

## ESTUDIO AL M. E. B. DE LAS TEXTURAS SUPERFICIALES DE LOS GRANOS DE CUARZO Y SU APLICACION A LA INTERPRETACION DE MEDIOS ACTUALES Y SUBACTUALES

L. Torcal Sáinz (\*), C. Zazo Cardeña (\*\*) y R. Marfil Pérez (\*\*\*)

### RESUMEN

Se han estudiado muestras representativas de distintos ambientes sedimentarios (marino, eólico, fluvial), tanto en medios actuales como en subactuales y fósiles (Plio-Cuaternarios y Cuaternarios) conocidos previamente mediante otros métodos, con el fin de establecer el grado de validez de la Exoscopia del cuarzo para la interpretación de ambientes sedimentarios.

Asimismo, se ha estudiado la "Formación Arenas Rojas" de la zona Vejer-Medina, de origen problemático, para contribuir con la utilización de esta técnica, a su interpretación sedimentológica.

Como complemento del estudio al M.E.B. se han realizado análisis granulométricos, estudios a la lupa binocular y microscopio petrográfico de todas las muestras recogidas.

Para una mejor y más fácil comprensión de la terminología utilizada en la descripción de los caracteres texturales de los granos de cuarzo al M.E.B., dada la gran profusión y a veces confusión de términos, se ha realizado un glosario de éstos con indicación del autor que lo utilizó por primera vez y siempre que fue posible, castellanizando el término.

Dentro del medio litoral, en las secuencias actual y fósil de Valdelagrana y El Aculadero (Bahía de Cádiz), respectivamente, se han obtenido resultados satisfactorios —coincidentes con la bibliografía—, aunque se ha comprobado que los medios diagenético y edáfico enmascaran los caracteres primarios. En cuanto a la "Formación Arenas Rojas" se ha podido determinar su paso por diferentes ambientes, coincidiendo, asimismo, con los datos bibliográficos, pero la mayor o menor influencia de éstos sólo se podría conocer cuantificando los resultados en un número elevado de muestras.

**PALABRAS CLAVE:** Medios sedimentarios, glosario, texturas superficiales, diagénesis, edafogénesis.

### ABSTRACT

A spectrum of representative quartz grains of different sedimentary environments (beach, aeolian, fluvial), from recent, Quaternary and Pliocene ages has been examined under a Scanning Electron Microscope. The environment of deposition of the fossil sequences was previously established by other sedimentological techniques. The purpose of the present investigation is to establish the degree of validity of "Surface textural Analysis of Quartz" to several different sedimentary environments distinguished on the basis of their surface textures.

The Plio-Quaternary "Arenas Rojas" Formation from the Vejer-Medina area, which is of controversial origin has also been studied. The purpose here is to contribute to a better understanding of its sedimentary environment.

The following analysis has been made as a complement to our S.E.M. study: The grain-size distribution of all examined samples was studied with binocular and petrographic microscopes.

A diagnostic surface feature glossary is described in this paper for the purpose of comparing terminologies. This information is necessary because of the confusion that exists in literature.

Within the littoral beach-aeolian environment, recent "Valdelagrana" and in the fossil "El Aculadero" (both in the Bahía de Cádiz), satisfactory results have been obtained in relation to other sedimentological data; other superimposed features related to diagenetic and edaphic processes are also be noted.

(\*) Departamento de Edafología y Geología, E.T.S.I. Agrónomos, Universidad Politécnica. Madrid.

(\*\*) Departamento de Geomorfología y Geotectónica, Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. Madrid.

(\*\*\*) Departamento de Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense. Madrid.

The sequence of different environments has been studied within the "Arenas Rojas" Formation. Our data do not contradict the prevailing literature, but we used quantitative combined feature analysis on a large number of samples to study minor deviations from published analyses.

**KEY WORDS:** Sedimentary environments, glossary, surface textures, diagenesis, pedogenesis.

## Introducción

Actualmente existe una cierta controversia sobre la validez de la aplicación del M.E.B. (Microscopio Electrónico de Barrido) al estudio de los caracteres superficiales de los granos de cuarzo para la interpretación de ambientes sedimentarios, quizá debido a que ha sido aplicada a depósitos antiguos (Mesozoicos y Paleozoicos), donde probablemente la mayor parte de los caracteres o se han borrado o están tan superpuestos que es muy difícil interpretar la historia evolutiva de los granos.

origen sedimentario es problemático, a pesar de haber sido estudiada desde diferentes puntos de vista por varios autores, con el fin de intentar ayudar a su interpretación con la utilización de esta técnica, dado que el material es muy favorable a la misma, por estar constituido casi exclusivamente por cuarzo.

Se han recogido muestras en varios puntos de la Península, así como en las Islas Canarias y norte de Africa, cuya distribución puede observarse en la figura 1. Siempre que fue posible y aconsejable se levantaron cortes geológicos con objeto de situar las distintas muestras dentro de una secuencia (fig. 2).

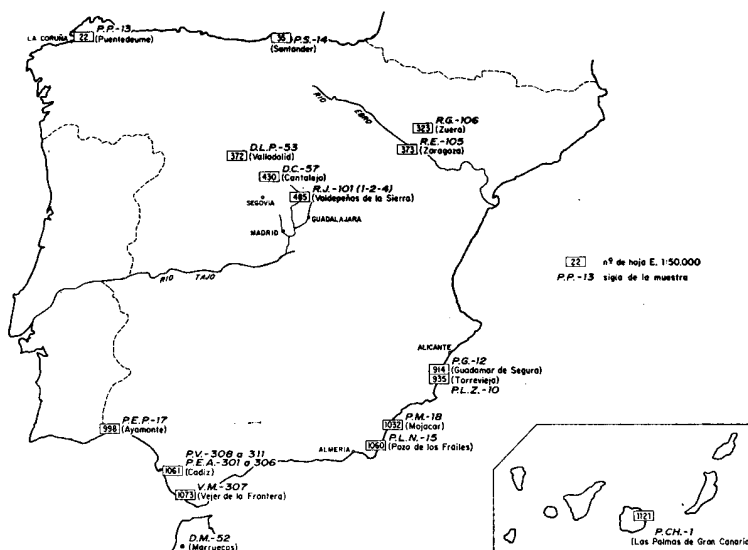


Fig. 1.—Esquema de situación de las muestras.

Por esta razón nosotros hemos estudiado muestras representativas de distintos ambientes sedimentarios (marino, eólico y fluvial), tanto en medios actuales, los cuales son fácilmente identificables, como en medios subactuales y fósiles (Plio/Cuaternarios y Cuaternarios), en donde estudios preliminares (Casas y Leguey, 1971; Casas *et al.*, 1972; Alcalá del Olmo, 1972 y 1974; Zazo, 1980; Zazo y Goy, 1981; Zazo *et al.*, 1983) ya han determinado el tipo de ambiente sedimentario mediante otros métodos, lo cual nos permitirá conocer el grado de validez de este método.

Finalmente, se han tomado muestras en una "Formación" ("Arenas rojas" Plio/Cuaternarias) cuyo

Dentro del medio litoral se eligió la Bahía de Cádiz con el fin de estudiar dos ejemplos de medios sedimentarios y morfológicos comparables (fig. 3), uno, la serie que se observa en el acantilado de El Aculadero (costa transgresiva con isla barrera y lagos someros y marismas de edad pleistocena) y otro, la flecha de Valdelagrana, que constituye en la actualidad una isla barrera.

## Metodología de Trabajo

El estudio de las muestras seleccionadas se ha realizado utilizando distintas técnicas: Análisis granulométrico, se-

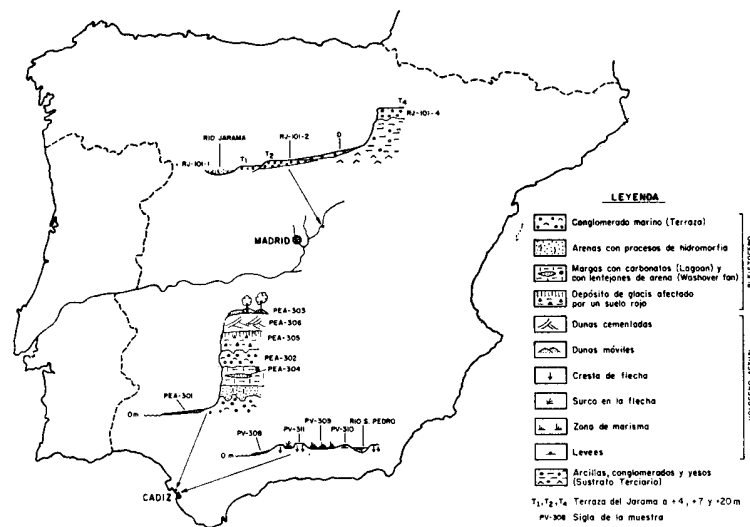


Fig. 2.—Situación de las muestras seriadas en un corte geológico.

paración de minerales ligeros y pesados, observación a la lupa binocular, petrografía microscópica, microscopía electrónica de Barrido (M.E.B.).

Para el estudio al M.E.B. se eligió la fracción comprendida entre 0,25 y 0,50 milímetros. Cuando ésta era muy escasa se seleccionó la de 0,125 a 0,25 milímetros. De esta fracción se separaron los granos de cuarzo monocristalino y sin inclusiones (al menos visibles bajo la lupa binocular) y se montaron sobre un portamuestras para M.E.B con cinta adhesiva de doble faz, metalizándose con platino en

un Diode Sputtering System, Type P-S1. Por este procedimiento de montaje las muestras acumulaban gran cantidad de electricidad estática y su visualización era imperfecta y problemática, por lo que se modificó el procedimiento habitual poniendo un recubrimiento de pegamento de cemento carbón conductor (C.C.C. de Leit - C) para aumentar la conductividad.

Se visualizaron las muestras en un M.E.B. ISI, modelo M.S.M. 5, Mini-Sen y las fotografías se realizaron con una máquina Mamiya incorporada al microscopio.

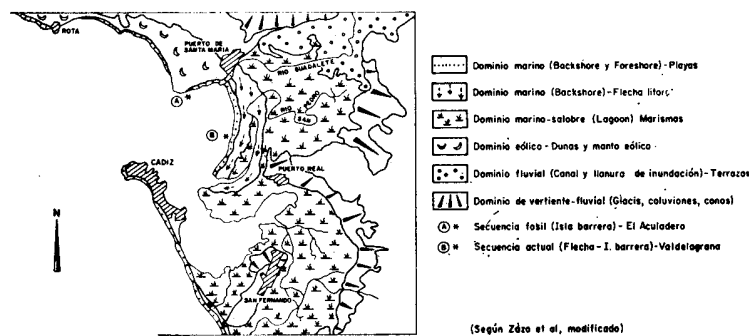


Fig. 3.—Dominios morfogenéticos y sedimentarios más característicos en la Bahía de Cádiz (Cuaternario).

**Composición y textura de las arenas**

Lo datos obtenidos del estudio mediante lupa binocular y microscopio petrográfico de secciones delgadas de los granos de las fracciones granulométricas elegidas para su visualización posterior al M.E.B., están sintetizados en las tablas I y II. De ellos se deduce la gran riqueza en cuarzo de todas las muestras marinas y eólicas, excepto la de la playa de Las Palmas de Gran Canaria (PCh-1), en la que dominan los fragmentos de rocas, tanto volcánicas como sedi-

mentarias (bioclastos micritizados) existiendo subordinadamente feldespatos (sanidina y plagioclasa) y en la playa de las Negras donde es bastante escaso.

Las arenas fluviales son las más ricas en otros componentes, tales como feldespatos y fragmentos de roca, debido a su menor madurez mineralógica y textural.

Asimismo, se puede observar la gran diferencia textural existente entre los cuarzos de playas atlánticas y las mediterráneas.

Los granos eólicos son los que tienen mayor tendencia

**TABLA I - ARENAS MARINAS, EOLICAS Y FLUVIALES**

MUESTRAS	COMPOSICION										INCLUSIONES										REDONDEZ					FORMA		DISTRIBUCION FISICA	CORROSION	CATEG. SEGUNDO
	CUARZO	MONOCRISTALINO	CUARZO POLICRISTALINO	ELIPSOIDES	FRAGMENTOS METAMORFICOS	FRAGMENTOS VOLCANICOS	FRAGMENTOS SEDIMENTARIOS	OTROS	INCLASITICA	BIOTITA	CLORITA	GRANITO	TURMALINA	ORTITO	OPALOS	ESFERULITAS	ANGULOSAS	SUBANGULOSAS	SUBREDONDEADAS	REDONDEADAS	ELONGADAS	PLATADAS	EMBEZALADAS	ESFERULAS	5	10	CLASIFICACION			
P.P. - 43	90	5	5	-	-	-	Ac	-									X	X	X	X	X									
P.S. - 44	90	5	2	1	-	Ac	1	-	X		X	X	X	X			X	X	X	X	X									
P.G. - 12	70	35	4	Ac	Ac	-	1	-	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X									
PLN - 15	5	2	18	30	40	5	-	-									X	X	X	X	X									
REP - 17	75	8	12	5	-	Ac	Ac	-	X	X		X					X	X	X	X	X									
P.Ch. - 1	-	-	5	-	15	80	Ac	-									X	X	X	X	X									
P.M. - 18	80	5	-	Ac	-	15	-	-	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X									
PLZ - 10	85	5	10	-	-	Ac	Ac	-									X	X	X	X	X									
D.M. - 32	92	3	3	Ac	-	1	1	-			X							X	X	X	X									
DLP - 33	70	5	25	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X									
D.C. - 57	75	5	25	Ac	-	-	Ac	-	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X									
R.E. - 105	10	65	28	3	Ac	4	Ac	-	X			X		X			X	X	X	X	X									
R.J. - 101(1)	35	15	20	25	-	3	-	2	X		X	X	X	X			X	X	X	X	X									
R.J. - 101(2)	35	25	20	20	-	-	Ac	X	X		X	X	X	X			X	X	X	X	X									
R.J. - 101(4)	30	30	15	25	-	-	Ac	X			X	X	X	X			X	X	X	X	X									
R.B. - 106	25	10	5	30	-	30	Ac	-	X								X	X	X	X	X									

Ac = Accesorio  
 X = Dominante  
 x = Subordinado  
 ■ = También incluye minerales volcánicos (olivinos, piroxenos, etc.)

**TABLA II - ARENAS DE LAS SECUENCIAS DE VALDELAGRANA, EL ACULADERO Y VEJER MEDINA (CADIZ)**

MUESTRAS	COMPOSICION										INCLUSIONES										REDONDEZ					FORMA		DISTRIBUCION FISICA	CORROSION	CATEG. SEGUNDO
	CUARZO	MONOCRISTALINO	CUARZO POLICRISTALINO	ELIPSOIDES	FRAGMENTOS METAMORFICOS	FRAGMENTOS VOLCANICOS	FRAGMENTOS SEDIMENTARIOS	OTROS	INCLASITICA	BIOTITA	CLORITA	GRANITO	TURMALINA	ORTITO	OPALOS	ESFERULITAS	ANGULOSAS	SUBANGULOSAS	SUBREDONDEADAS	REDONDEADAS	ELONGADAS	PLATADAS	EMBEZALADAS	ESFERULAS	5	10	CLASIFICACION			
P.V. - 308	80	10	10	-	-	-	Ac	-	X	X							X	X	X	X	X									
P.V. - 309	75	7	15	2	-	-	Ac	X	X								X	X	X	X	X									
P.V. - 310	85	10	3	Ac	-	-	2	Ac	X	X							X	X	X	X	X									
P.V. - 311	85	5	7	1	-	-	2	-			X	X	X	X	X		X	X	X	X	X									
P.E.A. - 301	83	10	5	Ac	-	-	1	2 <sup>NI</sup>			X	X	X	X	X		X	X	X	X	X									
P.E.A. - 302	70	10	15	5	-	-	Ac	X	X	X							X	X	X	X	X									
P.E.A. - 303	92	5	2	Ac	-	-	1	-	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X									
P.E.A. - 304	79	8	8	3	-	-	1	2 <sup>NI</sup>			X	X	X	X	X		X	X	X	X	X									
P.E.A. - 305	85	6	8	Ac	-	-	1	2 <sup>NI</sup>			X	X	X	X	X		X	X	X	X	X									
P.E.A. - 306	85	5	10	Ac	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X									
V.M. - 307	90	5	4	-	-	-	1	Ac	X		X	X	X	X			X	X	X	X	X									

Ac = Accesorio  
 X = Dominante  
 x = Subordinado  
 NI = En este caso es glauconita  
 ■ = Cuarzos autigenicos

a la equidimensionalidad y, por supuesto, son los más redondeados.

Todas estas observaciones será importante tenerlas en cuenta a la hora de valorar los datos obtenidos al M.E.B.

### Descripción de los caracteres superficiales de los granos de cuarzo al M. E. B.

Para su examen al M.E.B. fueron separados los cuarzos monocristalinos, como ya indicábamos. El número de granos montados fue aproximadamente 30, siendo los descritos en detalle alrededor de 20. En caso de ser muy iguales sus características el número de granos descritos fue de 10 a 15.

En la muestra de arena de Las Palmas (PCh-1), al observar mediante microscopio petrográfico que no existían cuarzos, fueron separados los feldespatos, comprobándose que la alteración química era prácticamente inexistente y que los granos tenían superficies redondeadas. Con ello intentamos encontrar las marcas típicas del medio marino que hubiéramos podido observar de existir cuarzos.

Antes de pasar a describir las características superficiales de los cuarzos, creemos oportuno, a la vista de la enorme cantidad, y a veces confusión, de términos utilizados en la bibliografía, hacer una relación o glosario de, al menos, aquellos caracteres encontrados por nosotros. Con ello pretendemos realizar en lo posible una homogenización de los términos utilizados tanto en inglés como en francés, y, a ser posible, castellanizarlos (tabla III).

### Arenas actuales, marinas, eólicas y fluviales

Las marcas superficiales de los cuarzos procedentes de arenas marinas, eólicas y fluviales actuales, han sido sintetizadas en la tabla IV.

Teniendo en cuenta los caracteres mineralógicos y texturales (tablas I y II), así como las observaciones al M.E.B (tabla IV), se ha podido determinar que las características comunes a todos los *cuarzos marinos* (lám. I) son:

— Predominio de los granos subredondeados en todas las

TABLA III - CARACTERES TEXTURALES SUPERFICIALES DE LOS GRANOS DE CUARZO		
TERMINO	COMENTARIO O ESQUEMA	AUTOR QUE LO UTILIZA
FRACTURAS CONCOIDEAS DE GRAN TAMAÑO		(UNIVERSAL)
FRACTURAS CONCOIDEAS DE PEQUEÑO TAMAÑO		(UNIVERSAL)
ESCALONES PARALELOS Y SUBPARALELOS	Semi-parallel and Hogback.	KRINSLEY & DONAHUE (1968)
ESCALONES ARQUEADOS		KRINSLEY & DONAHUE (1968)
ESTRIAS AL AZAR		
ESTRIAS SUBPARALELAS		
"GROOVES", "CROISANT" O ARCOS		LY (1978) LE RIBAUT (1978)
FORMAS EN "V"		(UNIVERSAL)
PICOTEADO		(UNIVERSAL)
"MEANDERING RIDGES" O CRESTAS SINUOSAS	También "grooves" dendríticos.	KRINSLEY & TAKAHASHI (1962 a y b) CARVER (1971)
CUPULAS	Concavidad en forma de plato o depresiones.	LE RIBAUT (1975)
"UPTURNED PLATES" PLACAS IMBRICADAS O PELICULA ESCAMOSA	Placas completamente levantadas y sobrepuestas en una dirección.	MARGOLIS & KRINSLEY (1971)
MICROBLOQUES	Mecánicas o químicas (cuarzo esquelético). Evolucionan a "upturned plates".	WHALLEY & KRINSLEY (1974)
"CLEAVAGE PLANES" O PLANOS DE EXPOLIACION		MARGOLIS & KRINSLEY (1974)
GRIETAS EN "TRILETE" O AGRIETAMIENTOS ESTRELLADOS		KRINSLEY & McCOY (1978) CULVER et al. (1983)
"CHATTERMARKS" "CENTIPEDES" "VERMICULACIONES"	Marcas en forma de media luna. Mecánicas o químicas.	BULL et al. (1980) BARBAROUX et al. (1982)
"BRANCHING SOLUTION CHANNELS" CANALES DE DISOLUCION RAMIFICADOS		HANKER & PONDER (1978)
"SILICA PLASTERING" LÁMINILLAS DE PRECIPITACION		WHALLEY & KRINSLEY (1974)
FORMAS EN "V" Y PICOTEADOS ORIENTADOS		MARGOLIS & KRINSLEY (1971)
TRIANGULOS DE DISOLUCION		BIEDERMAN (1962) MARGOLIS (1968)
PRECIPITACION DE SILICE AMORFA		(UNIVERSAL)
PRECIPITACION DE SILICE EUHEDRAL		(UNIVERSAL)

playas, excepto en las mediterráneas, en las que tienden a dominar los subangulosos.

- La forma dominante de los granos es elongada.
- Los granos están generalmente corroidos, bien por carbonatos, bien por minerales de arcilla, o posiblemente vienen heredados y la corrosión es debida a otros procesos anteriores.

— Aunque no en todas las muestras, es muy característica la presencia de diatomeas alojadas en depresiones y grietas, cementadas por sílice amorfa.

— Esporádicamente aparecen estrías paralelas, "grooves" rectos y curvados, cúpulas, "chattermarks", etc.

Los caracteres más comunes para estos cuarzos dados en la bibliografía, son:

TABLA IV .- CARACTERES SUPERFICIALES ENCONTRADOS EN LOS CUARZOS DE LAS ARENAS MARINAS, EOLICAS Y FLUVIALES.

TIPOS DE CAPACITE- ARENAS RISTICAS	TIPOS DE ARENAS															
	MARINAS						EOLICAS				FLUVIALES					
SUPERFICIALES	R.P.	P.S.	P.O.	P.L.N.	P.E.P.	P.Ch.	P.M.	P.L.Z.	D.M.	D.L.P.	D.C.	R.E.	R.J.	R.J.	R.J.	R.G.
	13	14	12	15	17	1	16	10	52	53	57	105	101(1)	101(2)	101(3)	106
FRACATURAS CONCOIDES GRAN TAMAÑO	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	●	●	●	●	●
FRACATURAS CONCOIDES PEQUEÑO TAMAÑO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	●	●	●	●	●
ESCALONES PARALELOS Y SUBPARALELOS	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	●	○	○	-	○
ESCALONES ARQUEADOS	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-
ESTRIAS SUBPARALELAS	○	○	○	○	-	○	-	-	○	-	-	●	●	●	○	○
ESTRIAS AL AZAR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○
"GROOVES"	-	-	-	-	●	-	○	○	●	●	●	-	-	-	-	-
PICOTEADO	●	●	●	-	●	●	●	●	-	-	-	○	○	-	-	○
FORMAS EN "V"	-	-	-	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	○
CRESTAS SINUCAS	-	-	-	-	-	-	○	-	○	○	○	-	-	-	-	-
CUPULAS	-	-	○	-	-	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-
GRIETAS EN "TRILETE"	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-
SUPERFICIES LISAS	●	●	●	●	●	●	●	●	-	-	-	-	-	-	-	○
SUPERFICIES RUGOSAS	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	●	○	○	○	○	○
PLAJOS DE EXFOLIACION	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-	○
PLACAS IMBRICADAS	-	-	-	-	-	-	○	-	●	●	●	-	-	-	-	-
MICROLOGUES	○	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-
"CHATTERMARKS"	-	○	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LAMILLAS DE PRECIPITACION	-	-	○	○	-	-	-	-	○	-	○	-	-	-	-	-
PRECIPITACION SILICE ESFERICA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRECIPITACION SILICE AMORFA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-
PICOTEADOS Y FORMAS EN "V" ORIENTADAS	-	-	-	○	○	○	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-
TRIANGULOS DE DISOLUCION	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-
CANALES DE DISOLUCION RAMIFICADOS	●	●	-	-	●	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-
CORROSION	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	●	●	●	●	●
BACTERIAS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIATOMEAS	●	-	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-

● COMUN ○ ESCASO - AUSENTE

- Las superficies son lisas en los granos redondeados y subredondeados.
- Trazas de choque de mediano a pequeño tamaño (picoteado y formas en "V") afectando a todos los granos.
- En menor proporción aparecen formas en "V" orientadas y canales de disolución ramificados.

- Formas en "V" y picoteados más o menos orientados, dependiendo de la energía del oleaje (Kransley y Donahue, 1968).
- "Grooves" rectos o débilmente curvados (Kransley and Donahue, 1968) o "grooves" curvados (Ly, 1978).
- Fracturas concoides de pequeño tamaño y estrías paralelas (Carver, 1971).

- “Chattermarks” (Bull *et al.*, 1980; Barbaroux *et al.*, 1972), aunque este carácter ha sido definido para otros ambientes como el glaciario, fluvial e incluso diagenético.
- Pulimento progresivo de las aristas, caras y, finalmente, de las marcas mecánicas (Le Ribault, 1975).
- Depósitos de sílice amorfa en las depresiones (Le Ribault, 1975).
- Presencia de diatomeas en depresiones y grietas.

Comparando los resultados se aprecia que los caracteres observados por nosotros (tabla IV) coinciden con los descritos en la bibliografía. Con respecto a la arena de playa atlántica (PCh-1), los caracteres descritos sobre los feldspatos coinciden en su mayor parte con los determinados sobre el cuarzo, presentando, además, marcas mecánicas relacionadas con la exfoliación de estos minerales (escalones y estrías paralelas y microbloques), así como algún efecto más intenso de orientación y disolución a favor de la misma.

Los caracteres comunes a todos los *cuarzos de dunas* continentales (lám. II) son:

- Predominio de granos redondeados y subredondeados.
- Formas equidimensionales.
- Superficies mates y rugosas.
- Formación de placas imbricadas de sílice.
- Formas en “V” y picoteados desorientados.
- “Grooves” curvados.
- En menor proporción aparecen crestas sinuosas.
- Laminillas de precipitación.
- En las dunas de desiertos de clima tropical-árido, aparición de grietas en “trilete”.

Los caracteres más comunes descritos en la bibliografía son:

- Crestas sinuosas (Krinsley and Donahue, 1968; Le Ribault, 1975; Krinsley and Takahashi, 1962; Carver, 1971).
- “Grooves” curvados (Margolis and Krinsley, 1971; Le Ribault, 1975).
- Placas imbricadas (Margolis and Krinsley, 1971; Le Ribault, 1971, 1975).

Como se deduce de la tabla IV, las características descritas por los diferentes autores coinciden, casi en su totalidad, con las observadas por nosotros. La única marca no descrita claramente en la bibliografía son las grietas en “trilete”, que podrían ser los “Poligonal Craks” de Krinsley *et al.* (1976) y Krinsley and Mc Coy (1978), que las encuentran también en arenas del desierto del Sahara, y los “Crackings star” (agrietamientos estrellados) de Culver *et al.* (1983), y que nosotros interpretamos como debidas al cambio brusco de temperaturas diurna-nocturna.

Las características encontradas en los granos de *cuarzo del medio fluvial* (lám. III) son:

- Los granos son de subangulosos a angulosos.
- De forma son predominantemente elongados y equidimensionalmente subordinados.
- En general, todos los granos de este ambiente están corroidos.
- Fracturas concoideas de pequeño y gran tamaño.
- Escalones y estrías paralelas.

- En menor proporción aparecen microbloques, ligero picoteado y planos de exfoliación.

Para muchos autores el ambiente fluvial no imprime caracteres suficientemente diferenciables (Krinsley and Donahue, 1968), no obstante, algunos han definido marcas típicas tales como:

- “Centipedes” (Manker and Ponder, 1978).
- Numerosas huellas de choque que pueden variar de tamaño según la violencia del medio, como cúpulas y fracturas concoideas (Le Ribault, 1975).
- Canales de disolución lineales y ramificados (Manker and Ponder, 1978).
- Depósitos de sílice amorfa en las depresiones y diatomeas en estos depósitos, así como neogénesis de sílice euهدral (Le Ribault, 1975; Barbaroux, *et al.*, 1972).

Casi todos los autores que han estudiado cuarzos fluviales hablan de una gran movilidad de la sílice en este ambiente, originando encostramientos de sílice amorfa con diatomeas (Barbaroux *et al.*, 1972), neogénesis de cuarzo euهدral y corrosión. Nosotros hemos encontrado un proceso generalizado de corrosión y algo de precipitación de sílice amorfa, pero no tenemos ninguna seguridad de que, sobre todo la corrosión, no venga heredada de las áreas fuentes, teniendo en cuenta la gran cantidad de cuarzo de origen metamórfico que implica la existencia de minerales arcillosos. Todo esto queda también apoyado por el hecho de que las superficies corroidas son las más antiguas y, por el contrario, las no corroidas son las de fractura reciente.

La aparición de superficies con planos de exfoliación (Whalley and Krinsley, 1974) en el río Gállego, junto con las características fluviales típicas, nos induce a pensar en la posible existencia de cuarzos de origen glaciario transportados por este río.

Por último, las marcas superficiales comunes a las arenas fluviales estudiadas por nosotros, son bastante homogéneas y características, como puede observarse en el cuadro IV, separándose claramente de los otros ambientes estudiados. Tal vez esta opinión sea debida a que los ríos elegidos son, en general, de tipo torrencial, al menos en los tramos muestreados, por lo que sus impresiones son suficientemente violentas para diferenciarlas de otros medios.

## Secuencia de Valdelagrana. Descripción de las muestras y discusión de los resultados

Las marcas superficiales de las secuencias de Valdelagrana (lám. IV), El Aculadero (lám. V) y la “Formación arenas rojas” de Vejer-Medina (lám. VI), han sido sintetizadas en la tabla V.

La descripción de los caracteres superficiales encontrados en cada uno de los subambientes dentro de la secuencia de *Valdelagrana* es la siguiente:

### P. V. 308 - Hoja 1.061 (Cádiz) - Playa actual

Al igual que lo observado a la lupa binocular, la característica principal de los granos de esta muestra es su gran variedad morfológica, existiendo cuarzos redondeados, angulosos, rotos, corroidos, etc. Los granos redondeados presentan una fuerte alteración química sobreimpuesta a las marcas mecánicas y enmascarada por gran cantidad de de-

TABLA V.- CARACTERES SUPERFICIALES ENCONTRADOS EN LOS CUARZOS DE LAS SECUENCIAS DE VALDELAGRANA, EL ACULADERO Y VEJER-MEDINA.

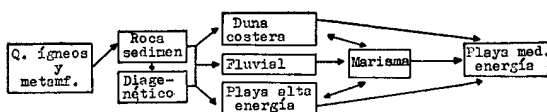
TIPOS DE CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES	VALDELAGRANA				EL ACULADERO						VEJER M.		
	308	309	310	311	301	302	303	304	305	306	307		
FRACTURAS CONCORDES GRAN TAMAÑO	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	-		
FRACTURAS CONCORDES PEQUEÑO TAMAÑO	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	○		
ESCALONES PARALELOS Y SUBPARALELOS	○	-	○	-	-	○	○	-	○	-	○		
ESCALONES ANQUEADOS	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-		
ESTRÍAS SUBPARALELAS	○	-	-	-	○	○	-	○	○	-	○		
ESTRÍAS AL AZAR	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
"GROOVES"	-	○	○	●	●	●	●	○	●	●	●		
PICTEADO	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
FORMAS EN "V"	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		
CRESTAS SINUSOSAS	●	-	●	●	-	○	○	-	○	○	○		
OPULAS	●	●	○	○	-	●	-	●	○	○	○		
GRIETAS EN "TRILETE"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
SUPERFICIES LISAS	●	●	●	○	●	○	○	●	●	○	○		
SUPERFICIES RUGOSAS	-	-	-	○	-	○	○	-	-	○	○		
PLANOS DE DIFUSIÓN	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-		
PLACAS IMBRICADAS	-	-	-	-	-	-	○	-	○	○	-		
MICROBOLLOS	○	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-		
"CHATTERMARKS"	-	-	-	-	-	○	-	-	○	-	○		
LAMINILLAS DE PRECIPITACION	-	-	-	○	-	-	○	-	-	-	-		
PRECIPITACION SILICE EUPETRAL	○	●	●	-	-	-	-	○	-	-	○		
PRECIPITACION SILICE AMORFA	○	○	●	-	-	○	-	-	-	-	○		
PICTEADOS Y FORMAS EN "V" ORIENTADOS	○	●	-	-	-	●	-	-	○	○	-		
TRÁNSITOS DE DIFUSIÓN	-	-	○	-	-	●	-	-	-	-	○		
CANALES DE DIFUSIÓN RAMIFICADOS	○	-	●	-	○	-	-	-	-	-	○		
CONCORDIA	-	-	-	-	-	-	-	○	-	○	○		
BACTERIAS	-	-	-	-	-	-	-	-	●	-	-		
DIATOMEAS	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

● COMUN      ○ ESCASO      - AUSENTE

ósitos silíceos, fundamentalmente en las depresiones. En otras ocasiones estos granos presentan grandes golfos de corrosión.

Existe otro tipo de grano, también bien redondeado, con superficie muy lisa, donde la alteración química es menos intensa, observándose más fenómenos de disolución y orientación de las marcas. Los cuarzos angulosos y los rotos presentan superficies y aristas muy netas y otras caras con señales de alteración química, observándose, incluso, junto con depósitos de sílice amorfa, neogénesis de cuarzo.

El esquema evolutivo de esta muestra podría representarse:



P. V. 309 - Hoja 1.061 (Cádiz) - Marisma

Los granos de esta muestra son también muy variados. Los más redondeados presentan frecuentes señales mecánicas, en general orientadas y alojadas en grietas y depresiones, diatomeas cementadas por sílice amorfa. Es el tipo de grano más abundante (40%).

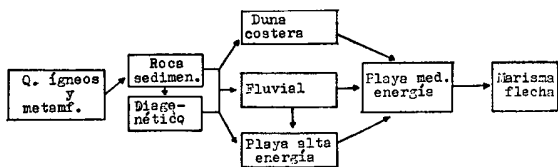
Otro tipo de grano redondeado presenta abundantes señales mecánicas y superficie algo rugosa, enmascarando todo ello por depósito de sílice. Los granos subredondeados y subangulosos presentan, la mayoría, una fuerte corrosión, siendo muy lisas las caras rotas.

Son relativamente frecuentes en esta muestra los cuarzos piramidados. Suelen estar sus caras y aristas sin señales de alteración y con frecuentes formas de neogénesis. En detalle estas caras están sembradas de pequeños abultamientos, en algún caso subidiomorfos, que podrían corresponder a los moldes de las evaporitas vistas al microscopio petrográfico.

No cabe duda de que existe una variada procedencia e historia evolutiva de los granos, pareciendo existir un final



común a todos ellos: procesos de neogénesis en un medio de mezcla de aguas, salada y dulce, muy a propósito para ello (Knaut, 1979). El esquema evolutivo de esta muestra podríamos representarlo:



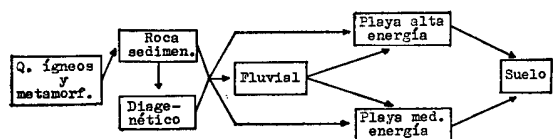
**P. V. 310 - Hoja 1.061 (Cádiz) - Flecha litoral**

Los granos son de subredondeados a subangulosos, si bien en detalle se comprueba que sus superficies están bastante trabajadas, pero, en ocasiones, rotas. Es también frecuente la presencia de cuarzos idiomorfos o subidiomorfos.

Los granos subredondeados presentan numerosas marcas mecánicas en proceso de disolución y orientación, enmascaradas por la presencia de abundantes depósitos de sílice. También pueden verse numerosas morfologías de crecimiento secundario con estos procesos mecánicos y químicos superpuestos. En las caras más pulidas de estos granos es muy frecuente la presencia de triángulos de disolución.

Los cuarzos idiomorfos y subidiomorfos tienen sus caras y aristas bastante intactas, aunque se aprecian pequeñas marcas mecánicas y depósitos de sílice superpuestos a estas marcas.

En estos granos la cronología de procesos parece ser más evidente y generalizada, por lo que su esquema evolutivo sería:

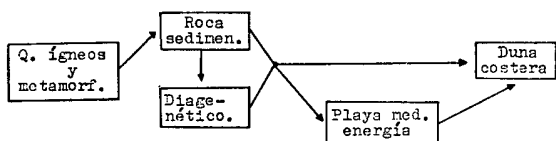


**P. V. 311 - Hoja 1.061 (Cádiz) - Dunas actuales**

Los cuarzos de esta muestra presentan morfologías similares a las anteriores. La superficie de los granos redondeados y subredondeados es bastante rugosa, presentando numerosas señales mecánicas e inicio de película escamosa y laminillas de precipitación. El mismo proceso se observa también sobre algunos granos idiomorfos. Este tipo de grano es el más frecuente, aunque existen otros cuarzos, también subredondeados de superficie lisa, marcas algo orientadas y pequeño depósito de sílice.

Hay, asimismo, un pequeño porcentaje de granos rotos y otros con marcas mecánicas de gran tamaño y bastante recientes.

Aunque la mayoría de los granos presentan una clara influencia eólica, hay algunos que parece que se han incorporado muy recientemente a este medio. El esquema evolutivo de esta muestra podríamos representarlo:



Aunque la procedencia de las arenas de esta secuencia debe ser común, los caracteres observados al M.E.B. reflejan su paso por diferentes ambientes antes de llegar al actual. La pobreza en feldespatos de la muestra P.V. 310 (ver tabla II), así como la escasa fracción de arena de grano medio (0,25 a 0,50 mm.) y la gran cantidad de arcilla y materia orgánica, podría explicarse por un intenso lixiviado en un proceso edáfico, tal y como queda reflejado en el esquema evolutivo correspondiente.

En la mayoría de los granos de esta secuencia aparecen impresos caracteres eólicos y marinos, muchas veces en un orden difícil de establecer, siendo fácil encontrar cuarzos que han sufrido más de un ciclo eólico y marino, como ha quedado reflejado en los esquemas ya citados.

Tanto en el ambiente edáfico como en el de "marisma" desarrollada en el surco de la flecha, los procesos químicos son muy intensos (precipitación de sílice euédral, formación de triángulos de disolución, etc.). Aunque en la bibliografía los triángulos de disolución han sido interpretados mayoritariamente como originados por disolución por agua de mar y así lo hemos interpretado en algunas ocasiones, en la mayoría de los casos este fenómeno es más frecuente e intenso, como afirma Le Ribault (1975), en ambiente edáfico, bien en un horizonte de eluviación o en horizontes subácueos.

A pesar de la policiclicidad de los granos, los cuarzos de la playa actual presentan un predominio de los caracteres típicos de este ambiente. Este mismo fenómeno les ocurre a los de la duna litoral, como puede observarse en la tabla V. Por el contrario, estos caracteres originales quedan bastante enmascarados en los ambientes edáficos ya descritos.

**Secuencia de El Aculadero. Descripción de las muestras y discusión de los resultados**

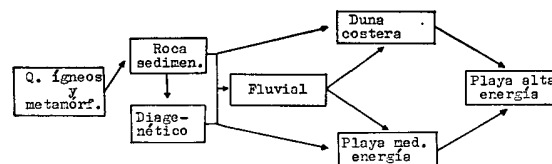
Dada la variedad de ambientes sedimentarios representados en esta secuencia, vamos a considerar separadamente las muestras tomadas en este perfil. Los datos correspondientes a los ambientes fósiles han sido tomados de Zazo (1980), Zazo *et al.* (1983) y Zazo *et al.* (en prensa). (Ver algunos aspectos en lám. V.)

**P. E. A. 301 - Hoja 1.061 (Cádiz) - Playa actual**

Los cuarzos de esta muestra presentan una gran variedad morfológica, existiendo un alto porcentaje de granos idiomorfos. Los granos más redondeados tienen superficie algo rugosa y abundantes marcas mecánicas en proceso de disolución. Los cuarzos idiomorfos están poco trabajados, aunque presentan procesos de disolución bastante intensos.

En general los granos muestran señales mecánicas de gran tamaño, anteriores a las marcas mecánicas de pequeño tamaño y a los procesos de disolución. Por último, la fracturación de los granos rotos parece ser muy reciente.

Según lo expuesto, el esquema evolutivo de la muestra podría representarse de la siguiente manera:



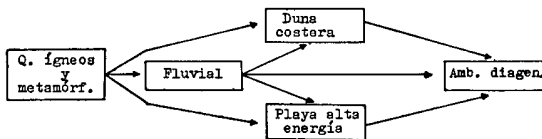
Los cuarzos (tabla V) presentan características claras de ambiente marino, pero la gran densidad de "grooves" implica una mezcla de ambiente eólico; así como la relativa frecuencia de señales mecánicas de gran tamaño nos induce a pensar que nos encontramos ante su paso por un medio de alta energía (fluvial o playa de alta energía), tal y como queda plasmado en el esquema.

La justificación de esta mezcla de ambientes podría deberse a que se trata de una playa situada en una costa regresiva, con destrucción rápida del acantilado, en el que afloran materiales correspondientes a varios ambientes sedimentarios, hoy en día fósiles, marino, marino-salobre, fluvial y eólico.

**P. E. A. 302 - Hoja 1.061 (Cádiz) - Playa fósil**

El carácter más sobresaliente de los granos de esta muestra es la frecuencia en ellos de grandes cúpulas o depresiones con fenómenos de disolución-corrosión. La superficie pulida de los mismos presenta numerosísimas señales mecánicas en proceso de disolución y orientación. En estos granos, sobreimpuestas a las marcas mecánicas, se observan frecuentes triángulos de disolución.

Un pequeño porcentaje de cuarzos muestran fracturas de gran tamaño, suavizadas por procesos mecánicos menos intensos y algo de disolución, apareciendo, asimismo, algunos granos rotos. Finalmente, los granos angulosos y subangulosos, que parecen poco trabajados, presentan, sin embargo, algunas caras con procesos de disolución-corrosión. El esquema evolutivo podríamos representarlo, por tanto:



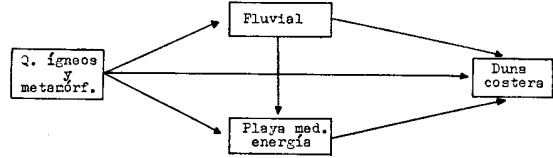
Como puede desprenderse de la tabla V, las características de los cuarzos de esta muestra presentan bastante similitud con los de la playa actual y su posible paso por los distintos ambientes queda reflejado en el esquema evolutivo. No obstante, todos estos caracteres quedan enmascarados por los procesos diagenéticos que ha sufrido el depósito posteriormente.

Efectivamente, en los depósitos correspondientes a esta playa fósil, se observan recristalizaciones y disoluciones parciales de la fauna, que hace en muchos casos altamente difícil su clasificación.

**P. E. A. 303 - Hoja 1.061 (Cádiz) - Duna actual**

Esta muestra es más homogénea que las anteriores. Tiene, en términos generales, tres tipos de granos. Unos, bien redondeados, con superficie rugosa y señales mecánicas enmascaradas con película de sílice escamosa; otros, subredondeados, de superficie más lisa, con señales mecánicas más claras, que parece que se han incorporado más tarde al medio eólico, y un tercer tipo, que presenta fuertes señales de rotura y sobreimpuestas a ellas pequeñas marcas y depósitos silíceos.

Su esquema evolutivo parece más simple y claro que en casos anteriores, y podría ser el siguiente:



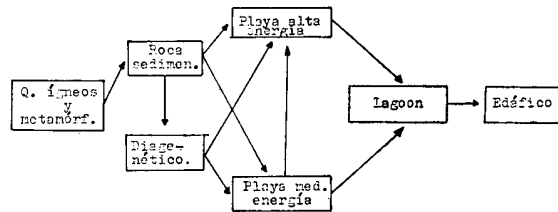
Los cuarzos de esta muestra (tabla V) presentan características claras de ambiente eólico ("grooves", crestas sinuosas y placas imbricadas), no obstante, se observa también influencia marina (granos con superficies lisas y ligera orientación de las marcas mecánicas). Todo esto queda justificado por la posición espacial de estos cordones dunares, que siempre se sitúan muy próximos a la línea de costa, por lo que la mayor parte del aporte proviene directamente de la playa.

**P. E. A. 304 - Hoja 1.061 (Cádiz) - Cuñas de arena ("Washover fan")**

Lo más significativo de esta muestra es la generalización de los procesos finales, diagenético y edáfico, que se manifiestan en que la mayoría de los granos estudiados presentan moldes idiomorfos o subidiomorfos de pirita, es decir, primero se formaron cristales de pirita y en un proceso posterior se disolvieron.

Estos procesos están sobreimpuestos en unos casos a granos subredondeados con grandes depresiones y cúpulas con fenómenos de disolución, superficie bastante lisa y alguna marca mecánica, y, en otros casos, los cuarzos son subangulosos con fracturas de gran tamaño y en algunos casos rotos, sobre las que se sobreimpone pequeñas marcas mecánicas.

El esquema evolutivo es complejo y podría representarse:



Los granos de cuarzo presentan fundamentalmente características de ambiente marino (tabla V) (superficies lisas, pequeñas marcas mecánicas); por otra parte, se observan muchos indicios de un medio de alta energía (fracturas concoides de gran tamaño y estrías subparalelas) y, finalmente, se han observado los moldes de pirita, que hemos interpretado como que en un momento de su historia sedimentaria los cuarzos estuvieron en un ambiente diagenético anóxico y, posteriormente, en un ambiente edáfico, se disolvieron, como queda reflejado en el esquema evolutivo.

La justificación del paso de un ambiente de media energía a otro de alta se debe a que estos depósitos corresponden a materiales de playa situados por delante del cordón litoral que cierra el lagoon y que en mareas fuertes o temporales pueden ser introducidos dentro del mismo al romper el cordón de cierre.

**P. E. A. 305 - Hoja 1.061 (Cádiz) - Paleosuelo rojo sobre el glacis de cobertera**

La característica más común de los granos de esta muestra es que están rotos, habiendo un pequeño porcentaje de cuarzos idiomorfos.

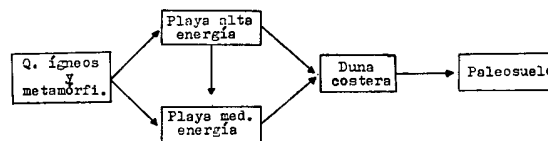
Los granos más redondeados, así como los idiomorfos, presentan abundantes señales mecánicas en una fase incipiente de orientación, y en otras ocasiones estas marcas mecánicas están enmascaradas por una débil película de sílice escamosa.

Un pequeño porcentaje de granos presenta grandes "grooves" y señales mecánicas de gran tamaño, sobrepuestas a las marcas anteriores.

Por último, en ligeras depresiones de las superficies lisas aparecen unas estructuras sobrepuestas a las señales mecánicas, que hemos interpretado como posibles bacterias en fase de litificación. Estas estructuras son relativamente frecuentes en los granos redondeados y subredondeados.

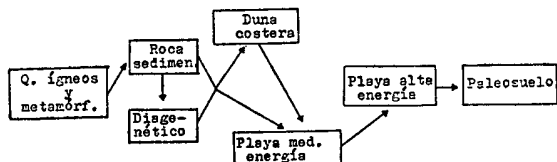
El esquema evolutivo de esta muestra podría ser:

El esquema evolutivo de esta muestra parece bastante claro y podría ser el siguiente:



Como se observa en la tabla V, las características de estos granos son muy similares a los que presenta la duna actual, a excepción de los procesos de corrosión.

En los materiales de estas dunas se observan claramente, en el corte actual, multitud de rizocreciones, las cuales indican la presencia de un proceso edáfico desarrollado en las mismas posteriormente a su puesta *in situ*. Por otro lado, estas arenas estaban fuertemente cementadas por carbonatos, todo lo cual podría justificar las diferencias entre dunas fósiles y actuales.



Dentro de esta muestra (tabla V) se observan granos con características marinas y eólicas fundamentalmente, con señales sobrepuestas indicadoras de un medio de alta energía (fracturas concoides de gran tamaño, escalones paralelos, etc.). Teniendo en cuenta que el material en el que se ha recogido la muestra corresponde al horizonte argílico de un suelo desarrollado sobre un glacis de cobertera, que yace al pie de unos relieves constituidos por arenas y conglomerados marinos, la presencia de facies marinas quedaría justificada, independientemente de que el medio de depósito de este glacis sea fluvial. Sin embargo, según el esquema evolutivo, los granos pasarían antes de sufrir el proceso edáfico, por un medio de alta energía, lo que, en parte, es contradictorio con los procesos de formación de un glacis.

**P. E. A. 306 - Hoja 1.061 (Cádiz) - Duna fósil**

La característica de estos cuarzos es su homogeneidad morfológica, estando todos en el límite entre subredondeados y redondeados. Sus superficies en detalle presentan fuertes señales de alteración mecánica y química, así como una tendencia a formarse placas imbricadas de sílice.

En un pequeño porcentaje de granos, las marcas mecánicas están algo orientadas y la superficie de estos cuarzos es más lisa.

En las zonas más deprimidas de los granos se observa bastante corrosión. Pensamos que este proceso puede estar relacionado con la presencia de una gran cantidad de cemento carbonático que trababa estas arenas, provocando la corrosión de los granos.

**Formación «Arenas Rojas». Descripción de las muestras y discusión de los resultados**

Las marcas superficiales de estas muestras están, como ya hemos dicho, esquematizadas en la tabla V, y su representación fotográfica en la lámina VI.

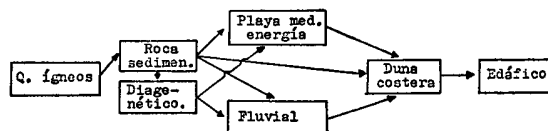
**V. M. 307 - Hoja 1.073 (Vejer de la Frontera)**

Los granos, bien redondeados en general, son muy variados en detalle. Los cuarzos bien redondeados presentan superficies de lisas a rugosas, que corresponden a las brillantes y mates vistas a la lupa binocular. Los mates presentan abundantes señales mecánicas ("grooves" y crestas sinuosas) enmascaradas por la formación de placas imbricadas de sílice. Los granos con superficies lisas presentan marcas mecánicas más netas, sobre todo marcas circulares ("chattermarks"), en proceso de disolución y orientación, dando muchas veces triángulos de disolución.

Los granos subredondeados tienen sus superficies muy atacadas químicamente. En detalle se observa cómo los crecimientos secundarios de cuarzo están siendo corroídos y cómo a favor de depresiones y antiguas señales de impacto aparecen triángulos de disolución y en otros casos depósitos síliceos.

Algunos de estos granos presentan superficies de rotura bastante recientes, poco atacadas por los procesos posteriores.

La procedencia de los granos es muy variada y su esquema evolutivo difícil de establecer; este podría ser:



Las características dominantes (tabla V) en los granos de esta muestra son las correspondientes al medio marino y eólico, así como ligeros indicios de ambiente fluvial, que posiblemente corresponderían a la primera fase de deposi-

ción sedimentaria de estos materiales. Asimismo, se observa un proceso posterior de edafización y/o diagénesis (precipitación de sílice euhedral y amorfa, triángulos de disolución, etc.).

Esta muestra pertenece a una "Formación" (Zazo, 1980) bastante extensa, que aflora en toda la costa suroeste del litoral portugués y español y que, según otros datos (Geomorfología, Paleontología, estructuras sedimentarias), corresponde a depósitos con clara influencia continental, sedimentados en ambiente marino somero (barras, flechas) y que en algunos casos, como en la zona donde se ha tomado la muestra (carretera Vejer-Medina, kms. 57-58), dada su situación geográfica y su aspecto en la fotografía aérea, muy semejante a los depósitos de dunas fósiles que afloran en la zona de Barbate, podría tratarse de materiales puestos *in situ* por el viento (Zazo *et al.*, en prensa).

Lo que es seguro es que sobre esta "Formación" es desarrollado un suelo rojo con un horizonte argílico bastante potente (un metro), lo que justificaría la presencia de precipitación de sílice euhedral y amorfa, así como los fenómenos de disolución.

### Conclusiones

- Los caracteres superficiales encontrados para los cuarzos marinos son: picoteado y formas en "V" más o menos orientadas, superficies lisas, canales de disolución ramificados y presencia de diatomeas.

En los cuarzos eólicos los caracteres son: "grooves", formas en "V" no orientadas, superficies rugosas y placas imbricadas de sílice. En climas extremados aparecen también grietas en "trilete".

Los cuarzos fluviales muestran: fracturas conoides de gran tamaño y de pequeño tamaño, escalones paralelos y semiparalelos, estrías subparalelas y corrosión.

- Con la ayuda de la técnica empleada podemos decir que es posible averiguar si un grano de cuarzo ha pasado por un ambiente sedimentario o por varios durante su historia evolutiva e incluso establecer el orden cronológico de los mismos en algunos casos. Ahora bien, creemos que la metodología es válida para sedimentos recientes o subrecientes debido, como hemos comprobado, a la intensa acción química que destruye las marcas mecánicas, tanto en el ambiente diagenético como en el edáfico.
- El medio marino es el más problemático de definir, sobre todo en costas de evolución rápida, por existir cambios frecuentes de facies, con lo cual la separación de subambientes es muy difícil. Así, los cuarzos a menudo tienen tanto carácter de duna costera como de playa de diferente energía.

El experimento realizado por nosotros de estudiar superficies de feldespatos cuando no existe cuarzo, revela que las marcas mecánicas son si-

milares a las encontradas en el cuarzo y que las químicas son más intensas, apareciendo la mayoría de ellas a favor de la exfoliación.

- El medio eólico continental es el más característico de todos los ambientes estudiados y el más fácil de reconocer.
- El ambiente fluvial, que según algunos autores no imprime carácter superficial a los cuarzos, ha quedado en nuestro caso perfectamente delimitado. Consideramos que ello es debido al régimen torrencial de los ríos estudiados, al menos en las zonas muestreadas.

La intensa corrosión que presentan los cuarzos fluviales interpretamos que es heredada de un ciclo sedimentario o metamórfico anterior, como hemos comprobado con la ayuda de otras técnicas petrográficas.

- En la Secuencia de Valdelagrana los cuarzos de los ambientes marino y eólico quedan bien definidos a pesar de la superposición de huellas de ambos ambientes.

En los cuarzos de los ambientes de "marisma" y "edáfico", por el contrario, las huellas eólico-marinas quedan bastante enmascaradas por los intensos procesos químicos.

- En la Secuencia de El Aculadero, los ambientes marino y eólico, al igual que en la secuencia anterior, quedan perfectamente definidos.

Los ambientes marino y eólico fósiles quedan también definidos, pero algo enmascarados por procesos diagenéticos en la playa fósil y diagenéticos más edáficos en la duna fósil.

En el "washover fan" hemos podido comprobar su carácter esencialmente marino y su paso por una playa de alta energía antes de sufrir procesos diagenéticos y edáficos.

- Las características determinadas por exoscopia del cuarzo en la "Formación arenas rojas" indican su paso por ambientes marino, eólico, fluvial y edáfico, coincidiendo con las teorías desarrolladas en la bibliografía. La influencia mayor o menor de estos ambientes sólo se podría saber cuantificando los resultados en un número elevado de muestras situadas previamente en una cartografía de detalle.

### Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro agradecimiento más sincero al profesor David H. Krinsley, del Department of Geology de la Arizona State University (U.S.A.), por la atención prestada y el tiempo dedicado a la revisión de nuestro trabajo, sobre todo en el comentario de las láminas, al S.E.M. y por su ayuda en la redacción del Abstract.

La realización de este trabajo ha sido posible gracias al interés y horas de dedicación de doña María Estrella Tortosa, encargada del Microscopio Electrónico de Barrido de la E.T.S.I. Agrónomos de Madrid. También queremos agradecer a don Vicente Gómez Miguel, profesor de la E.T.S.I.A., la ayuda prestada en la elaboración de algunas etapas de este trabajo.

## Bibliografía

- ALCALÁ DEL OLMO, L.  
1972. Estudio sedimentológico de los arenales de Cuelar. *Estudios geol.*, 28, 345-358.  
1974. *Estudio edáfico-sedimentológico de los arenales de la cuenca del Duero*. Tesis doctoral. Universidad Complutense. Madrid.
- BARBAROX, L.; BOUSQUET, B.; BROUSSE, R.; NOBREGA, P. y JOVIC, P.  
1972. Examen au microscope électronique á balayage de grains de sable de diverses origines. Essai de typologie, signification environnementale. *Extrait du Bulletin du B.R.G.M.*, 4, 4-31.
- BIEDERMAN, JR. E. W.  
1962. Distinction of shoreline environments in New Jersey. *J. Sed. Petrol.*, 32, 181-200.
- BLACKWELDER, P. L. y PILKEY, O. H.  
1972. Electron microscopy of quartz grain surface textures. The U.S. Eastern Atlantic continental margin. *J. Sed. Petrol.*, 42, 520-526.
- BULL, P. A.; CULVER, S. J. y GADNER, R.  
1980. Chattermark trails as paleoenvironmental indicators. *Geology*, 8, 318-322.
- CARVER, R. E.  
1971. *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley-Interscience. New York, 653 págs.
- CASAS, J. y LEGUEY, S.  
1971. Estudio mineralógico de los sedimentos detríticos del borde norte del Guadarrama en la cuenca del río Eresma (provincia de Segovia). *I. Congreso Hisp. Luso-Amer. Geol. Económ.*, 1, Sección I, 115-138.
- CASAS, J.; LEGUEY, S. y RODRÍGUEZ, J.  
1972. Mineralogía y Sedimentología de las arenas que recubren el terciario entre los ríos Pirón y Voltoya. *Estudios geol.*, 28, 287-296.
- CULVER, S. J.; BULL, P. A.; CAMPBELL, S.; SHAKESBY, R. A. y WHALLEY, W. B.  
1983. Environmental discrimination based on quartz grain surface textures; a statistical investigation. *Sedimentology*, 30, 129-136.
- DOWDESWELL, J. A.  
1982. Scanning electron micrographs of quartz sand grains from cold environments examined using Fourier shape analysis. *J. Sed. Petrol.*, 52, 1315-1323.
- KNAUTH, L. P.  
1979. A model for the origin of chert in limestone. *Geology*, 7, 274-277.
- KRINSLEY, D. H. y DONAHUE, J.  
1968. Environmental interpretation of sand grain surface textures by electron microscopy. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 79, 743-748.
- KRINSLEY, D. H. y DOORNKAMP, J. C.  
1973. *Atlas of quartz sand surface textures*. Cambridge University Press. London, England, 91 págs.
- KRINSLEY, D. y MARGOLIS, S.  
1969. A study of quartz surface textures with the Scanning Electron Microscope. *Trans. New York Acad. Sci.*, 31, 457-477.
- KRINSLEY, D. H. y MCCOY, F. W.  
1977. Significance and origin of surface textures on broken sand grains in deep-sea sediments. *Sedimentology*, 24, 857-862.  
1978. Aeolian quartz sand and silt. In *Scanning electron microscopy in the study of sediments*. W. B. Whalley, 249-260.
- KRINSLEY, D. H.; FRIEND, P. F. y KLIMENTIDIS, R.  
1976. Eolian transport textures on the surfaces of sand grains of Early Triassic age. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 87, 130-132.
- KRINSLEY, D. y FUNNELL, B. M.  
1965. Environmental history of quartz sand grains from the lower and middle Pleistocene of Norfolk, England. *Quart. J. Geol. Soc. London*, 121, 435-431.
- KRINSLEY, D. y TAKAHASHI, T.  
1962a. Surface textures of sand grains: an application of electron microscopy. *Science*, 135, 923-925.  
1962b. Surface textures of sand grains: glaciation. *Science*, 138, 1262-1264.
- LE RIBAUT, M. L.  
1971. Présence d'une pellicule de silice amorphe à la surface de cristaux de quartz des formations sableuses. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 272, 1933-1936.  
1975. *L'exoscopia. Méthode et applications*. Notes et Mémoires n.º 12. Total. Compagne française des pétroles. Paris, 230 págs.
- LY, CH. K.  
1978. Grain surface features in environmental determination of late Quaternary deposits in New South Wales. *J. Sed. Petrol.*, 48, 1218-1226.
- MANKER, J. y PONDER, R.  
1978. Quartz grain surface features from fluvial environment of north-eastern Georgia. *Sed. Petrol.*, 48, 1227-1232.
- MARGOLIS, S. V. y KRINSLEY, D.  
1971. Submicroscopic frosting on eolian and subaqueous sands. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 82, 3395-3406.  
1974. Process of formation and environmental occurrence of microfeatures on detrital quartz grains. *American Journal of Science*, 274, 449-464.
- NORDSTROM, C. E. y MARGOLIS, S. V.  
1972. Sedimentary history of Central California shelf sands as revealed by Scanning electron microscopy. *J. Sed. Petrol.*, 42, 527-536.
- SETLOW, L. W. y KARPOVICH, R. P.  
1972. "Glacial" micro-textures on quartz and heavy mineral sand grains from the littoral environment. *J. Sed. Petrol.*, 42, 864-875.
- TORCAL, L.  
1983. *Exoscopia del cuarzo: su aplicación a la interpretación de medios actuales y subactuales*. Tesis de Licenciatura, Universidad Complutense de Madrid, 208 págs.

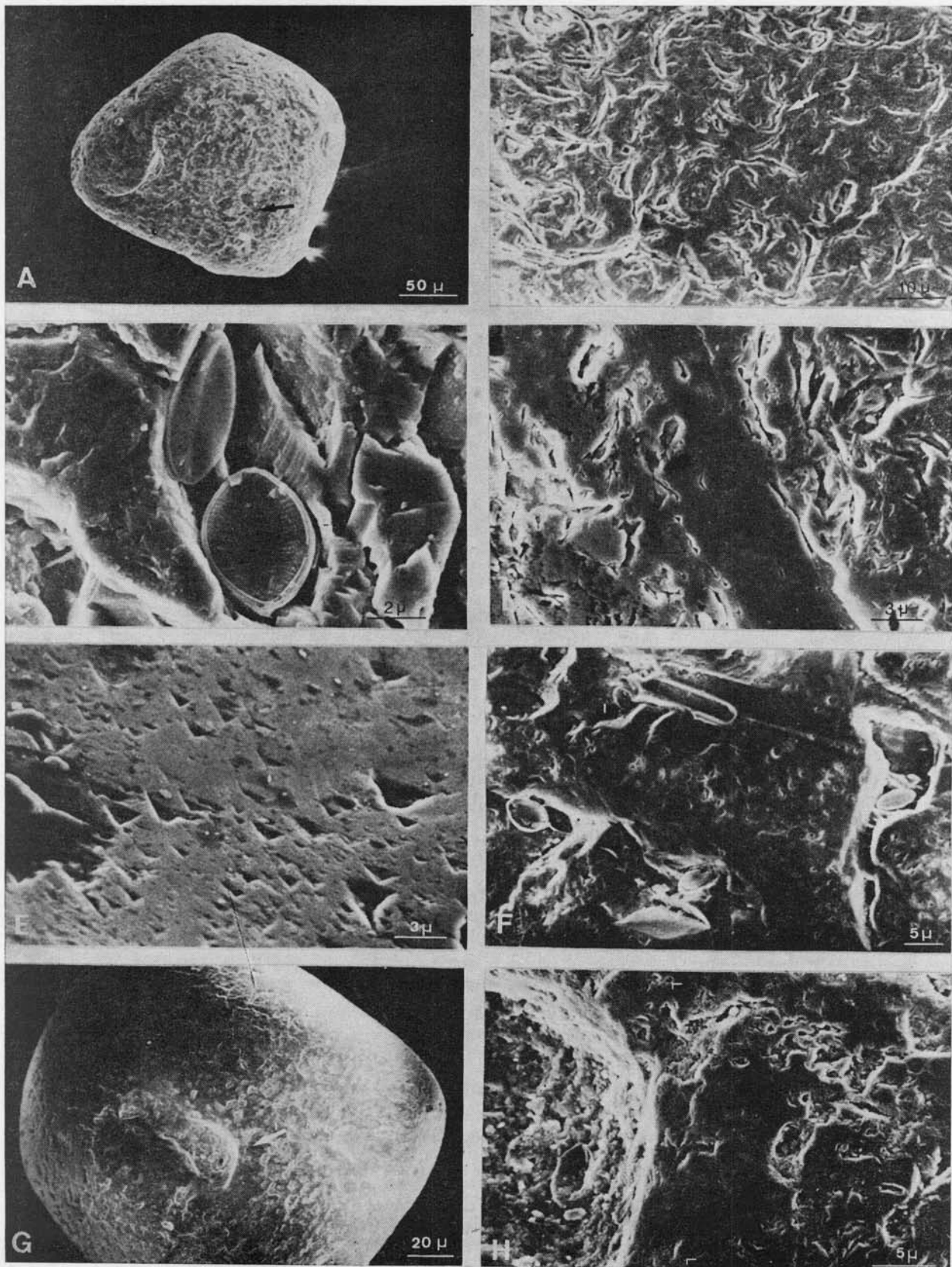
- WHALLEY, W. B. y KRINSLEY, D. H.  
1974. A scanning electron microscope study of surface textures of quartz grains from glacial environments. *Sedimentology*, 21, 87-105.
- ZAZO, C.  
1980. *El Cuaternario marino-continental y el límite Plio-Pleistoceno en el litoral de Cádiz*. Tesis doctoral (dos tomos). Universidad Comp. de Madrid.
- ZAZO, C. y GOY, J. L.  
1981. Cartografía y memoria del Cuaternario de la Hoja 12-47 (Vejer de la Frontera). *Mapa Geológico de España, Esc. 1/50.000 (2.ª serie)*. I.G.M.E. Cartografía y Memoria del Cuaternario de la hoja núm. 1.069 (Chiclana de la Frontera). *Mapa Geológico de España E: 1/50.000 (2.ª serie)*. I.G.M.E. (en prensa).
- ZAZO, C.; GOY, J. L. y DABRIO, C. J.  
1983. Medios marinos y marino-salobres en la Bahía de Cádiz durante el Pleistoceno. *Mediterránea*, 2, 29-52.

Recibido el 10 de mayo de 1984.  
Aceptado el 17 de octubre de 1984.

## LAMINA I

### *Características superficiales de los cuarzos marinos*

- A.—Grano redondeado con intenso picoteado y algún "groove". Playa de La Zenia (Alicante).
- B.—Detalle de la superficie del grano anterior, donde se observa que el picoteado y los "grooves" se interconectan dando canales de disolución ramificados.
- C.—Detalle de un canal de disolución del mismo grano donde se alojan dos diatomeas.
- D.—Superficie lisa de un grano con intensos procesos de disolución (canales de disolución ramificados). Playa de El Perdigón, Isla Cristina (Huelva).
- E.—Detalle de superficie lisa con formas en "V" orientadas. Playa de El Perdigón, Isla Cristina (Huelva).
- F.—Superficie intensamente picoteada con canales de disolución ramificados donde se alojan diatomeas. Playa de Punteume (La Coruña).
- G.—Grano bien redondeado con picoteados interconectados. Playa de Valdelagrana, Puerto de Santa María (Cádiz).
- H.—Detalle de la superficie del grano anterior, en la que se observa la interconexión de las señales mecánicas dando canales de disolución ramificados y depósito de sílice amorfa en la depresión.

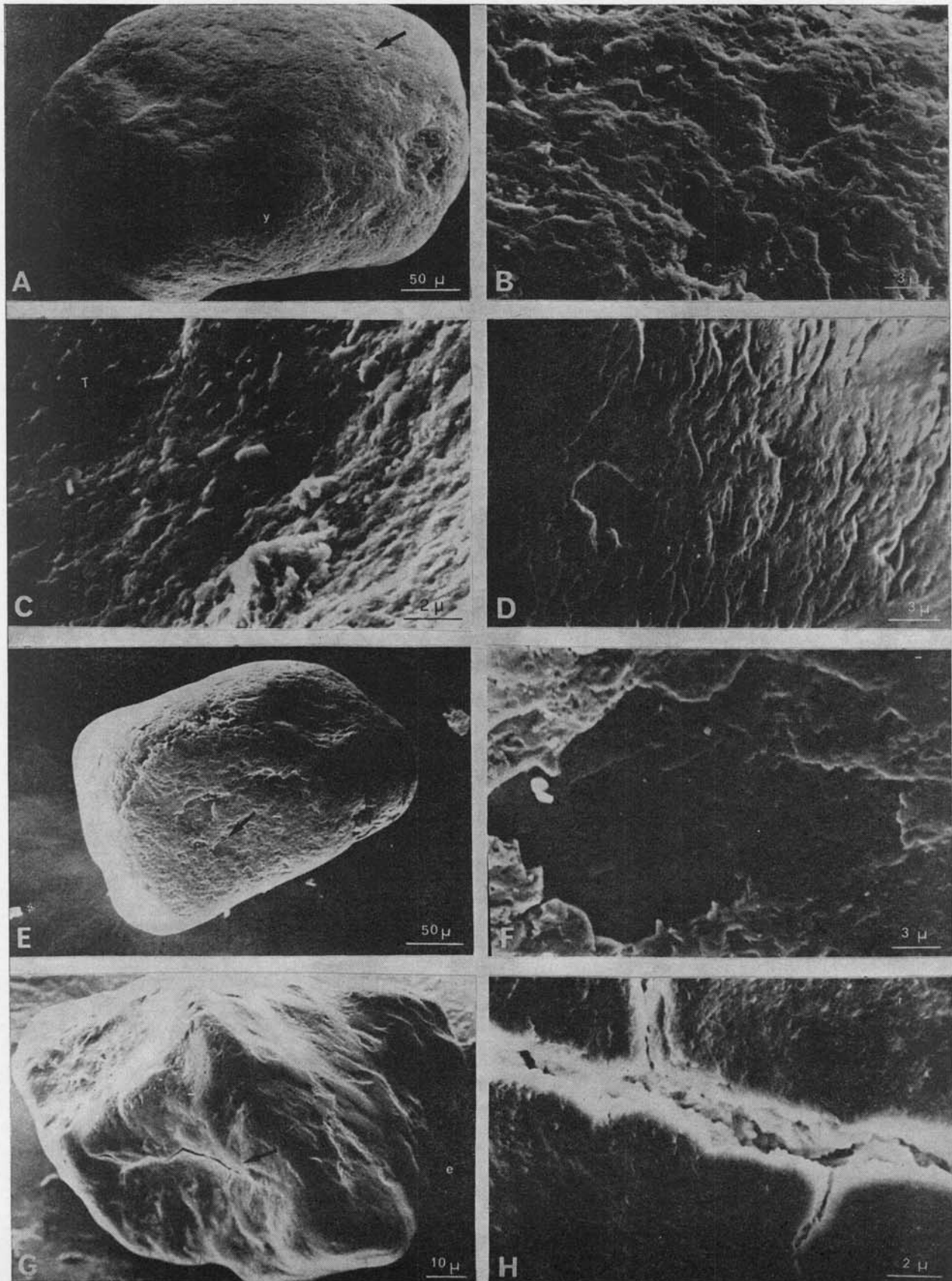


## LAMINA II

*Características superficiales de los cuarzos eólicos*

- A.*—Grano redondeado con superficie rugosa. Dunas de La Parrilla (Valladolid).
- B.*—Detalle de la superficie del grano anterior, en la que se observa la formación de placas imbricadas de sílice o película escamosa.
- C.*—Película escamosa de sílic y laminillas de precipitación sobre un grano de cuarzo del desierto al sur de Fez (Marruecos).
- D.*—Superficie con abundantes “grooves” curvados y molde de inclusión, en grano eólico costero. Dunas de Isla Cristina (Huelva).
- E.*—Grano redondeado con superficie rugosa y con zonas de desprendimiento de la película de sílice escamosa. Dunas de Cuellar (Segovia).
- F.*—Detalle de la superficie lisa debajo de la película escamosa del grano anterior.
- G.*—Grano subredondeado algo trifacetado, con grietas en “trilete”. Dunas del desierto al sur de Fez (Marruecos).
- H.*—Detalle de la grieta del grano anterior y de la superficie rugosa.

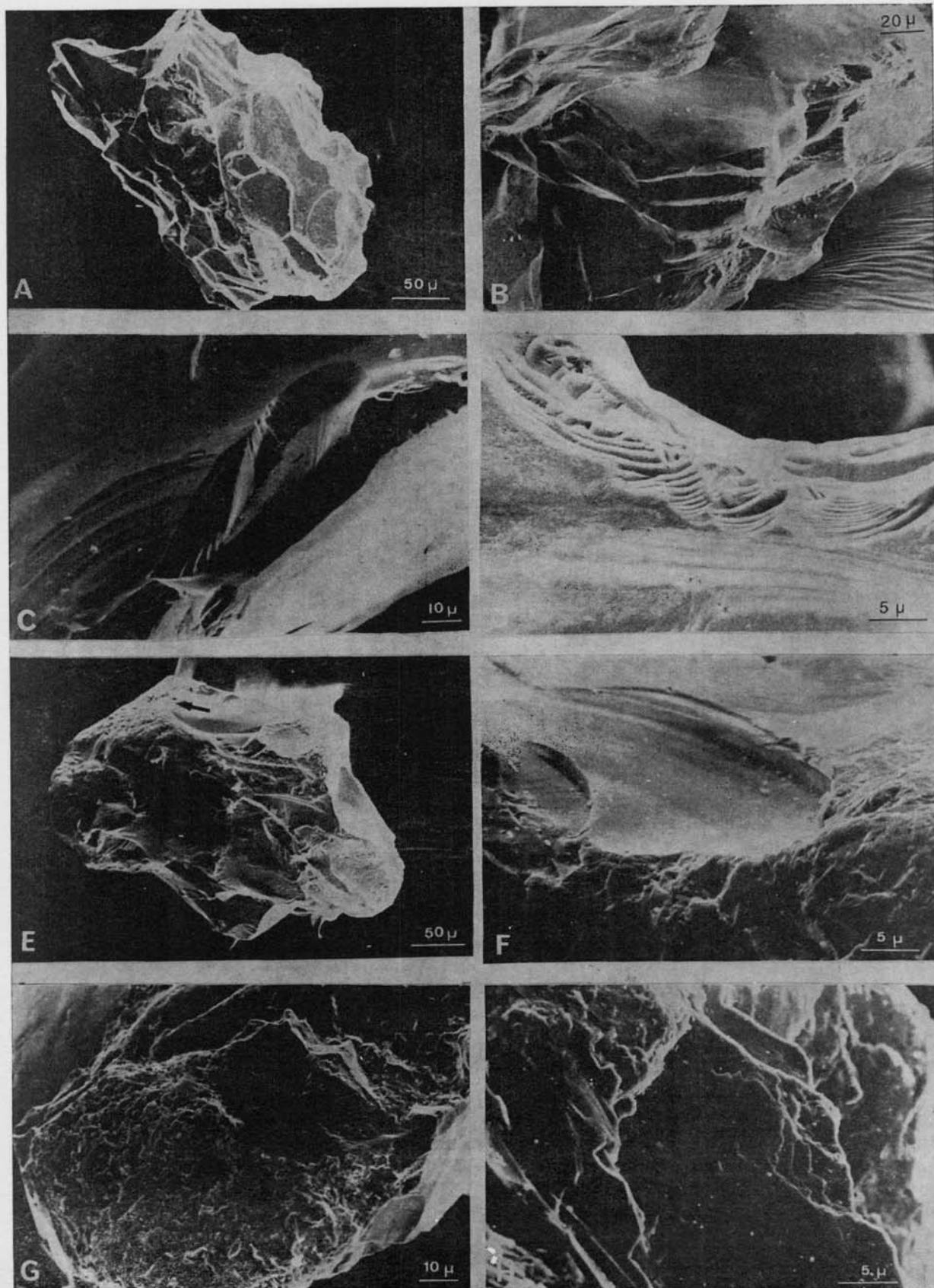




## LAMINA III

*Características superficiales de los cuarzos fluviales*

- A.*—Grano anguloso característico, con fracturas concoideas de mediano y gran tamaño. Río Jarama, Patones de Abajo (Guadalajara).
- B.*—Detalle de otro grano donde se observa la formación de escalones paralelos y subparalelos. Río Jarama, Patones de Abajo (Guadalajara).
- C.*—Estrías subparalelas y numerosas fracturas de un grano anguloso del río Jarama, Patones de Abajo (Guadalajara).
- D.*—Estrías y escalones arqueados y subparalelos de un grano anguloso del Arroyo de San Pedro, Puerto de Santa María (Cádiz).
- E.*—Grano subanguloso con múltiples fracturas concoideas y corrosión. Río Ebro (Zaragoza).
- F.*—Detalle de las fracturas concoideas y estrías del grano anterior.
- G.*—Grano subanguloso con superficie de intensa corrosión. Terraza colgada del río Jarama, Patones de Abajo (Guadalajara).
- H.*—Detalle de un grano subanguloso en el que se observan planos de exfoliación con pequeñas señales mecánicas. Río Gállego, Zuera (Zaragoza).

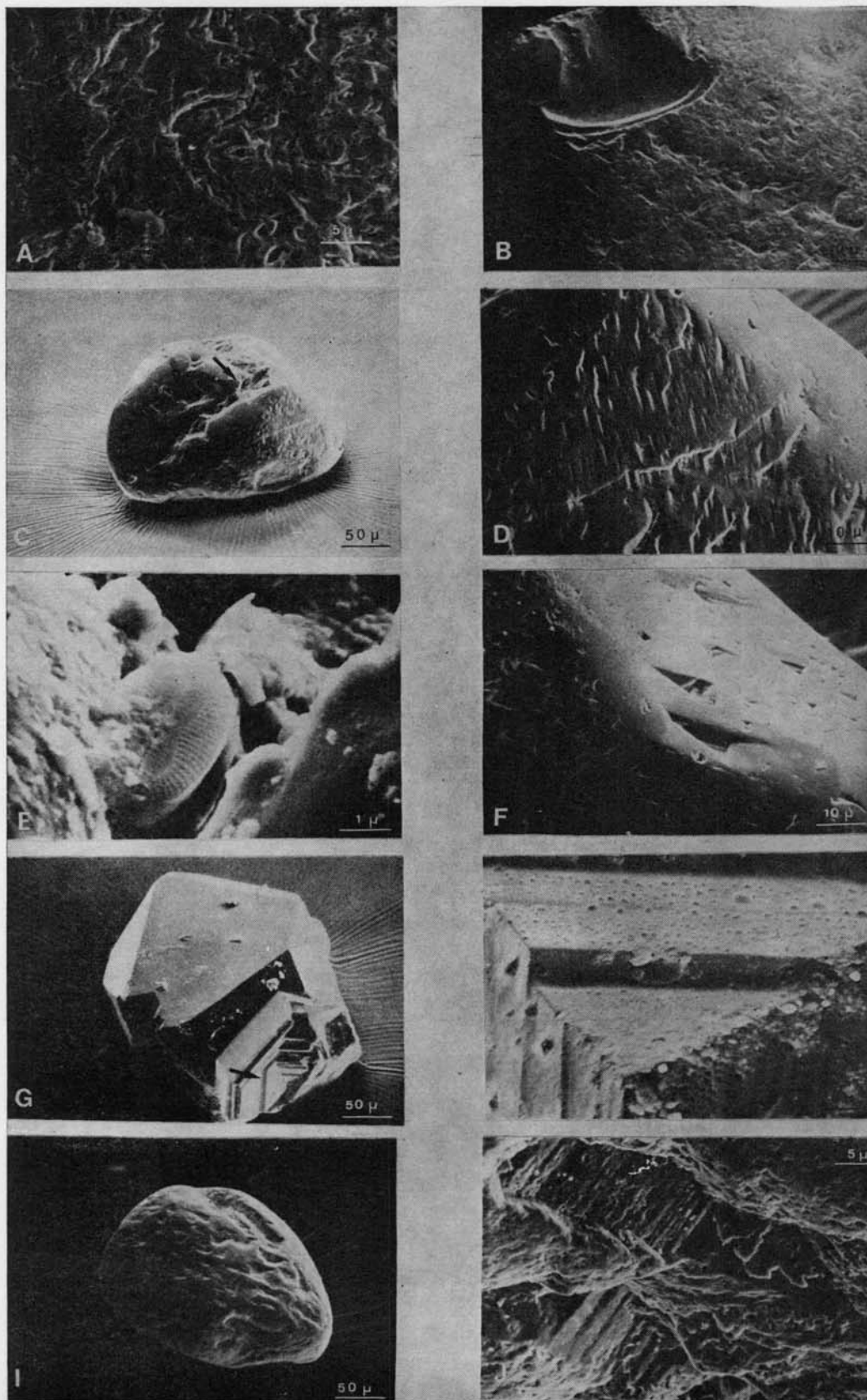


## LAMINA IV

*Características superficiales de los cuarzos de la secuencia de Valdelagrana*

- A.—Detalle de la superficie rugosa de un grano redondeado, mostrando numerosos "grooves", crestas sinuosas e inicio de película escamosa. P. V. 311. Dunas actuales.
- B.—Superficie rugosa de un grano subredondeado con abundantes "grooves", formas en "V" y crestas sinuosas, así como una cúpula más reciente. P. V. 311. Dunas actuales.
- C.—Grano redondeado de superficie lisa con depresión de gran tamaño y marcas mecánicas orientadas. P. V. 309. Marisma del surco de la flecha.
- D.—Detalle de la superficie lisa con marcas orientadas del grano anterior.
- E.—Depresión marcada con la flecha, en el mismo grano, donde se observa una diatomea cementada por sílice amorfa.
- F.—Superficie lisa de un grano subredondeado con abundantes triángulos de disolución. P. V. 310. Flecha litoral.
- G.—Cuarzo euhedral con caras y aristas muy netas, sin señales de alteración, de posible neogénesis en ambiente diagenético. P. V. 309. Marisma del surco de la flecha.
- H.—Detalle del crecimiento de las caras, en las que puede observarse gran cantidad de pequeños abultamientos, algunos subidiomorfos, que podrían corresponder a moldes de evaporitas ?
- I.—Grano redondeado mostrando abundantes depresiones o cúpulas y triángulos con depósitos de sílice. P. V. 310. Flecha litoral.
- J.—Detalle de una depresión del grano anterior donde se observan crecimientos secundarios de cuarzo en vías de disolución.

LÁM. IV



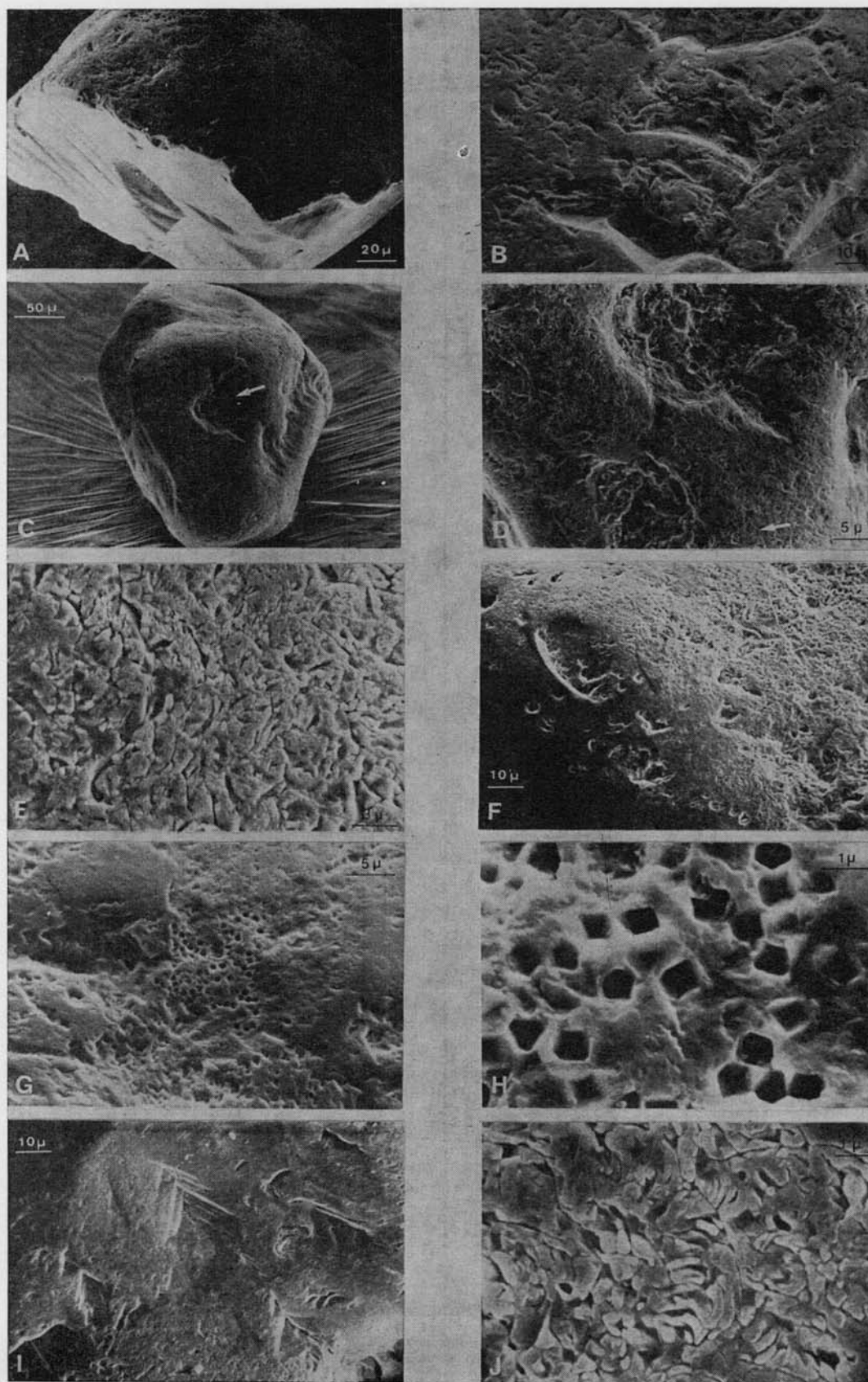
## LAMINA V

*Características superficiales de los cuarzos de la secuencia de El Aculadero*

- A.*—Grano redondeado roto con abundantes marcas de impactos de distinto tamaño y superficie rugosa. P. E. A. 301. Playa actual.
- B.*—Superficie de otro grano redondeado con marcas mecánicas de gran tamaño sobreimpuestas a otras de tamaño menor. P. E. A. 305. Suelo sobre el glacis.
- C.*—Grano redondeado con grandes depresiones o cúpulas. P. E. A. 302. Playa fósil.
- D.*—Detalle de las cúpulas del grano anterior donde se aprecian los procesos de corrosión-precipitación de sílice.
- E.*—Otro detalle del mismo grano donde se observa la superficie lisa con abundantes “grooves” pulimentados por acción acuosa.
- F.*—Superficie corroída y con alguna cúpula y “grooves” de un grano redondeado. P. E. A. 306. Duna fósil con abundante cementación carbonatada.
- G.*—Superficie de un grano subredondeado mostrando pequeñas huellas muy idiomorfas. P. E. A. 304. “Washover fan”.
- H.*—Detalle de la porosidad móldica de cristales de pirita del grano anterior.
- I.*—Superficie lisa de un grano redondeado mostrando pequeños “grooves” y sobreimpuestos abundantes triángulos de disolución. P. E. A. 302. Playa fósil.
- J.*—Zona deprimida de un grano subredondeado con posibles bacterias litificadas ? P. E. A. 305. Suelo sobre el glacis.



LÁM. V



## LAMINA VI

*Características superficiales de los cuarzos de la "Formación Arenas Rojas" de Vejer-Medina*

- A.*—Detalle de la rotura de un grano subredondeado con marcas mecánicas de gran tamaño (escalones paralelos y estrías) algo pulimentadas y atacadas químicamente.
- B.*—Detalle de la superficie algo rugosa de un grano subredondeado mostrando picoteado y "grooves" en vías de orientación.
- C.*—Grano bien redondeado, de superficie lisa, con numerosos "chattermarks", picoteados, "grooves" y otras marcas químicas a favor de las depresiones.
- D.*—Detalle de una zona deprimida en la que se observa la formación de triángulos de disolución.
- E.*—Otro detalle de la superficie del mismo grano, donde pueden apreciarse la formación de "chattermarks" y "grooves" de distinto tamaño con incipiente interconexión.
- F.*—Grano con crecimientos secundarios idiomorfos en vías de disolución.
- G.*—Grano subredondeado con marcas mecánicas de gran tamaño y triángulos de disolución.
- H.*—Detalle de los triángulos de disolución del grano anterior con algún pequeño depósito de sílice amorfa.
- I.*—Grano bien redondeado, algo roto, con abundantes "grooves" interconectados por procesos de disolución-precipitación.
- J.*—Detalle del grano anterior donde se aprecian mejor estos fenómenos.



LÁM. VI

