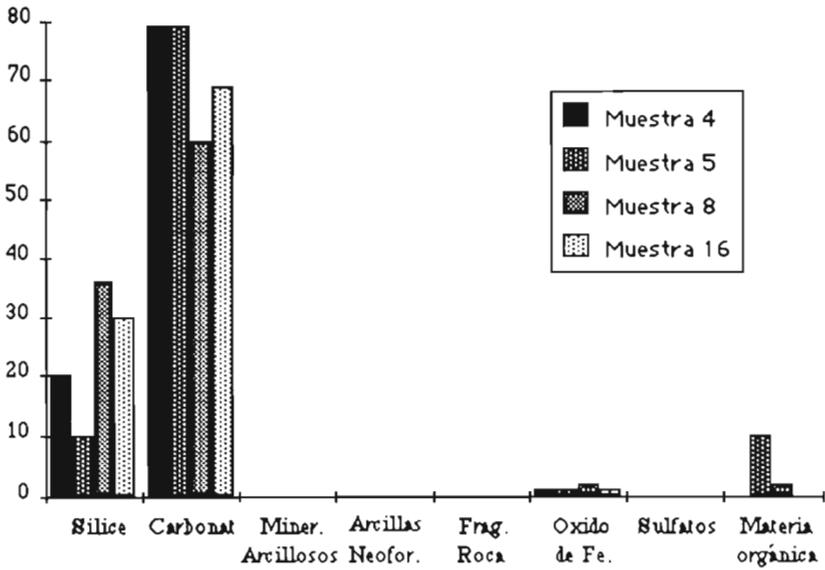


Fig. 6.

Calizas y margas yesíferas.

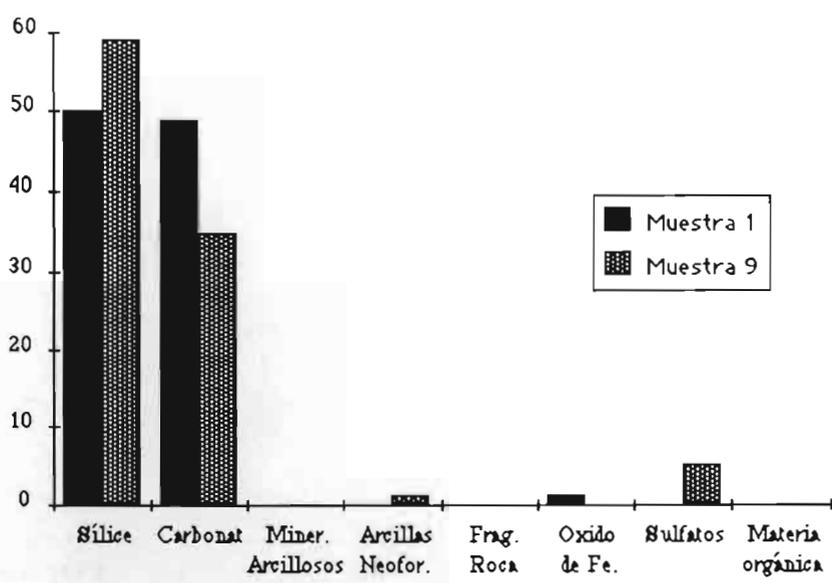


Fig. 7.
Dolomía y marga yesífera silicificada.

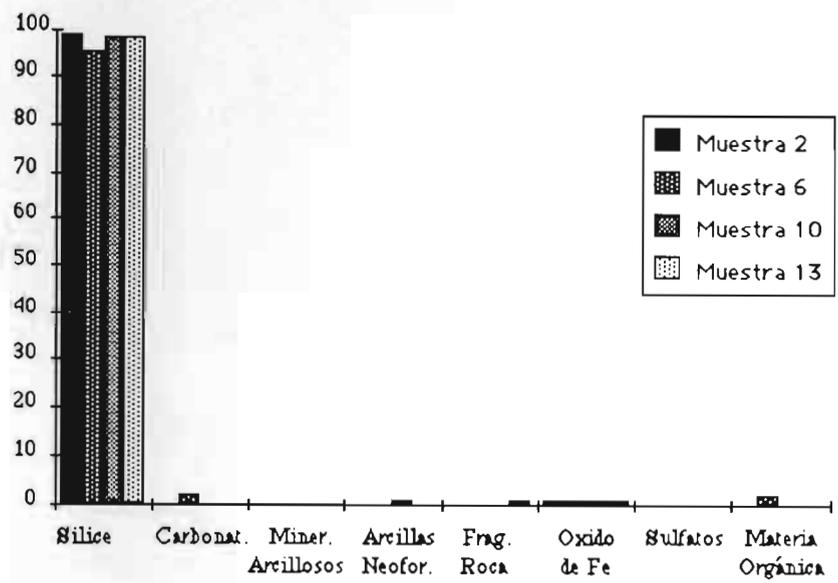


Fig. 8.
Silexitas.

para casos concretos, con lo que ello supone de búsqueda, movilidad de grupos, territorios de explotación, prácticas de extracción, tratamiento primario *in situ* de la materia e incluso de *circuitos comerciales* en época más reciente. No sólo es eso. Se trata también de que los analistas de huellas de uso, esa técnica a la que aludíamos al comienzo de estas páginas, pueden estar trabajando con materiales sumamente dispares. Las descripciones macroscópicas o la referencia a su lugar de origen, datos incluso que no siempre se incluyen, no eliminan ese riesgo. Si, como ya decíamos, las colecciones experimentales se han convertido en norma dentro de esos trabajos, no debería serlo menos un estudio mineralógico de los soportes que se manejan, y un repaso a la bibliografía demuestra que la excepción vuelve a confirmar la regla.



Lámina 1.

Muestra de Nuévalos. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

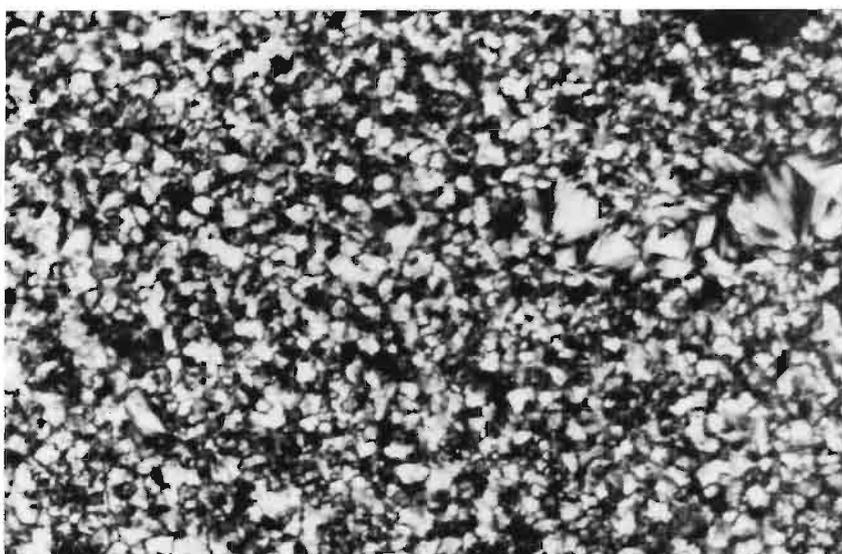


Lámina 2.

Muestra de Calasanz. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

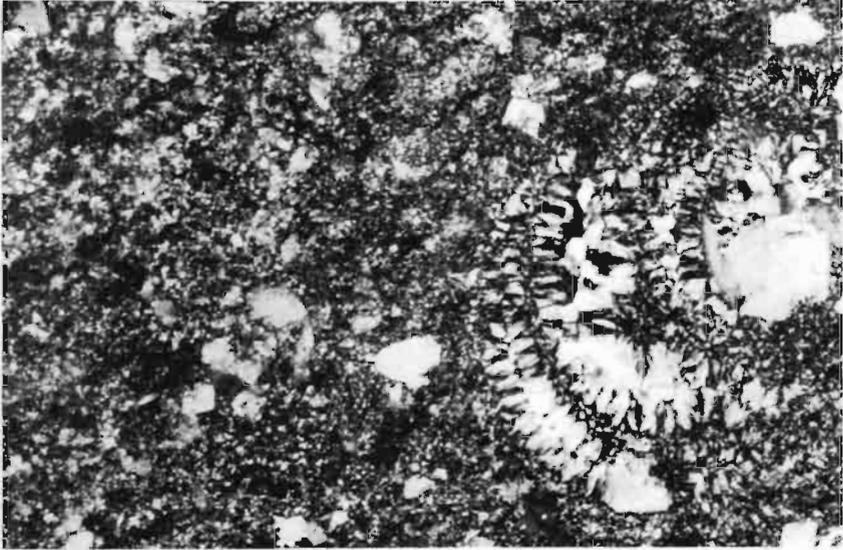


Lámina 3.
Muestra de Escuaín. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

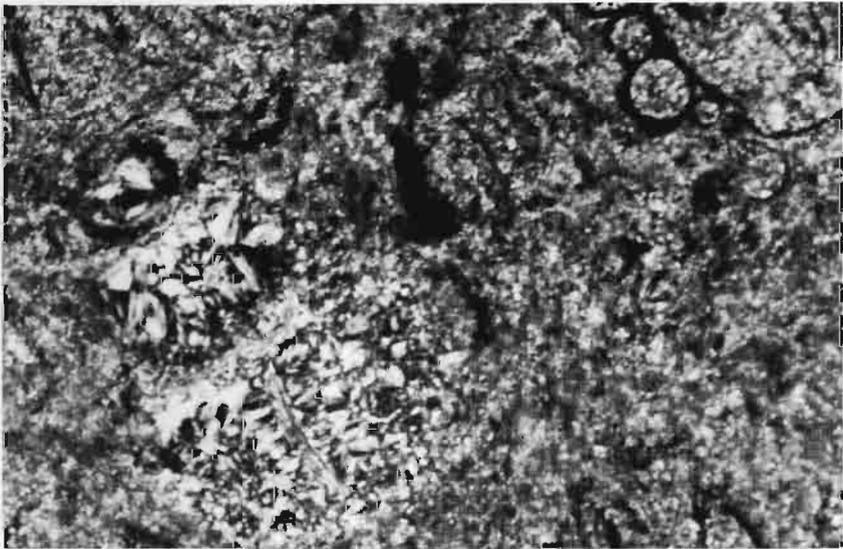


Lámina 4.
Muestra de Borja. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

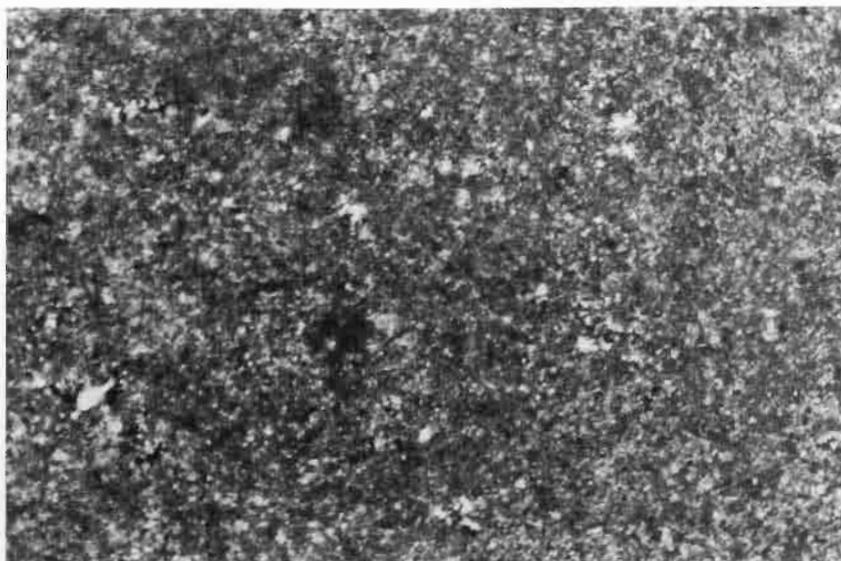


Lámina 5.

Muestra de Borja. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

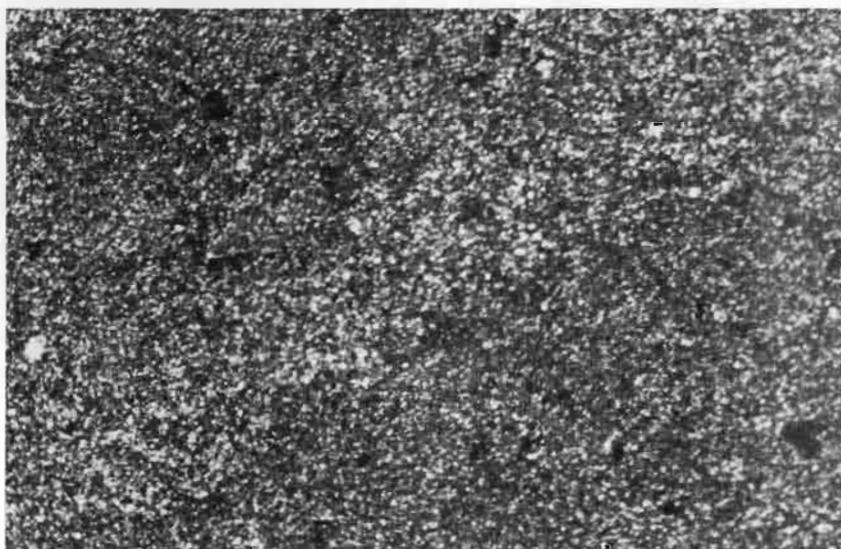


Lámina 6.

Muestra de Botorrita. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

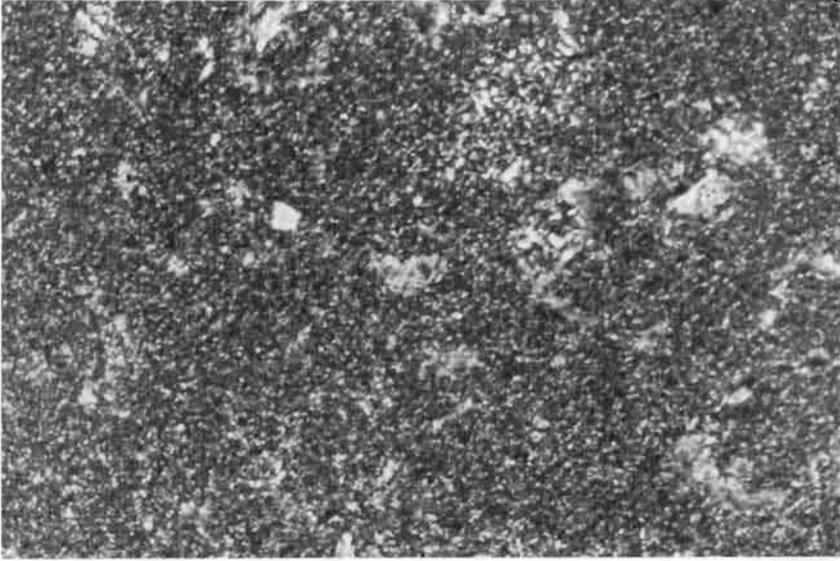


Lámina 7.

Muestra de Botorrita. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

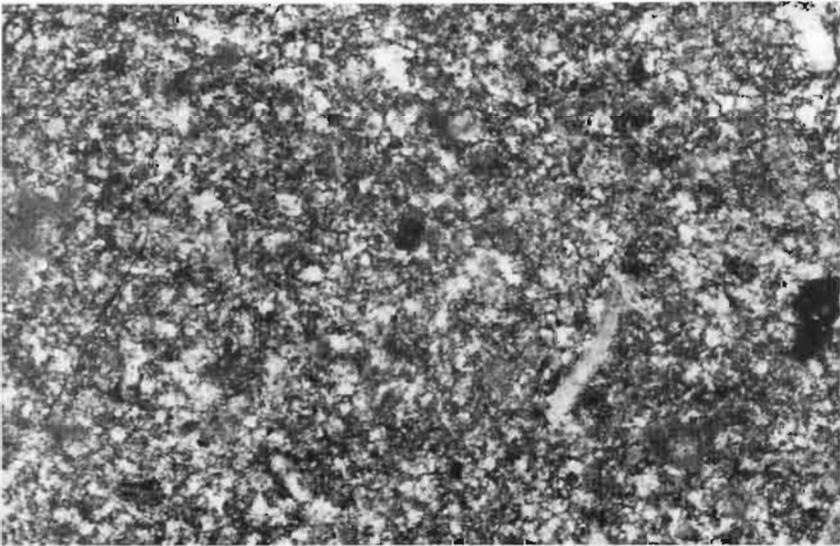


Lámina 8.

Muestra de Muel. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

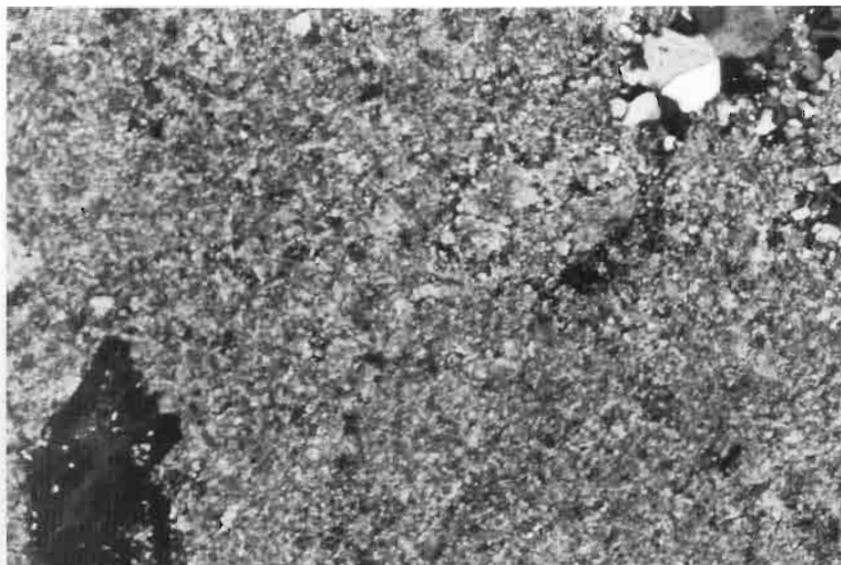


Lámina 9.

Muestra de Sástago. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

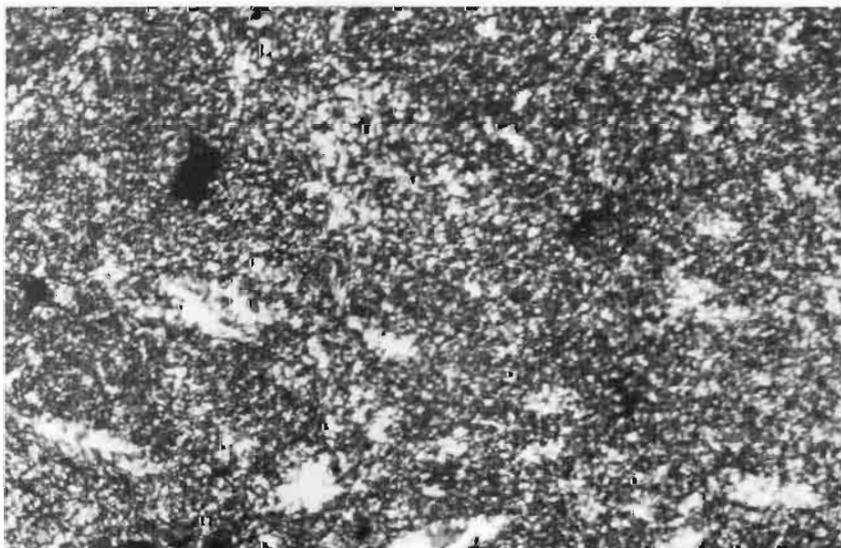


Lámina 10.

Muestra de Pozuelo. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

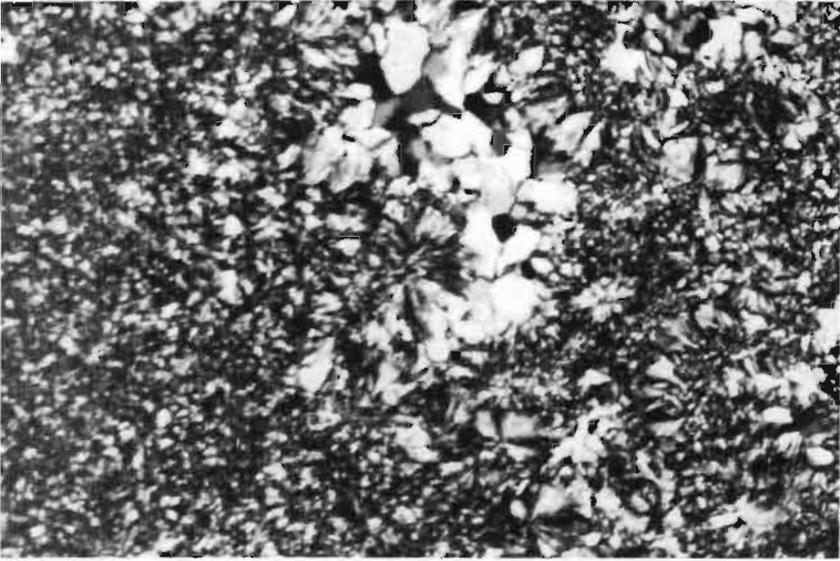


Lámina 11.

Muestra de Pozuelo. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

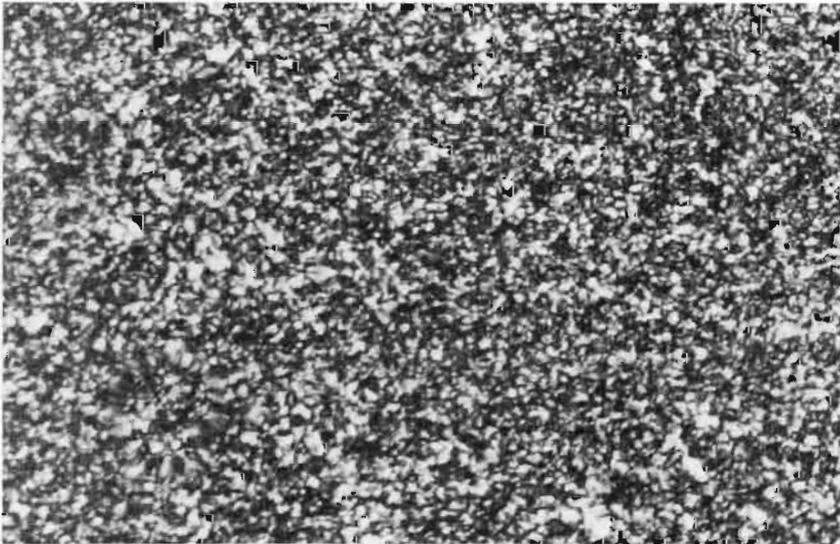


Lámina 12.

Muestra de Pozuelo. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

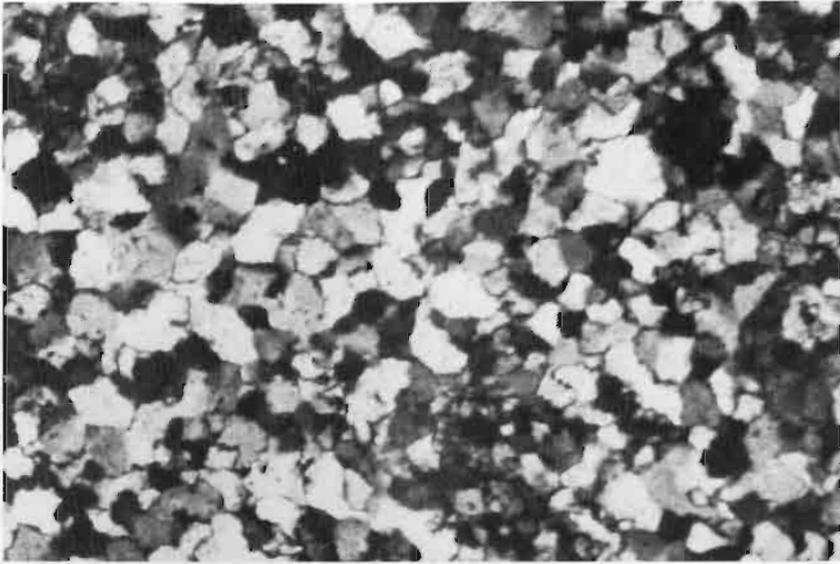


Lámina 13.
Muestra de Mara. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

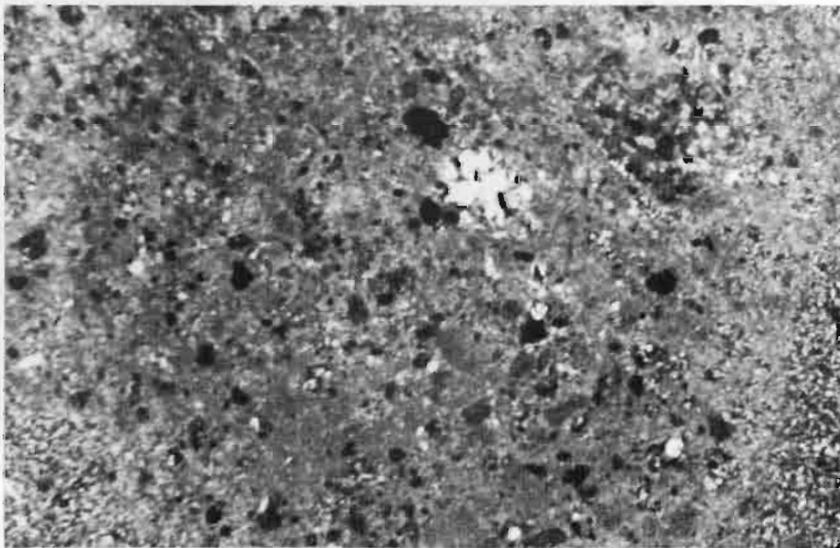


Lámina 14.
Muestra de Mara. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

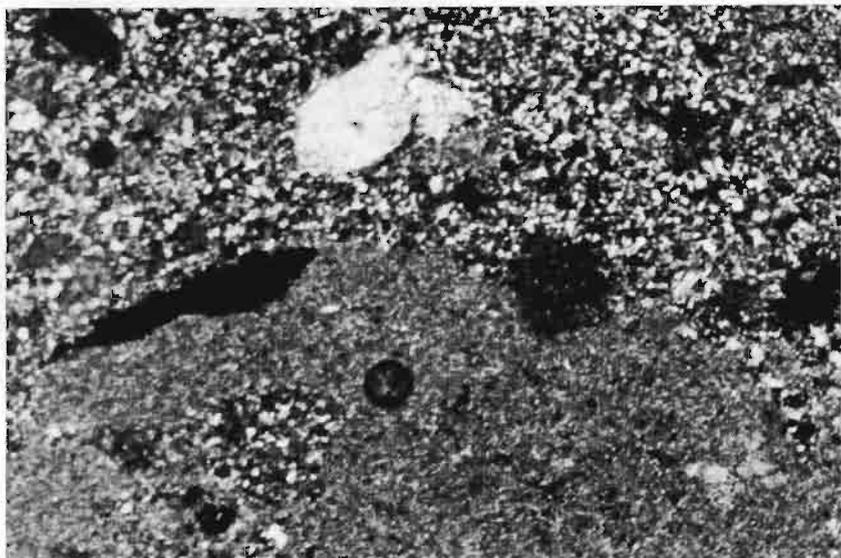


Lámina 15.

Muestra de Mara. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.

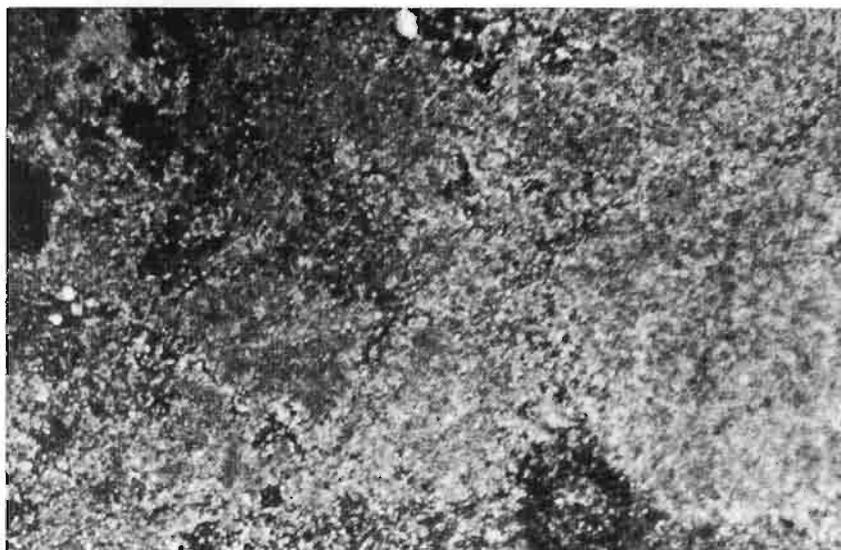


Lámina 16.

Muestra de Épila. Microfotografía a 100 x. Nícoles cruzados.