

Utilización de la mineralogía de arenas en la interpretación paleoambiental de las llanuras aluviales costeras: El Empordà, NE de la Península Ibérica

Using heavy mineral assemblages for palaeoenvironmental interpretation in alluvial coastal plains: The Empordà case study (NE Iberian Peninsula)

EMMA SAINZ-AMOR y RAMON JULIÀ

Instituto de Ciencias de la Tierra (Jaume Almera), CSIC. c/Solé i Sabaris, s/n. 08028 Barcelona

RESUMEN

La presencia de dos puntos principales de alimentación de arenas en una zona litoral mediterránea, sujeta a la influencia de vientos dominantes del Norte y a los temporales de Levante, permite hacer una aproximación sobre el origen de los depósitos eólicos fósiles y subfósiles, así como determinar la dinámica de transferencia de sedimentos en base a la composición mineral de los depósitos arenosos.

La relación augita/olivino permite diferenciar las arenas procedentes del golfo de Roses, principalmente originadas por los aportes del río Fluvià, de las arenas que arrastran los aluviones del río Ter. En las primeras la relación augita/olivino es mayor que uno y en los sedimentos del río Ter es menor.

Las dunas costeras del delta del río Ter tienen la relación augita/olivino menor que uno, lo que indica que están formadas a partir de arenas locales, procedentes del propio río Ter. Por contra, en las dunas del interior de la llanura deltaica del Ter esta relación es mayor que uno, lo cual indica que estas dunas están formadas a partir de los depósitos arenosos de la bahía de Roses.

Palabras clave: Arenas. Mineralogía. Minerales pesados. Dunas. Cuenca del Empordà. Girona; España.

ABSTRACT

Sand beach nourishment in NE Spain (Empordà basin) is characterized by the sand river supply and its redistribution due to dominant winds and longshore currents. The differences in heavy mineral composition of these sands allow us to propose a model for the origin of fossil and subfossil dunes in this basin.

Keywords: Sands. Mineralogy. Heavy minerals. Dunes. Empordà basin. Girona. Spain.

EXTENDED ABSTRACT

Palaeoenvironmental reconstruction in alluvial plains formed by the coalescence of different tributaries is quite complex. River channel changes or piracy, field dunes and longshore currents are the main processes that control the sediment budget transference which results from large-scale lithospheric processes.

In this paper we assess the use of the heavy mineral composition of sand deposits to propose a model for sand river supply and its redistribution in the Empordà basin.

The Empordà Holocene plain was infilled by sediments carried by rivers coming from different geological domains. The young landforms which resulted from the Quaternary volcanic activity in Olot (drained by the Fluvià river) and in Adri (drained by the Ter river) supply a characteristic mineral composition which introduces a characterical heavy mineral signature in the sediments. The augite/olivine ratio allows us to distinguish between the sediments fed by the Fluvià river (Gulf of Roses) and those carried down

by the Ter river (Pals beach). In the former, the augite/olivine ratio is higher than 1. The sands of the coastal dunes of the Ter delta show an augite/olivine ratio lower than 1. This fact confirms the local origin of these dunes. By contrast, the inland dunes, located in the inner part of the Ter delta, have an augite/olivine ratio higher than 1, indicating that they were fed from the northern Fluvià river deposits.

INTRODUCCIÓN

La interpretación paleoambiental de llanuras aluviales formadas por la coalescencia de conos y depósitos fluviales de diferentes cuencas hidrográficas suele ser compleja y requiere un largo proceso de caracterización de los distintos cuerpos sedimentarios. Si, además, estas zonas están afectadas por vientos dominantes y temporales de mar que redistribuyen los aportes aluviales, las reconstrucciones son todavía más complejas. Hasta qué punto es posible caracterizar un área fuente y cómo la dinámica marina o eólica puede modificar esta señal son las cuestiones clave más frecuentes que deben dilucidarse para una correcta interpretación de los cuerpos sedimentarios en estas llanuras aluviales.

El Empordà, en la provincia de Girona, constituye un buen ejemplo de llanura aluvial para contrastar hipótesis y métodos sobre origen y redistribución de sedimentos. La existencia de varios campos de dunas, de cuencas hidrográficas de distinta naturaleza geológica e incluso de zonas volcánicas distintas en edad y composición, permite abordar la transferencia de sedimentos a partir de la composición mineralógica de las arenas.

DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS ESTUDIADAS

La depresión neógena del Empordà se extiende al pie del macizo del cabo de Creus, que forma la terminación oriental de los Pirineos, hasta el bloque hercínico de Les Gabarres, que constituye la terminación noreste del sistema litoral catalán. Al Oeste, la depresión queda limitada por los relieves paleógenos de La Garrotxa, mientras que por el Este se abre al mar en los golfos de Roses y Pals.

La llanura aluvial del Alt Empordà está formada tanto por los aportes de los conos desarrollados al pie de los relieves del Pirineo (macizo del cabo de Creus) como por los aportes aluviales de las cuencas fluviales de los ríos Muga y Fluvià. Esta llanura aluvial se abre al mar en el

golfo de Roses. En esta comarca los fuertes vientos dominantes del norte (de hasta 180 km/h) favorecen la formación de dunas que, desplazándose hacia el sur, alimentan a la cuenca hidrográfica del río Ter. Este río, que actualmente aporta sus sedimentos a la playa de Pals, en el Baix Empordà, también desembocó, hasta fechas históricas, en el golfo de Roses.

En este contexto geomorfológico (caracterizado por cambios de cursos fluviales, campos de dunas, transferencia de arenas entre cuencas mediante corrientes marinas y dunas de retrabajamiento de arenas pliocénicas, etc...) se ha abordado el problema de la interpretación genética de los distintos cuerpos de arenas en base a su caracterización mineralógica. Para ello se han muestreado los siguientes afloramientos (Fig.1) con las siguientes metodologías:

A) Depósitos arenosos actuales o subrecientes:

- Arenas del río Fluvià en Esponellà. Caracterización mineralógica de las arenas fluviales transportadas por el río Fluvià a su llegada a la fosa neógena.
- Arenas litorales del golfo de Roses. Evolución de la composición mineral de las arenas a lo largo del golfo y determinación de la posible influencia del antiguo brazo del río Ter que desembocaba en las proximidades de Empuries, en el extremo sur del golfo y que actualmente desemboca en la playa de Pals.
- Dunas del Montgrí. Es el campo de dunas más extenso de la zona, y constituye la transferencia de arenas realizada por la Tramontana desde el golfo de Roses a la playa de Pals. Se han muestreado tres depósitos arenosos diferentes, uno correspondiente a las dunas de cala Montgó, otro en las dunas de sotavento de Coll de les Dunes, entre L'Estartit y Torroella de Montgrí, y el tercer depósito procede de un manto de arenas fijadas por pinos en la antigua base militar de Montgó.
- Dunas aluviales del río Ter en Foixà. Caracterización mineralógica de las arenas fluviales del río Ter a su llegada a la depresión neógena del Empordà.
- Arenas litorales de la playa de Pals. Caracterización mineralógica de las arenas de la playa de Pals como área fuente de dunas litorales próximas.
- Dunas litorales de la playa de L'Estartit-Pals.

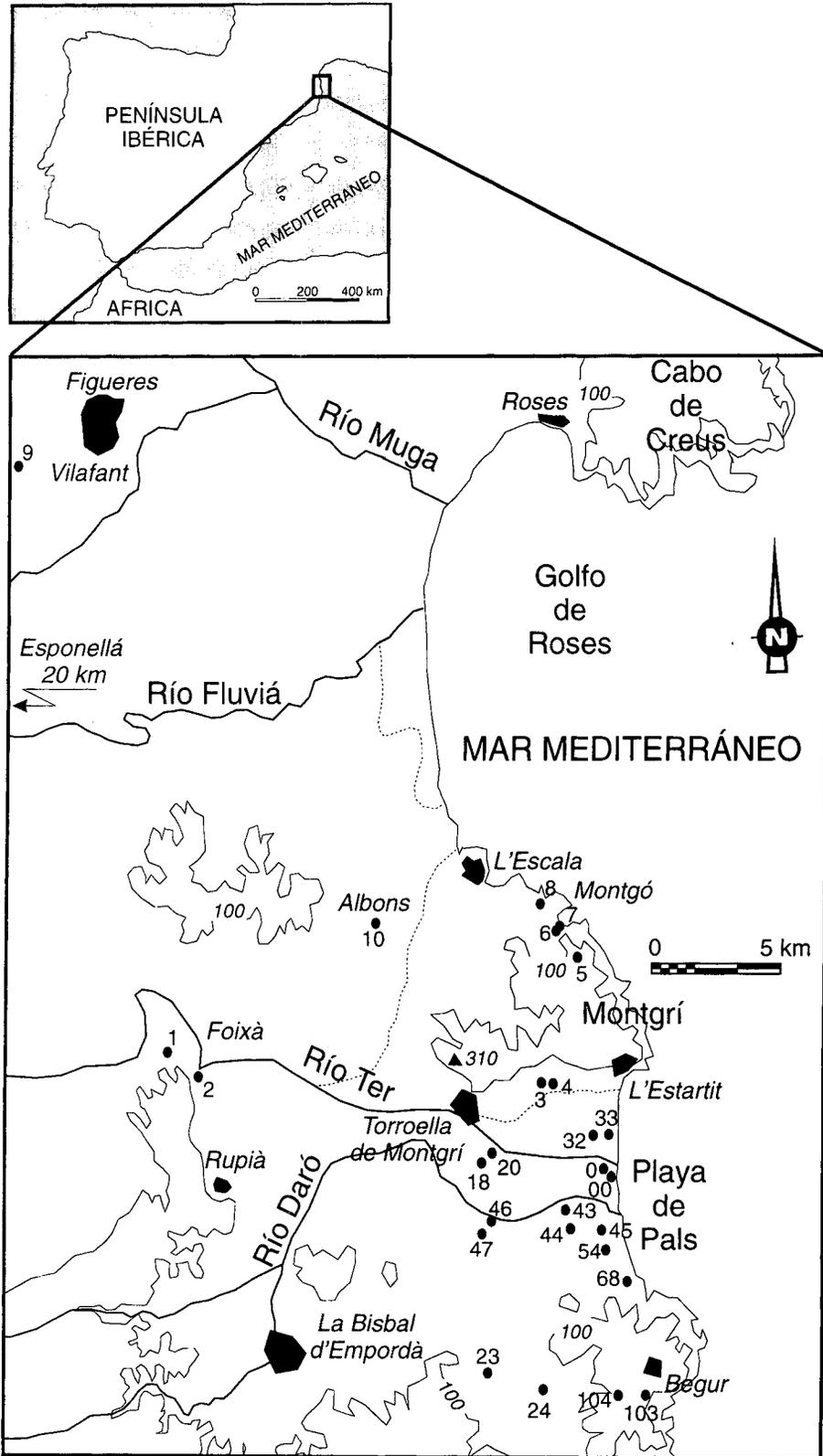


Figura. 1. Localización de la zona de estudio y de las muestras analizadas.

Figure. 1. Studied area and location of the analyzed samples.

B) Formaciones neógenas como posibles áreas fuente de depósitos arenosos:

- Playa Pliocena de Vilafant. Al este del pueblo de Vilafant afloran, en la trinchera de la carretera comarcal de Figueres a Olot, unas arenas de grano medio que incluyen localmente lentejones de gravas. Los elementos de caliza de estas gravas contienen restos de actividad de fauna marina (perforaciones y fauna incrustante) atribuida al Plioceno. La muestra tomada en las arenas representaría la composición mineralógica del retrabajamiento del substrato marino del Neógeno.
- Yacimiento volcánico de Albons. El volcanismo neógeno está ampliamente extendido en la región (traquiandesitas de Vilamacolum, basaltos de Arenys, etc...) y puede haber contribuido de forma notable en la composición mineralógica de las arenas recientes. Como muestra representativa del proceso de meteorización se ha analizado el suelo desarrollado sobre el afloramiento volcánico del pueblo de Albons.
- Playas de Montgó e isla Mateua. Por debajo de las calizas mesozoicas redepositadas del Montgrí aflora en la localidad de isla Mateua un conglomerado poligénico (con bloques de gneis, basalto, pizarras paleozoicas, conglomerados del Permotrias, lutitas del Paleógeno, etc.), cuya procedencia debe situarse hacia el norte, en el macizo del cabo de Creus. Se muestrearon estos depósitos como posible área fuente del manto de arenas que recubre una parte de los relieves mesozoicos del Montgrí.

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para el establecimiento de las características mineralógicas de las arenas se ha seguido el método desarrollado por Pérez-Mateos (1965). En resumen el proceso consiste en los siguientes apartados:

1. Las arenas se lavan y decantan varias veces con agua para limpiarlas, y a continuación se secan.
2. Se separan de estas arenas 20 g y se tamizan con mallas de 500, 250 y 125 μm .
3. Se toman 10 g de las fracciones 250-125 y <125 μm .
4. Se separa la fracción pesada vertiendo las muestras en un embudo separador con llave perforada que contenga 2/3 de bromoformo (2.88 g/cc a 18°C). Se agita y se deja reposar para que se depositen los minerales pesados. Se efectúa la separación de las fracciones ligera y

pesada, en los rangos 250 - 125 y <125 μm para cada muestra.

5. Para la determinación de la fracción pesada, como había poco material, se reunieron en casi todas las muestras los dos rangos y se montaron las preparaciones en bálsamo de Canadá, sobre placa eléctrica a unos 125°C.
6. Para la determinación de la fracción opaca de alguna muestra se utilizó la difracción de rayos-X.
7. La cuantificación de los distintos componentes se ha realizado mediante contaje con el microscopio de polarización.

RESULTADOS

La relación augita/olivino en las arenas costeras de la bahía de Roses y del delta del río Ter

La relación augita/olivino es en la bahía de Roses mayor que uno (Sainz-Amor, 1988), exceptuadas dos muestras en el perfil VII (Fig. 2) en que su proporción es menor. Los perfiles I a V al norte de la bahía, son en los que la relación augita/olivino es más elevada, disminuye hasta el perfil X, y aumenta después de la desembocadura del río Fluvià y luego vuelve a disminuir (Fig. 2).

En el delta del río Ter esta relación es menor que uno exceptuando dos casos, cerca de L'Estartit, en que es igual y mayor que uno; en las restantes muestras es siempre menor que uno y a partir de la desembocadura del río Ter la relación desciende considerablemente, llegando a ser 0.08 (Fig. 2).

El que la relación augita/olivino sea diferente en la bahía de Roses a la de la costa del delta del río Ter, puede deberse a que en la bahía de Roses los sedimentos proceden de los ríos Muga y Fluvià. El primero, que desemboca en el norte de la bahía, procede del Pirineo y arrastra los minerales típicos de su cuenca, que se mezclan con los procedentes del macizo de las Alberes y del cabo de Creus y con los aportados por el río Fluvià.

Como el olivino se altera más fácilmente que la augita y su aporte es también menor, la proporción augita/olivino es más alta que en el resto de la bahía.

El papel del río Fluvià, por la mayor proporción de su aporte, es dominante en la composición de la bahía (Sainz-Amor, 1988), y la asociación augita/olivino, por él arrastrada, es mayoritaria en casi toda la costa debido a las corrientes de deriva. A partir de la desembocadura del río Fluvià hacia L'Escala el porcentaje de augita y de

olivino es más elevado. La augita, además, llega a superar en alguna muestra el 30% de la fracción pesada, debido posiblemente a que la zona volcánica de Olot que atraviesa el río es más rica en augita que en olivino.

En el delta del río Ter, la proporción de olivino es mayor que la de augita. Desde L'Estartit hasta las proximidades de la desembocadura del río Ter la proporción de olivino es algo mayor que la de augita y el mineral dominante es la andalucita. A partir de la desembocadura aumenta considerablemente el olivino y aumenta también algo la augita. Esto tiene que ser debido a que el río Ter atraviesa materiales volcánicos más ricos en olivino que en augita como ocurre en la zona volcánica de Canet d'Adri. En cualquier caso, el predominio de uno u otro mineral indica el origen de las arenas.

Dunas: mineralogía y origen

a) Dunas litorales

Estas dunas forman parte de una estrecha franja paralela y próxima a la línea de costa de la playa de L'Estartit-Pals, asociada a la progradación de la costa en tiempos recientes (Cros, 1987), y que se presenta como una cadena de dunas de escasa altura. También se ha incluido en este grupo las arenas del Coll de las Dunes por presentar una mineralogía muy similar. Debido al carácter selectivo del viento, la arena es de grano medio y fino con una fracción variable de arena más gruesa, están bien clasificadas y poco eolizadas.

La proporción de minerales pesados transparentes,

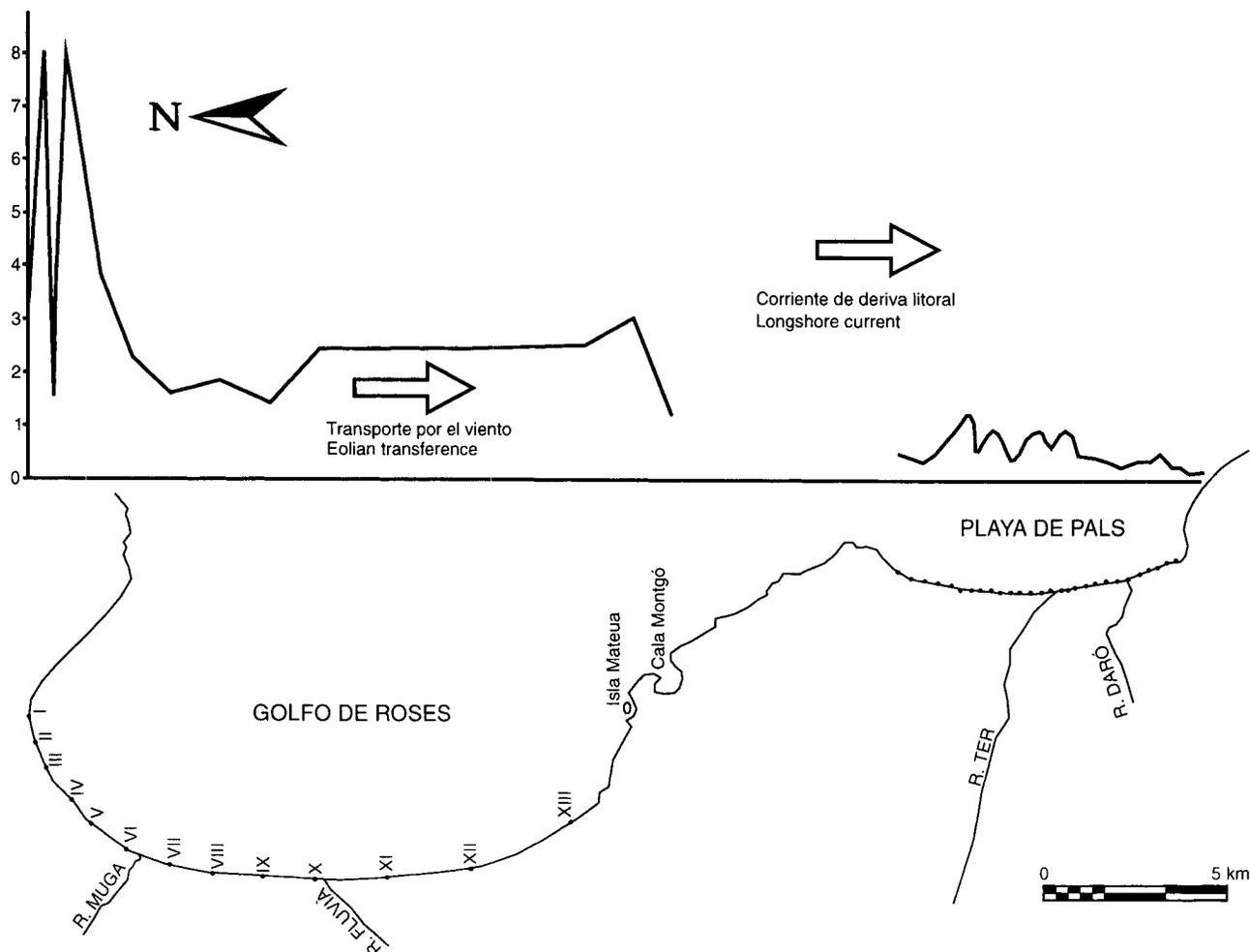


Figura. 2. Relación augita/olivino en la costa del golfo de Rosas y de la playa de Pals.

Figure. 2. Augite/olivine ratio in the coastal samples of the Rosas gulf and Pals beach.

Tabla 1. Porcentaje de los minerales pesados en las dunas litorales. Abreviaciones de nombres de minerales tomados de Kretz (1983).

Table 1. Heavy mineral percentages in the coastal dunes. Abbreviations after Kretz (1983).

Nº	Opacos Alteración	Ant	Ap	Zrn	Grt	Ttn	Tur	Hbl	Ep -Zo	And	OI	Aug	Otros	Aug/OI
3	60.71		0.59		0.59	0.29		0.59	0.29	8.63	14.88	13.09	0.29	0.88
4	63.76	0.22	0.45		0.68	0.22	0.68	1.14	0.68	6.42	13.99	11.68		0.8
32	63.63			0.90		0.90		3.63	2.75	14.54	9.09	4.53		0.39
33	79.23			0.76			0.76	1.53	2.30	9.23	4.61	1.53		0.33
0	72.62							3.35	0.55	11.17	8.93	3.35		0.37
00	63.03			0.62	0.62		0.62	2.51	0.62	15.09	6.91	6.28	0.62	0.90
43	75.64							6.41		8.97	7.69	1.28		0.16
44	67.90			0.61	0.61			4.32	1.85	4.93	12.34	6.79	0.61	0.55
45	93.19				0.68			2.04		2.04	1.36	0.68		0.50
54	77.27							2.84	1.13	3.40	9.65	5.68		0.58
68	81.27		0.42		1.27			3.82	2.53	5.53	2.53	2.12	0.42	0.80
103	59.77	0.55	1.67	0.55	0.55		0.55	3.35	1.11	15.08	10.61	6.14		0.57

eliminada la biotita que en estas dunas es poco abundante, no es elevada (Tabla 1).

Se estudian principalmente los minerales más abundantes y característicos: augita, olivino y andalucita.

La proporción de augita es pequeña en estas muestras, pues como máximo llega al 6.17%, y es parecida a las de la costa actual. La proporción de olivino es más elevada, se encuentra en proporción parecida a la que presentan las arenas actuales de la desembocadura del río Ter y la andalucita se halla, en general, en menor porcentaje que en las arenas actuales de la costa (Sainz-Amor, 1990).

La relación augita/olivino es menor que uno, como sucede en las arenas actuales del litoral (Tabla 1 y fig. 3). En IGME (1983) se considera estas dunas como un estadio anterior a las dunas fijas que poseen las mismas fuentes y mecanismo generador. La relación augita/olivino es menor que uno, lo que sugiere que los sedimentos de estas dunas deben proceder de los aluviones del Ter, donde se da esta relación, y no de Roses, donde la relación augita/olivino es mayor que uno, y de donde proceden las dunas del interior. Dubould-Razavet y Monaco (1966) también consideran que estas dunas tienen diferente origen que las dunas interiores.

El porcentaje de hornblenda y epidota (Tabla 1) hay que atribuirlo a la forma laminar de la primera y al

pequeño tamaño de la epidota, que las hace más fácilmente transportables por el viento.

Coll de las Dunas (muestras 3 y 4, Tabla 1) está situado entre Torroella de Montgrí y L'Estartit, muy cerca del antiguo camino que unía estas localidades. La duna ha sufrido procesos edáficos y tiene bastante materia orgánica. Alrededor de un 60% de los minerales pesados son opacos y tiene muy pocas micas. En las muestras recogidas en la parte superior e inferior de la duna la proporción de minerales es muy similar y domina en ambos el olivino y la augita, seguidos por la andalucita. La relación augita/olivino es menor que uno, igual a la encontrada en las playas y dunas costeras de L'Estartit-Pals (Sainz-Amor, 1990). Esta relación parece indicar que sus sedimentos proceden directa o indirectamente de los aluviones del río Ter (Fig. 3). Podrían proceder estos sedimentos de los meandros abandonados formados por un antiguo brazo del Ter. La existencia de estos antiguos brazos se debe a la poca pendiente de la llanura deltaica y a la escasa profundidad del lecho del río, lo que hace que el río se desplace de forma divagante (IGME, 1983), y también podrían proceder de los sedimentos aportados por el mismo en la bahía de Roses o de ambos y de las arenas arrastradas de la costa por las tempestades.

b) Dunas del interior

Estas dunas son formaciones eólicas fijas que alcanzan un importante desarrollo en la zona. Son de grano fino,

bien clasificadas, con granos eolizados subredondeados. En general son ricas en biotita, que en algunos casos llega a ser el 50% de la fracción pesada, y que no han sido cuantificadas en las tablas. Como en el caso de las dunas costeras sin fijar, se estudian los minerales más abundantes y significativos: augita, olivino y andalucita (Tabla 2).

La proporción de augita es algo menor que en las arenas actuales de la bahía de Roses. La proporción de olivino es parecida a la de las arenas actuales situadas más al norte de la desembocadura del río Fluviá en Roses, y es menor que en las arenas que se encuentran al sur de la misma. La proporción de andalucita es mayor que la que existe actualmente en Roses y la

relación augita/ olivino es mayor que uno en todas las muestras.

Las arenas de estas dunas deben proceder de los sedimentos de la bahía de Roses. Su deposición se corresponde con la dirección del viento del norte, la Tramuntana. La proporción de los diferentes minerales es semejante a la proporción existente en la bahía de Roses, lo mismo que la relación augita/olivino, que es mayor que uno (Fig. 3). Las ligeras diferencias existentes se deben a la selección sufrida por el tamaño del grano en las arenas de las dunas al ser transportadas por el viento. La mayor proporción de hornblenda y epidota (Tabla 2) hay que atribuirlo, como en el caso de las dunas costeras, al

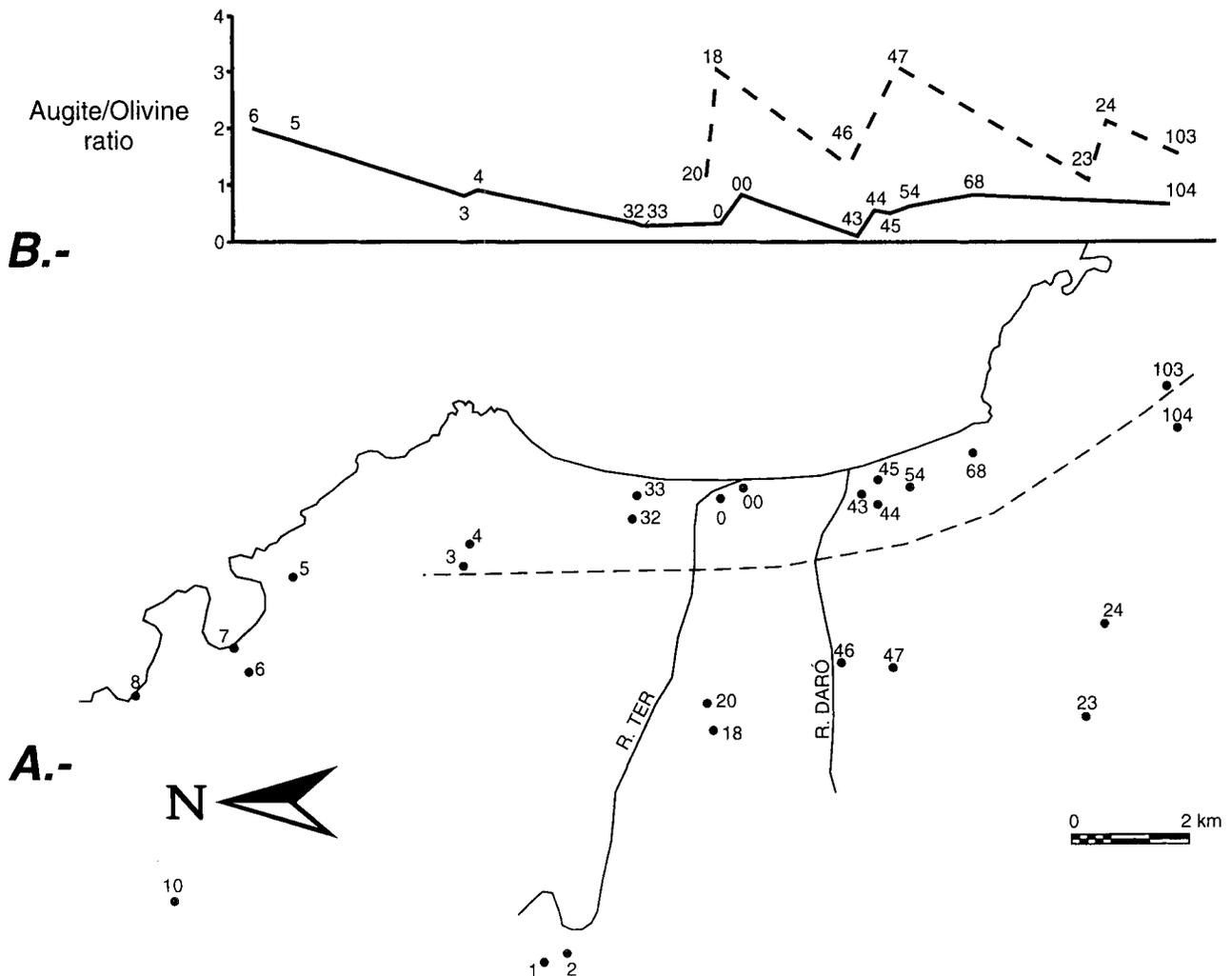


Figura 3. A.- Localización de las muestras, la línea discontinua separa las dunas litorales de las dunas interiores. B.- Relación augita/olivino en las dunas litorales (línea continua) e interiores (línea discontinua) de la llanura aluvial del río Ter.

Figure 3. A.- Location of the sample sites. The dashed line separates the coastal dunes from the inland dunes. B.- Plot of the augite/olivine ratio (y axis) versus the location of the samples (x axis) of the coastal dunes (continuous line) and of the inland dunes (dashed line).

pequeño tamaño de estos minerales y a su forma tabular, que los hace más fácilmente transportables por el viento. Procederían de la bahía de Roses, donde las habrían arrastrado los aluviones procedentes del río Muga.

c) Dunas fluviales del Ter en Foixà

Estas dunas (muestras 1 y 2, Tabla 3) se formaron a partir de los depósitos aluviales del río Ter y recubren, en parte, a rocas sedimentarias del Eoceno. Los materiales que constituyen estas dunas son de grano medio con una parte gruesa y otra fina en el nivel bajo, y con 25% más de arena gruesa y muy gruesa en el nivel alto. Están bien clasificados y los granos son en general subangulosos. Tienen bastante materia orgánica y han sufrido proceso edáfico. En el nivel más bajo se encuentra fauna de gasterópodos terrestres.

Los minerales opacos forman el 75% de la fracción pesada, siendo esta proporción de las más altas analizadas en la zona. El mineral transparente más abundante es la andalucita, seguida de olivino y epidota. Los cristales de augita son muy raros. La relación augita/olivino es por tanto menor que uno, característica de los aluviones del río Ter (Tabla 3 y fig. 3).

Las características mineralógicas de estas arenas son semejantes a las de las dunas costeras.

d) Dunas de Montgó

Las dunas de Montgó (muestra 6) tienen un 44% de arena gruesa, un 54% de arena de grano medio y un poco de arena fina. No están tan bien clasificadas como correspondería a las arenas de una duna típica y sus granos están poco rodados. Contiene materia orgánica y el 55% de los minerales pesados son opacos, proporción menor que la hallada en la mayor parte de las muestras estudiadas.

La proporción de augita y olivino es elevada (22 y 12% respectivamente) y es la más alta encontrada en las dunas de la zona. La proporción de andalucita (4%) es similar a la de las otras dunas, lo mismo que la proporción de hornblenda y epidota (Tabla 3).

e) Arenas del Montgrí

La muestra recogida (muestra 5) está situada al sur de cala Montgó, en un área con pinos. Tiene bastante materia orgánica. Su arena es granulométricamente parecida a las arenas costeras, con bastantes elementos

gruesos y medios y escasa arena fina, y están poco eolizadas. Tiene esta muestra un 70% de minerales opacos, augita y olivino en proporción inferior a las dunas de Montgó, pero la proporción de augita es superior a la de las dunas litorales de la playa de L'Estartit-Pals y la andalucita y el olivino están en proporción inferior a la de estas mismas dunas. El porcentaje de granate y epidota-zoisita es más elevado que en las dunas mencionadas (Tabla 3).

Por la relación augita/olivino (4.32) y por la proporción de otros minerales, las arenas se parecen bastante a las arenas actuales del norte de la bahía de Roses. Su procedencia es difícil de determinar. El transporte puede haber sido antrópico, ya que existió en este lugar un puesto militar. Estas arenas son diferentes a las otras estudiadas y no parecen tener el mismo origen. Si fueran arenas antiguas serían parecidas a las de Vilafant. Si fuesen modernas podrían proceder de un cono deltaico más reciente, del que no hay evidencia, o bien ser antrópicas.

f) Arenas del río Fluvià recogidas en Esponellà

Las arenas del río Fluvià a su paso por Esponellà (muestras 11 y 12) están formadas por arenas de grano medio y fino con algo de arena gruesa y están bien clasificadas. La proporción de augita y olivino es elevada (Tabla 3) y la relación augita/olivino es 2.15 y 1.61, coincidiendo con el de las arenas de la bahía de Roses, en las cuales esta relación es mayor que uno. Esto se debe a que los basaltos de Olot, por donde discurre el río Fluvià, son más ricos en augita que en olivino, al contrario de lo que sucede en el río Ter, en que sus arenas son más ricas en olivino que en augita.

Otra característica de estas arenas es la escasa o nula proporción de andalucita y granate.

Playas

a) Playa de Montgó

La arena de esta playa (muestra 7) está bien clasificada, tiene un poco de arena gruesa y fina y un 74% de arena de grano medio.

La proporción de minerales pesados es elevada. La andalucita está casi en la misma proporción que la augita y el olivino; posee también hornblenda, turmalina, etc. (Tabla 3). La relación augita/olivino es mayor que uno, por

lo que se parecen a las arenas de Roses, de donde en parte deben proceder arrastradas por las corrientes costeras. Otro componente procedería de la erosión efectuada por el agua en la propia costa. La movilización y el transporte del material condiciona el balance de la playa y su tendencia al avance o el retroceso, en las distintas épocas del año o de un año a otro (Marqués y Julià, 1986).

b) Isla Mateua

Se trata de una pequeña playa (muestra 8), cuyos sedimentos están constituidos principalmente por grandes bloques, grava y arena gruesa y media, existiendo una pequeña parte de arena fina.

La proporción de minerales pesados transparentes es pequeña, como generalmente sucede en las arenas de

estas características (Tabla 3 y fig. 2). La relación augita/olivino es mayor que uno. Estos materiales proceden de la propia destrucción de la costa y también del arrastre efectuado por las corrientes marinas desde las próximas playas de la bahía de Roses.

Playa pliocena de Vilafant

Esta playa antigua se encuentra cerca de Figueres. En sus arenas (muestra 9) predominan granos blancos opacos de aspecto sacaroideo, los cuales a veces presentan inclusiones verdosas también opacas; los granos oscuros son raros. Todos los granos tienen adheridas partículas muy finas de color blanco. El tamaño de grano varía entre grueso y medio, y posiblemente los granos más pequeños han sido lavados.

Tabla 2. Porcentaje de los minerales pesados en las dunas interiores. Abreviaciones de nombres de minerales tomados de Kretz (1983).

Table 2. Heavy mineral percentages in the inland dunes. Abbreviations after Kretz (1983).

Nº	Opacos Alteraciones	Ant	Ap	Zrn	Grt	Ttn	Tur	Hbl	Ep -Zo	And	OI	Aug	Otros	Aug/OI
18	81.81									6.06	3.03	9.09		3.00
20	62.29		0.81		0.40			4.50	3.62	18.03	4.96	5.32		1.07
37	96.77								3.22					
46	70.00		0.81	0.27	0.81	0.54	0.27	3.78	2.43	9.72	4.86	6.48		1.33
47	59.61		1.28	0.32	2.80	0.96	0.64	2.24	4.48	20.51	1.60	5.12	0.32	3.20
23	70.00		0.41		3.35		0.41	3.33	0.83	12.08	4.58	5.00		1.09
24	52.38				2.33		0.79	6.54	0.79	21.42	5.55	9.50	0.52	1.71
104	56.25		2.08		2.08	2.08	4.16	10.41	4.16	8.33	4.16	6.25		1.50

Tabla 3. Porcentaje de minerales pesados de las otras muestras. Abreviaciones de nombres de minerales tomados de Kretz (1983).

Table 3. Heavy mineral percentages of other samples. Abbreviations after Kretz (1983).

Nº	Opacos Alteraciones	Ant	Ap	Zrn	Grt	Rt	Ttn	Tur	Hbl	Czo	Ep -Zo	And	St	OI	Aug	Otros	Aug/OI
1	1	74.92	0.10	0.60	0.81	0.91	0.10	0.91	0.60	4.16		2.33	8.22	0.10	4.87	1.31	0.26
2	76.47				0.61		0.61		0.91		1.85	11.76		6.19	1.53		0.24
5	70.48	0.34			5.55		0.68	1.38	1.38		3.47	4.51		2.43	9.72		4.00
6	56.77		0.18		1.26		0.18	1.44	0.72		1.26	4.33		11.27	22.56		2.00
7	50.84				0.66			2.02	4.01		1.68	11.78		13.80	15.14		1.09
8	76.85		0.30		1.54		0.61	0.61	2.76		3.08	5.42		2.16	6.48		3.00
9	85.48			0.23	0.23		0.46			1.87	7.72	1.87			2.10		
10	39.44		10.24		0.81		3.27	1.22	1.63	31.96	9.42			0.40	1.22		3.05
11	64.97	0.15	0.15	2.37		0.15	0.31	0.47	0.94	1.42	0.31			9.03	19.48	0.15	2.15
12	58.07	0.40		3.47	0.26	0.26	0.26		0.80	1.19	0.13	0.13		13.35	21.62		1.61

La composición mineral de los granos de aspecto opaco ha sido determinada mediante difracción de polvo de rayos X. Los verdosos están constituidos por cuarzo y epidota; los granos blancos opacos, por cuarzo, epidota, clinozoisita, albita y calcita.

Los granos transparentes han sido identificados mediante microscopía óptica de luz transmitida. Están constituidos principalmente por andalucita y epidota, con menores cantidades de clinozoisita, augita y otros minerales (Tabla 3).

La epidota y la clinozoisita son más abundantes en estas arenas de lo que se refleja en la Tabla 3 puesto que, como se ha indicado, se encuentran en los granos opacos en cantidades indeterminadas, mezclados con otros componentes.

La composición de las arenas de esta playa pliocena es hoy muy diferente a la de las playas actuales, ya que tiene muy poca augita, carece de olivino y de óxidos opacos.

Yacimiento volcánico subaflorante de Albons

La muestra recogida en el Neógeno de Albons (muestra 10) pertenece a un volcanismo antiguo, diferente del que aflora en Vilacolum. El volcanismo de Albons produjo rocas básicas y ultrabásicas muy pobres en magnesio y ricas en hierro, cuya meteorización ha originado arcillas y óxidos de hierro.

Esta muestra tiene una elevada concentración de magnetita, tanto en la fracción 125 como en la de 250 μm . En la primera la magnetita forma más del 83% en peso de la fracción pesada; en la segunda, es el 53% en peso de esta fracción. La clinozoisita forma el 32% de la fracción pesada de tamaño de grano 125 μm y la epidota-zoisita y el apatito el 9 y 10% respectivamente, excluida en ambos casos la magnetita (Tabla 3). La clinozoisita y epidota-zoisita deben proceder de rocas saussuritizadas. El apatito puede también derivar de rocas basálticas (Pérez Mateos, 1965).

Se diferencia esta muestra de las rocas volcánicas más modernas por la elevada proporción de magnetita y clinozoisita y por la escasez de augita y olivino.

Esta composición es muy diferente a la citada en IGME (1983) en una muestra de Foixà - La Pera que tiene olivino y augita como componentes principales. En otra

muestra analizada por Leroy (1990), encontró como minerales más abundantes hornblenda, hornblenda basáltica y augita y como minerales accesorios: apatito, clinozoisita, circón, enstatita, granate, turmalina y titanita; no se encontró olivino. En un análisis realizado por nosotros en un sondeo efectuado en Olot, que alcanza hasta los 20 m de profundidad, es frecuente la presencia de magnetita (en algún caso, hasta el 49% en peso de la fracción pesada), de augita y de olivino en casi todas las muestras, con poca hornblenda, titanita, epidota-zoisita y sin clinozoisita.

CONCLUSIONES

- 1.- La relación augita/olivino es diferente en las arenas costeras de la bahía de Roses y en las del delta del río Ter. En Roses esta relación es mayor que uno y en la franja costera de la playa de l'Estartit-Pals es menor que uno. Esta diferencia se debe a que ambas arenas tienen diferente origen. En la bahía de Roses proceden de dos áreas fuentes: pirenaica (aportes arrastrados por el río Muga) y Sistema Transversal (materiales volcánicos transportados por el río Fluvià al atravesar la zona volcánica de Olot, que es más rica en augita que en olivino). En cambio, la playa de L'Estartit-Pals tiene una relación menor que uno, debido a que la zona volcánica atravesada por el río Ter es más rica en olivino.
- 2.- Las dunas litorales proceden de las arenas del río Ter, cuya relación augita/olivino es menor que uno, probablemente mezcladas con materiales de la costa actual transportadas por el viento en las tempestades y en las que la relación augita/olivino es también menor que uno.
- 3.- Las dunas del interior están formadas por arenas procedentes de Roses transportadas por el viento, sin que al parecer tengan mezcla de otros materiales, ya que la relación augita/olivino es mayor que uno, característico de las arenas de la bahía.

Coll de las Dunes está algo más alejada de la costa que las dunas litorales y tiene una relación augita/olivino menor que uno, lo que indica que debe estar constituida por materiales que tienen su origen en la cuenca del río Ter. Estas arenas probablemente proceden de los antiguos meandros del Ter Vell o de los sedimentos transportados por el mismo cuando desembocaba en la bahía de Roses y de las arenas arrastradas por el viento desde la costa en las tempestades.

- 4.- Las dunas aluviales del río Ter en Foixà presentan una proporción de minerales y una relación augita/olivino característica de las arenas de este río, más olivino que augita y una elevada proporción de andalucita. La muestra recogida en Esponellà, siendo equiparable sedimentológicamente a las del río Ter en Foixà, tiene más augita que olivino.
- 5.- Las arenas de las dunas de Montgó no pueden proceder de la actual morfología de la bahía de Roses, a no ser que haya cambiado la dirección del viento dominante, o bien que la llanura aluvial del extremo sur de esta bahía haya retrocedido considerablemente.
- 6.- Los arenales del Montgrí tienen una proporción de minerales diferente a las restantes dunas incluidas las de Montgó, que están cercanas. Estas arenas se parecen a las actuales de la bahía de Roses, de las que dada la dirección del viento no pueden proceder. Podrían ser antrópicas ya que allí existió un puesto militar.
- 7.- La constitución mineralógica de la playa pliocena de Vilafant es muy diferente a la de las playas actuales. La ausencia de augita, olivino y minerales opacos, así como la presencia de clinozoisita y epidota, indican que la variación de sus constituyentes debe haber sido originada por saussuritización de plagioclasas.
- 8.- El yacimiento volcánico de Albons, por su elevada proporción de magnetita y clinozoisita y ausencia de olivino y augita, se diferencia de otros yacimientos de la zona. No hemos encontrado citado ningún yacimiento volcánico en la zona con estas características.

Leroy, S., 1990. Paléoclimates plio-pléistocènes en Catalogne et Languedoc d'après la palynologie de formations lacustres. Thèse Doc. Université Catholique de Louvain. Vol. I. 319 p, vol. II. 193 p. Louvain La Neuve.

Marquès, M. A., Julià, R., 1986. Fluvia and Muga delta plain. Geomorphological features and evolution (Alt Empordà Gulf of Roses). Symposium on man's impact on coastal environment. Guidebook, 7-30. Barcelona.

Martínez Gil, F. J., 1972. Estudio hidrográfico del Bajo Ampurdán (Girona). Mem. IGME 84, 293 p., Madrid.

Pérez Mateos, J., 1965. Análisis mineralógico de arenas. Métodos de estudio. Manuales de Ciencia Actual 1, Patronato "Alfonso Herrera", 265 p., Madrid.

Sainz-Amor, E., 1988. Los arenales costeros del litoral catalán (la bahía de Rosas). Acta Geol. Hisp. 23,1, 55-60.

Sainz-Amor, E., 1990. Los arenales costeros del litoral catalán (Sant Feliu de Guixols-Portbou). Acta Geol. Hisp. 25,3, 169-175.

Schmaiz, R. F., 1959. A note of the system $Fe_2O_3-H_2O$. Jour. Geophys. Research 64, 575-579.

Solé Sabarís, L., 1958. Geografía de Cataluña. Vol I, 665 p. Ed. Aedos. Barcelona.

BIBLIOGRAFÍA

Barbaza, Y., 1970. Morphologie des secteurs rocheux du litoral catalan septentrional. Mem. et Doc. SDGG nouvelle serie 11, 152 p. CNRS.

Calvet, J., Gallart, F., 1973. Esquemas morfológicos de la costa catalana. Acta Geol. Hisp. 8,4, 125-130.

Cros Miquel, M. Ll., 1987. Estudi sedimentològic dels dipòsits eòlics del Baix Empordà. Tesi de Llicenciatura. U.B., 140 p., Barcelona.

Dubould-Razavet, C., Monaco, A., 1966. Etude minéralogique des sables du litoral Catalan Espagnol. Vie et Milieu 17, 1B, 211-241.

IGME, 1983. Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000, 2 serie nº 296. Torroella de Montgrí. Serv. Publ. Ministerio de Industria. 45 p.

IGME, 1983. Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000, 2 serie. nº 297. L'Estartit. Serv. Publ. Ministerio de Industria. 22 p.

Kretz, R., 1983. Symbols for rock-forming minerals. Amer. Mineral. 68, 277-279.