

- 20522

INFORME SEDIMENTOLÓGICO SOBRE EL CUATERNARIO DEL DELTA DEL EBRO

- HOJAS DE TORTOSA (Nº 522) y BUDA (Nº 523) -

Por Andrés MALDONADO
ENADIMSA - ADARO

INFORME SEDIMENTOLÓGICO SOBRE EL CUATERNARIO DEL DELTA DEL EBRO
HOJAS DE TORTOSA (Nº 522) y BUDA (Nº 523)

INTRODUCCIÓN

El interés que presenta el estudio de los sedimentos recientes queda claramente puesto de manifiesto por el número creciente de publicaciones y revistas especializadas dedicadas a este tema en los últimos años. Ello es consecuencia directa del hecho de que un perfecto conocimiento de los fenómenos sedimentológicos actuales y facies asociadas, permite una correcta interpretación de la columna estratigráfica, y en consecuencia la resolución de los problemas paleogeográficos implicados. Con este propósito, se resumen en este informe las características sedimentológicas de los materiales deltaicos, orientándose la descripción bajo el enfoque de establecer la relación existente entre ambiente y tipos de sedimentos o facies.

Algunas de las características sedimentológicas que se tratan están resumidamente descritas en las memorias de las Hojas. Por el contrario, otros aspectos sólo han sido brevemente considerados, en especial los referentes a la composición mineralógica de las arenas y arcillas, a los que se dedica una especial atención en este informe.

GRANULOMETRÍA DE LOS SEDIMENTOS

Diversos autores recientemente han abordado la caracterización de un ambiente en base a la composición granulométrica del depósito (FRIEDMAN, 1961; CAILLEUX y TRICART, 1965; PASSEGA y BYRAMJEE, 1969; etc.). Así han sido propuestos varios métodos, gráficos o de tablas numéricas, a partir de los cuales se podría llegar a identificar el tipo de ambiente, basándose en los parámetros o porcentajes granulométricos. Sin embargo, el uso exclusivo de estas características puede hacer difícil o imposible, según los casos, llegar incluso a definir ambientes tan diferentes como los correspondientes a una arena de playa, de duna o de río. Esto es consecuencia de que la textura de un sedimento, al igual que muchas de las características estructurales sedimentarias primarias, no son más que un

fiel reflejo de las condiciones dinámicas del fluido que transportaba al sedimento antes de su depósito, así como de los tamaños de grano del material disponible. Ambos factores no necesariamente tienen que estar restringidos, al menos desde el punto de vista teórico, a un ambiente; sin embargo, el estudio de los sedimentos recientes afortunadamente ha demostrado que algunas de estas características se encuentran con mucha más frecuencia o de una manera exclusiva ligadas a un determinado medio sedimentario. No obstante, la interpretación es delicada y viene complicada por el hecho de que unas mismas condiciones dinámicas del agente de transporte, da depósitos que, en función de la granulometría del material transportado, pueden ser totalmente diferentes.

Para el análisis de las características texturales de los sedimentos, se ha seguido el criterio de agrupar las muestras pertenecientes a los diferentes ambientes en diagramas C/M (PASSEGA, 1957), $Md\varphi / d\varphi$ y $Md\varphi / G\varphi$ (FRIEDMAN, 1961). El conjunto de estos diagramas representa las más importantes características texturales de un sedimento y paralelamente, son uno de los tipos de representaciones que más contribuyen a definir las condiciones ambientales del depósito.

Distribución de las características granulométricas de los sedimentos

Los sedimentos deltaicos que quedan mejor definidos texturalmente son los correspondientes a ambientes holomarinos (Figs. 1 y 2). En el diagrama C/M todas las muestras se agrupan en una pequeña área muy próxima al límite C/M. Análogamente en el diagrama $Md\varphi / G\varphi$, se agrupan en una pequeña área correspondiente a sedimentos bien seleccionados, en la escala de Folk (1959). La distribución en el diagrama $Md\varphi / d\varphi$, es un poco más amplia, presentando una dispersión alargada paralela al eje de ordenadas, con un máximo próximo a valores de $d\varphi = -0,2$ y tendencia hacia valores de curvas simétricas ($d\varphi = 0$). Hay algunas excepciones, que corresponden a sedimentos formados en condiciones particulares, tales como son las representadas por acumulaciones de minerales pesados en las zonas costeras sometidas a erosión o por el contrario la asociación de minerales laminares (mica) y pequeños restos de conchas en las zonas de crecimiento activo del delta.

Los sedimentos fluviales, por el contrario, presentan una gran dispersión en los diagramas (Figs. 1 y 2). En el diagrama C/M, estos sedimentos tienen una clara tendencia a distribuirse en varias zonas en función del modo en que fueron transportados antes del depósito: los sedimentos correspondientes a suspensión uniforme, se distribuyen en una banda paralela a M. Los sedimentos de suspensión gradada se distribuyen, por el contrario paralelamente al límite $C = M$. Los de mezcla de suspensión y rodadura, se distribuyen paralelamente a C (PASSEGA, 1957). La asimetría de estos sedimentos es generalmente positiva, con una gran variabilidad entre 0 y 1. En la escala de FOLK (1959), están de pobremente a mal seleccionados. Los sedimentos que en los diagramas se separan de la distribución más general, corresponden a los sedimentos fluviales de la base del delta donde la mayor capacidad de transporte fluvial permitía la presencia de granulometrías mucho más gruesas que las existentes en la llanura deltaica actual.

Los sedimentos fluviomarinos presentan unas características intermedias entre las descritas para los fluviales y los holomarinos (Figs. 1 y 2). El que se asemejen más a uno u otro tipo, es función del tiempo o el retrabajamiento que han sufrido por la acción del mar, lo cual condiciona que se conserven las características originales del material transportado por el río o que estas sean modificadas a las nuevas condiciones dinámicas marinas.

Las arenas de dunas tienen unas características muy similares a las arenas holomarinas. Sin embargo, se pueden fácilmente distinguir por presentar una asimetría ligeramente positiva y estar de pobre a muy pobemente seleccionadas. En consecuencia, estos sedimentos por sus características granulométricas pueden asemejarse a algunos de los tipos correspondientes al ambiente fluvial (Figs. 1 y 2).

Los sedimentos del ambiente lagunar comprenden desde el punto de vista textural dos grandes grupos asimilables a los tipos anteriormente descritos: sedimentos holomarinos y sedimentos fluviales (Figs. 3 y 4). El yacente de los depósitos lagunares es un nivel de arenas pertenecientes a los ambientes holomarinos. Por el contrario, los sedimentos propiamente depositados en el ambiente lagunar, presentan características próximas a los fluviales: de moderadamente a mal seleccionados, asimetría ligeramente po-

sitiva y gran cantidad de sedimentos detríticos finos. Estos sedimentos son aportados al ambiente lagunar por los canales de corriente, estando favorecido su depósito por la quietud de las aguas y la gran cantidad de vegetación que recubre el fondo de los estanques.

Análogas características presentan los sedimentos de las marismas. Sin embargo, en estas al estar mucho más restringido el aporte detrítico, debajo de los pocos centímetros de sedimentos pertenecientes al depósito propio de la marisma, se encuentran los sedimentos holomarinos (Figs. 3 y 4).

También en los lucios y canales de corrientes se encuentran los mismos tipos de sedimentos, aunque en estos la tendencia es a estar representados sólo los depósitos más gruesos de arenas (Figs. 3 y 4).

Los sedimentos del ambiente de ensenada están constituidos por tres tipos de depósitos: 1/ sedimentos holomarinos, localizados en la plataforma de aguas someras que rodea a los puertos por su parte interna; 2/ sedimentos de suspensión uniforme; 3/ sedimentos de suspensión "pelágica". Los tipos 2 y 3 son los característicos del ambiente de ensenada y se localizan en la mayor parte de esta, fuera de la plataforma de aguas someras. Los sedimentos de los tipos 2 y 3, presentan clara tendencia a la asimetría positiva, aunque hay algunas excepciones, y están de pobremente a mal seleccionados (Fig. 5).

Los sedimentos de prodelta y de plataforma, desde el punto de vista granulométrico, son difíciles de diferenciar de los de ensenada, pues presentan una distribución análoga (Figs. 5 y 6). Sin embargo, no tienen representantes similares de los pertenecientes a ambientes holomarinos.

Conclusiones

1º/ La mayoría de los ambientes deltaicos no pueden ser caracterizados sólo en base a la composición textural de los sedimentos. Como excepción están los ambientes holomarinos y las dunas, que quedan muy individualizados en los diagramas (Figs. 7 y 8). No obstante hay sedimentos correspondientes a otros ambientes que también pueden presentar análogas características granulométricas que estos últimos, aunque son poco frecuentes.

2º/ En todos los diagramas queda marcado un límite máximo para C próximo a 400 μm . Este límite corresponde al tamaño máximo que el río transporta en el delta; o lo que es lo mismo, indica la competencia fluvial del río aguas abajo de Amposta. Hay algunas excepciones con respecto a este límite, pero estas son atribuibles a fragmentos de fauna o a minerales del tipo de la mica que por su forma laminar son fácilmente transportables. Las otras anomalías se localizan en los sedimentos relictos deltaicos cuando las condiciones ambientales no eran las mismas que las existentes en la actualidad.

3º/ Los diferentes diagramas empleados para la interpretación granulométrica son un buen instrumento para la deducción de las condiciones dinámicas de transporte y depósito del sedimento, teniendo un valor mucho más limitado para la interpretación de ambientes de depósito.

4º/ Como resumen, en las Figuras 7 y 8, se han trazado esquemáticamente las áreas más probables de distribución de sedimentos, habiéndose eliminado las anomalías, o las zonas poco probables.

ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS

Las estructuras han sido estudiadas a partir de los diversos tipos de testigos continuos de los que se ha dispuesto. Estos han sido de muy variada calidad, siendo los más apropiados los obtenidos con el tubo de VAN STRAATEN.

Tipos y distribución de estructuras

De todos los sedimentos estudiados, son los de dunas los que quedan mejor definidos por su estructura. Están caracterizadas por estratificaciones cruzadas en cuñas planares y alto ángulo y estratificación del tipo trough. La distribución de la inclinación de las láminas es multidireccional, aunque en el delta, debido a la predominancia del viento activo procedente del NNW, dicha inclinación es más frecuente hacia el SE. Los valores de la inclinación son muy variables, desde unos pocos grados a algo más de 30°.

En los depósitos fluviales, quedan claramente diferenciados por su estructura los pertenecientes a los levees naturales de los del canal fluvial. En las arenas de este último, predominan las estructuras asociadas a corrientes enérgicas; así, es frecuente la presencia de estratificaciones cruzadas del tipo trough y diversos tipos de ripples. Pueden existir cantes blandos intercalados y pequeñas láminas limosas formadas en épocas de bajo flujo. En general, en los perfiles se aprecia un descenso del tamaño de grano en la vertical y una disminución en el ángulo de las estratificaciones cruzadas. Por el contrario, en los levees naturales predomina la presencia de pequeños ripples o laminación paralela a subangular. Las intercalaciones de niveles de limos arcillosos son más frecuentes y aumentan con la distancia al eje del canal. Todas estas estructuras pueden haber sido destruidas por actividad orgánica vegetal y animal. Una característica muy notable de los levees naturales es la presencia de mineralizaciones o concresciones ferruginosas y carbonatadas, debidas a la exposición subaérea de estos niveles.

En el ambiente lagunar la característica más típica que se ha encontrado, es una secuencia de disminución de tamaño de grano de la base al techo de los testigos. Los niveles superiores pueden estar representados exclusivamente por limos arcillosos con estructura muy uniforme o totalmente destruida por actividad orgánica. Menos frecuentemente, se han encontrado alternancias de niveles de arenas y limos. Es muy característica la presencia de restos vegetales, bastante bien conservados.

En los sedimentos de las marismas se han encontrado estructuras análogas a las del ambiente lagunar, diferenciándose porque el tránsito de los sedimentos basales gruesos a los finos superiores se suele realizar de una manera mucho más brusca y definida.

Los ambientes fluviomarinos, se caracterizan por la gran cantidad de estratificaciones cruzadas. En dichas estratificaciones predominan las del tipo planar, aunque no son raras las del tipo trough. También son frecuentes las estructuras del tipo scour and fill y truncación erosional. Al igual que en los sedimentos fluviales del canal, es característica una disminución en la escala de las estratificaciones cruzadas, pasándose en la vertical de las de gran escala en la base a las producidas por diversos tipos de ripples en el techo. Análogamente, la característica más notable de los ambientes holomarinos es la presencia de

estratificaciones cruzadas en la base de los perfiles y laminación paralela en la parte superior. Tanto en los ambientes fluvio como holomarinos, una intensa actividad burrowing puede enmascarar toda la estructura preeexistente. La presencia de niveles teñidos por materia orgánica y de niveles de concentración de minerales pesados o mica es otra característica muy notable de estos ambientes.

En el ambiente de ensenada se encuentran diversos tipos de estructuras en función de la localización de los testigos. En las márgenes de la ensenada, las estructuras más frecuentes son análogas a las de los ambientes holomarinos, aunque la presencia de niveles de limos es más frecuente, pudiendo encontrarse además abundantes restos de plantas. En estas áreas, es de destacar la presencia de sand-waves o mega-ripples, que desarrollan estratificaciones cruzadas de gran escala y bajo ángulo. En el centro de la ensenada la estructura de los testigos es frecuentemente uniforme y está representada por arcillas limosas sin cambios notables a lo largo de todo el perfil. Hacia los bordes, las intercalaciones de niveles limosos o arenosos son más frecuentes, dando lugar a alternancias más o menos rítmicas. Asimismo, las estructuras de laminación cruzada, debidas a ripples, aumentan progresivamente con la proximidad a los márgenes. En conjunto, la mayoría de los testigos presentan una secuencia de disminución de tamaño de grano hacia arriba, tal como ocurre en el ambiente lagunar.

En los ambientes fluviomarinos (frente deltaico y prodelta) y de plataforma se reproducen, aunque a distinta escala y magnitud, las estructuras y secuencias de estructuras que se han descrito para el ambiente de ensenada, desde las márgenes al centro de la ensenada. En este sentido el frente deltaico es similar a las zonas marginales de la ensenada, mientras que la parte central de la ensenada está caracterizada por estructuras equivalentes a las encontradas en la plataforma. La zona de tránsito de la ensenada presenta estructuras análogas a las encontradas en el prodelta.

Conclusiones

1º/ Las estructuras, al igual que la textura de los sedimentos, son un fiel reflejo de las condiciones dinámicas reinantes durante el momento de su depósito.

2º/ La relación entre estructura y ambiente de depósito por lo general no es unívoca, pudiendo encontrarse las mismas estructuras en ambientes muy diferentes. Sin embargo, hay ciertas estructuras que se encuentran con mucha más frecuencia ligadas a un determinado ambiente. A este fin, se remite al lector, para completar la breve descripción expuesta, al trabajo de COLEMAN y GAGLIANO (1965) quienes tratan detalladamente de las estructuras en los diferentes ambientes deltaicos, recalculándose que no se han encontrado diferencias notables en este trabajo, con respecto al estudio de los referidos autores.

DISTRIBUCION DE CARBONATOS Y MATERIA ORGANICA

Distribución de carbonatos

La distribución de carbonatos en los depósitos deltaicos estudiados es muy variable y difícil de sistematizar. El origen de estos carbonatos es triple: 1º/ Carbonatos detríticos, frecuentemente concentrados en el tamaño arena; 2º/ Carbonatos de origen orgánico, representados por fragmentos de invertebrados calcáreos; 3º/ Carbonatos de precipitación.

En las arenas fluviales y fluviomarinas, los carbonatos pertenecen fundamentalmente al tipo 1 (Fig. 9). En estas, los porcentajes medios son del orden del 32 %, aunque hay muestras donde pueden ser muy poco abundantes, como en las de concentración de mica.

En las arenas holomarinas, además de los carbonatos pertenecientes al tipo 1, se puede encontrar cierta fracción perteneciente al tipo 2, que al sumarse a los anteriores dan medias en el contenido de carbonatos algo más elevadas y del orden del 35 %, aunque son frecuentes las muestras con más del 40 %.

En los sedimentos de prodelta, donde el activo depósito fluviomarino enmascara los sedimentos de cualquier otro tipo, por lo general se observa una disminución del contenido en carbonatos al decrecer la granulometría, tal como queda claramente puesto de manifiesto en los perfiles de los sondeos. Se deduce de esto que el contenido de carbonatos de origen detrítico es más elevado en las fracciones más gruesas.

En los sedimentos de ensenada y palustres, por el contrario al caso anterior, no se aprecia tal relación. Ello es debido a que en estas zonas hay un aporte importante de carbonatos de los tipos 2 y 3, que compensan al descenso de la proporción del tipo 1.

En algunas muestras del ambiente lagunar, se ha encontrado un contenido muy elevado de carbonatos. Estas muestras están representadas por sedimentos del tamaño limo-arcilloso con cantos que presentan un contenido en carbonatos del 74 %. El diagrama de rayos X de estos sedimentos coincide exactamente con el diagrama de la calcita ASTM 5-0586, aunque las distancias en Å se encuentran ligeramente desplazadas en centésimas hacia valores más bajos. También, aparece un sólo pico con intensidad 4, para intensidad 93 del pico a 3,03 Å de la calcita, a 2,83 Å y que coincide con la línea de intensidad 100 del diagrama de la dolomita ASTM 11-78.

El origen de estos carbonatos es difícil de precisar al no haber métodos definitivos para distinguir entre carbonatos de precipitación química de aquellos de origen bioquímico. Se debe señalar a este fin, la presencia de abundantes restos de gramíneas en el sedimento, así como fragmentos de tallos de Caráceas. Ambos organismos han podido favorecer la precipitación bioquímica de los carbonatos, tal como se ha demostrado en los estudios de ambientes actuales carbonatados.

Sin embargo, también las condiciones son favorables para la precipitación química del carbonato, tal como ha sido estudiada en el Great Salt Lake. Estas condiciones, están representadas por una gran abundancia de carbonatos en el área de drenaje, moderada a alta salinidad y pH de reacción alcalina, impuesto por el agua del mar.

Por último se cabe señalar la presencia de cemento carbonatado en varios niveles e incrustaciones de carbonatos en las conchas de los Lamelibranquios.

Distribución de materia orgánica

La materia orgánica presenta una distribución mucho más homogénea (Fig. 9). Los contenidos medios no suelen ser muy elevados excepto en

los ambientes palustres y de ensenada. En los ambientes palustres se forman niveles de turba o de arcillas turbosas con contenido en materia orgánica superior al 10 %, no siendo raras las muestras con un contenido del orden del 15 %. En la ensenada los sedimentos detríticos finos presentan un contenido también elevado, del orden del 7 %.

Por el contrario, los sedimentos con más bajo contenido en materia orgánica son los fluvio y holomarinos, en los que el contenido suele ser del orden del 1 %, o inferior. Sin embargo, algunos sedimentos de estos ambientes pueden presentar un contenido en materia orgánica algo elevado, debido a un aporte posterior debido al paso de este ambiente al de marismas.

Las muestras de prodelta y plataforma, presentan un contenido medio en materia orgánica, comprendido entre el 2 y el 4 %.

Conclusiones

1º/ Los carbonatos tienen tres orígenes: detrítico, fragmentos de conchas y de precipitación.

2º/ El contenido en carbonatos disminuye generalmente con la granulometría, debido a que en la mayoría de las muestras este es de origen detrítico y se concentra en la fracción arena.

3º/ En los ambientes palustres, no se cumple el apartado 2º, pues el carbonato del sedimento puede ser fundamentalmente debido a los fragmentos de conchas y a precipitación. En los ambientes palustres se pueden dar sedimentos con elevado porcentaje de carbonatos, debido a la existencia de condiciones muy favorables. Este carbonato puede ser de origen químico o bioquímico.

4º/ La materia orgánica representa un importante porcentaje en las muestras finas correspondientes a los ambientes palustres y de ensenada.

5º/ Los contenidos más bajos en materia orgánica se dan en los sedimentos fluvio y holomarinos, aunque habrían excepciones debido al aporte postsedimentario de materia orgánica, al pasar estos ambientes a marismas.

MINERALOGIA DE ARENAS

Minerales pesados

La distribución de minerales pesados en superficie está representada en la Figura 10. En esta, quedan claramente definidas las siguientes asociaciones mineralógicas:

- A/ Andalucita, epidota, granate, (hornblenda).
- B/ Hornblenda, epidota-zoisita, (andalucita, circón, actinota).
- C/ Piroxenos (augita) - epidota (zoisita); hornblenda, andalucita (turmalina).
- D/ Circón, turmalina, granate, hornblenda.
- E/ Andalucita, hornblenda, turmalina, (circón, estaurolita).
- F/ Biotita, hornblenda
- G/ Biotita, (andalucita, hornblenda, granate, turmalina)

Estas diferentes asociaciones se pueden resumir en cuatro asociaciones básicas:

1/ Asociación metamórfica. Corresponde al tipo A, y según GIRESSE (1970) pertenece a la provincia mineralógica del delta del Llobregat, presente desde la desembocadura de este río hasta el Cabo Salou.

2/ Asociación granítica. Corresponde al tipo B, localizándose al S del Cabo Salou, hasta las inmediaciones de l'Ametlla. Una variante de esta asociación está representada por el tipo F, que corresponde a las muestras marinas, debido al transporte más fácil de los minerales laminares de la mica, y que hace subir el porcentaje de esta en las muestras.

3/ Asociación ígnea (ácida y básica) con influencias metamórficas. Corresponde al tipo C, localizado en las playas del delta del Ebro. Es una asociación muy típica y exclusiva caracterizada por la presencia de una gran cantidad de piroxenos (augitas), no presentes en ninguna de las otras asociaciones (SAINZ-AMOR y FONT-ALTABA, 1965).

4/ Asociación de minerales resistentes. Corresponde al tipo D, que se localiza en l'Ampolla.

Las otras asociaciones corresponden a mezclas de las anteriores. La asociación del tipo E, localizada al S de l'Ametlla, es una mezcla de las correspondiente al tipo A y B. La asociación del tipo G corresponde a una mezcla de las diferentes asociaciones, predominante un tipo u otro según la situación de la muestra. También, al igual que para el tipo F, el elevado porcentaje de biotita en la asociación G es debido al fácil transporte de estos minerales hacia zonas más alejadas de la línea de costa.

La asociación granítica es suministrada por las ríos y barrancos que drenan al macizo del Falset (Riera de Maspujols, riera de Alforja, el Riudecanyes, etc.).

Los piroxenos característicos de la asociación del delta del Ebro proceden indudablemente de los basaltos del Baix Ebre.

Minerales ligeros

En las distribuciones de minerales ligeros también pueden diferenciarse varios tipos de asociaciones (Fig. 11):

1º / Cuarzo-feldespato potásico. Se localiza al N de cabo Salou, en l'Ampolla y en algunas muestras de lóbulo deltaico relictico meridional.

2º / Plagioclasa, cuarzo-feldespato potásico. Se localiza en unas pocas muestras marinas y de playa del delta.

3º / Cuarzo-plagioclasa, feldespato potásico. Que es la asociación presente en la mayoría de las muestras del delta.

La asociación del tipo 1º, se corresponde con las muestras de la asociación metamórfica de minerales pesados (tipo A), o bien con las muestras de la asociación de minerales resistentes (tipo D) o de mezcla (tipo E). En todos los casos la ausencia de plagioclásas y el no muy elevado porcentaje de feldespato, son un índice de la madurez del sedimento o del grado de alteración y de la ausencia de estos minerales en el área fuente de aporte.

Por el contrario, las asociaciones de los tipos 2º y 3º, indican aportes importantes de macizos ígneos próximos. Al S de cabo Salou el feldespato potásico predomina ligeramente sobre la plagioclasa, sin embargo en la mayoría del resto de las muestras el contenido en feldespatos calcosódicos es netamente dominante. Esto hay que atribuirlo a dos razones: a/ Aporte directo de los feldespatos; b/ naturaleza básica de los macizos ígneos. En caso contrario, las plagioclases estarían en mucha menor proporción pues son más fácilmente destruidas con el transporte y la erosión.

Asociaciones mineralógicas en los sondeos del delta.

En el sondeo (32-20) SO-8000 se mantiene la misma asociación de minerales pesados del tipo C, correspondiente a las arenas actuales del delta del Ebro. Está caracterizada por la presencia de la asociación epidota-zoisita, piroxenos, hornblendita, andalucita, granate, turmalina y (silimanita). Hacia la base del perfil aumenta la proporción de minerales resistentes (turmalina y granate, especialmente), llegando a casi desaparecer los piroxenos. Esta misma asociación ha sido encontrada por SOLE-SABARÍS y col. (1961), en el nivel basal de las arenas del delta.

Análogas características mineralógicas presenta el sondeo (32-20) SO-7600 correspondiente a asociación ígnea con influencias metamórficas. En este sondeo, los minerales pesados están definidos por un elevado porcentaje de sulfato (baritina y celestina); sin embargo, estos minerales no deben ser considerados pues son procedentes de un fallo en los lodos de sondeo que ocasionó la precipitación de baritina.

Los minerales ligeros en ambos sondeos presentan la asociación cuarzo-plagioclasa, también presente en las arenas de la llanura deltaica actual.

Las variaciones en porcentaje de minerales pesados en las arenas inferiores de los perfiles, hay que interpretarlas en función de su diferente génesis. Estas arenas basales, han sufrido un retrabajamiento mucho mayor que las de la actual llanura deltaica, pues durante el ascenso eustático del nivel del mar, los depósitos litorales basales

han estado sometidos a reciclados. También en estos depósitos existe un elevado porcentaje de arenas pertenecientes a los antiguos ambientes fluviales y continentales existentes en la plataforma continental emergida, las cuales hacen aumentar el porcentaje de minerales resistentes.

Conclusiones

1º/ Las arenas del delta del Ebro presentan una típica asociación mineralógica, caracterizada por la presencia de abundantes plagioclasas y piroxenos.

2º/ Las diferencias en porcentajes de los minerales de estas arenas, hay que atribuirlas a fenómenos de diferenciación hidrodinámica o de retrabajamiento.

3º/ El porcentaje de minerales resistentes aumenta hacia la base de los perfiles, como consecuencia de un mayor retrabajamiento de las arenas inferiores.

4º/ En la llanura deltaica actual se producen fuertes concentraciones diferenciales de minerales, en función de las condiciones hidrodinámicas. Como ejemplo de estas concentraciones diferenciales se pueden poner las muestras (33-20) 1, con gran concentración en granates y opacos naturales magnetita, titanita e ilmenita, y la (33-20) 5 con gran concentración de micas.

5º/ Hay algunas muestras caracterizadas por la asociación de minerales resistentes (tipo D), y la ausencia de plagioclasas. Estas muestras corresponden a sedimentos deltaicos retrabajados o a sedimentos pleistocenos relictos, contaminados en algunos casos por un aporte deltaico actual.

6º/ No se han encontrado diferencias en la composición mineralógica de las muestras de dunas y playas. Sin embargo pueden darse pequeñas diferencias en los porcentajes de los minerales tales como un mayor porcentaje de minerales estables en las muestras de dunas.

MINERALOGIA DE ARCILLAS

En el estudio de la constitución de las arcillas deben ser tenidos en cuenta cuatro factores (MILLOT, 1964): a/ la herencia detrítica; b/ las transformaciones; c/ la sedimentación diferencial y d/ las neoformaciones.

En el medio marino la herencia de los minerales arcillosos desde las tierras emergidas es el fenómeno esencial y responsable de la sedimentación arcillosa. Tal hecho está demostrado por la analogía existente entre el material arcilloso de aporte fluvial y las arcillas marinas de su cuenca de sedimentación. Este fenómeno queda además patente por la distribución de arcillas en el globo de acuerdo con las zonaciones climáticas (cf. CHAMLEY, 1971). La constitución de las arcillas del continente en gran parte está condicionada por el tipo de clima (MILLOT, 1964); así la clorita es más abundante en las altas latitudes y la kaolinita en el dominio intertropical; la illita predomina en las latitudes medias templadas.

Aunque el factor predominante de la constitución de las arcillas marinas es la herencia detrítica, cuando se estudia en detalle la composición de las arcillas aportadas por las corrientes fluviales y la de las marinas depositadas en sus inmediatas áreas de influencia, surgen problemas pues la correlación no es tan perfecta. GRINS y JOHNS (1954, loc.cit. MILLOT, 1964) en el golfo de Méjico encuentran que la composición de las arcillas aportadas por el río Guadalupe está dominada por montmorillonita, acompañada de clorita e illita; pero hacia la plataforma continental esta composición cambia progresivamente y pasa a estar integrada a partes iguales por montmorillonita, clorita e illita. Los autores anteriores encuentran una relación análoga para los aportes del Mississippi, con un aumento de la salinidad del agua. Otros estudios han demostrado fenómenos de este tipo, representados generalmente por un aumento de la illita con la distancia al continente (cf. MILLOT, 1964).

La interpretación de estos fenómenos puede ser basada en una sedimentación diferencial; esta, se encuentra bien representada en la bahía de Paria (op.cit. KUKAL, 1971) donde la montmorillonita aumenta y la illita decrece desde la boca del río hacia el interior de la bahía, condicionado por una diferenciación mecánica debido a que la illita por ser de ma-

yor diámetro tiene mayor velocidad de sedimentación. Sin embargo, en la generalidad de los casos ocurre el fenómeno contrario: aumento de la illita y descenso de la montmorillonita con la distancia a la costa. Para estos casos es necesario admitir mecanismos de transformación. Estos mecanismos intervienen fundamentalmente en el paso del medio fluvial al marino, dándose una diagénesis temprana de las arcillas en el límite agua dulce-agua salada. Estas transformaciones, discretas y lentas, se producen en el sentido contrario del que se opera en los suelos. Es decir, mientras que los fenómenos edáficos suponen la degradación de las redes arcillosas, en el medio marino se producen mejoramientos de la cirstalinidad y agradaciones incipientes.

El último factor a considerar, las neoformaciones, tiene un papel muy limitado y sólo ha sido demostrado, aunque no siempre de una manera definitiva, en dos casos: neoformaciones de montmorillonita en medio marino a partir de cenizas volcánicas y neoformaciones hidrotermales a partir de material volcánico en las dorsales submarinas (op. cit., CHAMLEY, 1971).

Tipos de arcillas en los sedimentos

La arcilla constante y más abundante en todas las muestras estudiadas es la illita. Esta arcilla presenta en todos los diagramas de rayos X, un pico muy bien definido a 10 \AA , en los ensayos al estado natural. Dicho pico no es afectado en los ensayos posteriores con la muestra calentada o sometida a glicerol.

La determinación mineralógica del resto de los tipos de arcillas presentes no queda tan definida, debido a las grandes posibilidades de mezclas naturales entre ellas. Como ejemplo, se puede poner el caso de la clorita y de la kaolinita: el calentamiento a 550° destruye la kaolinita en la mayoría de los casos; sin embargo, en otros no es así, como resultado del gran número de variedades mineralógicas del estado cristalino. Esta determinación está facilitada por la presencia del doblete a $3,5 \text{ \AA}$ ($3,56 \text{ \AA}$; para el 002 de la kaolinita y $3,59 \text{ \AA}$ para el 004 de la clorita). No obstante, cuando la proporción de uno de los minerales es baja, las difracciones se agrupan en un mismo conjunto.

En las estimaciones semicuantitativas, debe ser tenido en cuenta el hecho de que la kaolinita generalmente da una respuesta doble que el resto de los minerales, por lo que debe ser disminuida alrededor de la mitad. El caso contrario, está representado por la montmorillonita y la mayoría de los interestratificados, que deben ser mejorados en un entero o en una mitad.

El conjunto de todas las muestras estudiadas puede ser reducido a los siguientes tipos:

Tipo A/ Predominio de illita, acompañada de kaolinita y una pequeña proporción de un interestratificado tipo vermiculita-montmorillonita (Figs. 12 y 13; muestra 32-20, 401); aunque la montmorillonita queda muy poco definida.

Tipo B/ Predominio de illita. El pico de la kaolinita no desaparece por calentamiento totalmente (Figs. 12 y 14, muestra 33-20, 30 y 33-20, 27), aunque esta arcilla queda bien definida en el diagrama A.D.T. (Fig. 15). Acompaña un interestratificado del tipo clorita-vermiculita.

Tipo C/ Análogo al tipo B, aunque el interestratificado parece ser más bien del tipo clorita-montmorillonita (Fig. 16, muestra 33-20, 20).

Tipo D/ Predominio de illita, seguida de kaolinita (no llegando aún a desaparecer totalmente el pico de la kaolinita por calentamiento) y una pequeña proporción de un interestratificado tipo clorita-montmorillonita, aunque esta última no queda muy definida en el diagrama de rayos X (Figs. 13 y 14, muestras 32-20, 423 y 33-20, 31).

Tipo E/ Es análogo al D, aunque el interestratificado ha sido sustituido por clorita solamente (Fig. 16, muestra 32-20, 20).

Tipo F/ Predominio de illita, acompañada de kaolinita y clorita en menor proporción ((Figs. 14 y 15, muestra MAL-9 (op.cit. Maldonado 1972); Fig. 16, muestra 32-20, 10)).

NOTA: Se emplea el término illita en el sentido dado por MILLOT (1964), para micas de talla pequeña, independientemente de que su estructura sea del tipo di o tri-octaédrico.

Distribución de las arcillas

Las muestras del ambiente lagunar están representadas por el tipo A. La presencia de interestratificados y de vermiculita se explica, para estos minerales frágiles, debido a que se encuentran en un medio favorable a su organización, de carácter básico y reductor. Estos minerales son aportados por las corrientes fluviales y proceden de la alteración de los suelos y del Cuaternario de la cuenca del río Ebro (CATALÁN 1969; RODRIGUEZ-PASCUAL y col., 1972).

Las muestras del ambiente de prodelta pertenecen a los tipos intermedios descritos B, C, D y E. Hay una cierta gradación, con representantes del tipo B en el prodelta interno y del tipo E en el prodelta externo.

En el ambiente de ensenada, está representado el tipo D.

En las muestras marinas se encuentran representantes de todos los tipos, sin embargo en las zonas de deposición lenta o de poca influencia fluvial predominan los tipos D, E y F.

De esta distribución, queda claramente puesta de manifiesto una tendencia al mejoramiento de las redes cristalinas, o a pequeñas transformaciones mineralógicas, en el paso del ambiente palustre al marino. En consecuencia, estas transformaciones presentan un sentido contrario al de las acciones edafológicas. En la Figura 17 se representa esta evolución, manifestada por una tendencia de paso de la asociación de arcillas del tipo A, al tipo E, con la disminución de la influencia fluvial, y en sentido contrario con el aumento de la velocidad de sedimentación. La importancia de uno y otro factor es difícil de evaluar, pues, por ejemplo, en el ambiente de ensenada donde hay una fuerte influencia fluvial, prevalece la baja velocidad de depósito de la zona, permitiendo la reorganización y mejoramiento del tipo de arcilla y en consecuencia se encuentra la asociación D. Análogamente ocurre con la muestra (32-20) 10 que, aunque muy litoral, se localiza en una zona donde la velocidad de depósito es muy baja, debido a la falta de aportes. Por el contrario, la muestra (32-20) 30, localizada en un punto de baja influencia fluvial y no muy elevada velocidad de depósito, presenta un estado de evolución poco avanzado (tipo B).

Conclusiones

1º/ La arcilla dominante en todas las muestras estudiadas es la illita, indudablemente de origen detrítico y aportada por el río Ebro.

2º/ La kaolinita es secundaria y acompaña siempre la illita. Sin embargo esta arcilla presenta algunas anomalías en los diagramas que son atribuidas a variedades mineralógicas del estado cristalino.

3º/ Hay una pequeña proporción de minerales acompañantes de la arcilla, observándose en estos una evolución o gradación contraria a la del tipo edafológico, paralelamente con la disminución de la influencia fluvial y la velocidad de depósito. En consecuencia, esta evolución no es estrictamente proporcional con la distancia a la línea de costa, aunque a grandes rasgos exista una correlación entre ambos.

4º/ Como consecuencia de lo anterior, en el tipo de arcillas marinas, o asociación mineralógica, los mecanismos de transformación, intervienen en una pequeña escala, en especial en el paso del ambiente continental al marino. Esto es debido a una diagénesis temprana en el límite agua dulce-agua salada y a fenómenos de "agradación" y reorganización de las estructuras cristalinas en el medio marino

B I B L I O G R A F I A

- CAILLEUX, A., TRICART, J.- 1965.- Initiation à l'étude des sables et des galets. 3 vols. Centre de Documentation Universitaire. Paris.
- CATALÁN-LAFUENTE, G.- 1969.- Química del agua. 355 pp., figs. tabl. Ed. Blume. Barcelona.
- CHAMLEY, H.- 1971.- Recherches sur la sédimentation argileuse en Méditerranée. 401 pp., 82 figs., XV láms. Ph.D.Université d'Aix-Marseille.
- COLEMAN, J.M., GAGLIANO, S.M.- 1965.- Sedimentary structures: Mississippi River deltaic plain. In: Middleton, G.V. (ed.) Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation. pp.133-148. Soc.EconPaleont.and Mineral. Sp.Pub.no 12. Tulsa, Ok.
- FOLK, R.L.- 1959.- Petrology of Sedimentary Rocks. 151 pp. Hemphill's Book Co. Austin.
- FRIEDMAN, G.M.- 1961.- Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. Jour.Sed. Petrol., 31 (4), pp.514-529. Tulsa, Ok.
- GIRESSE, P.- 1970.- Les limites de la province sédimentaire littorale du delta du Llobregat. Cahiers Océanographiques, XXII,(6), pp.581-611, 9 figs.
- KUKAL, Z.-1971.- Geology of recent sediments. 490 pp., 142 figs., 22 fotos. Academic Press. London.
- MALDONADO, A.-1972.- El delta del Ebro: Estudio sedimentológico y estratigráfico. Bol. de Estratigrafía, 1, VII 486 pp., 182 figs., 7 láms., 11 tabl., 6 anejos, 7 planos. Universidad de Barcelona.
- MILLOT, G.-1964.- Géologie des Argiles. 499 pp., 75 figs., 12 láms. 15 tabl. Masson et Cie. Paris.
- PASSEGA, R.- 1957.- Texture as characteristic of clastic deposition. Bull. Am. Assoc. Petrol.Geol., 41 (9), pp.1952-1984. Tulsa, Ok.
- PASSEGA, R., BYRAMJEE, R.- 1969.- Grain-size image of clastic deposits. Sedimentology, 13, pp.233-252, 5 figs. Elsevier. Amsterdam.

RODRÍGUEZ-PASCUAL, C., MARTÍNEZ-REYES, E., GARCIA-VICENTE, J.-1972.-
Mineralogía de arcillas de sedimentos cuaternarios de
la cuenca del Ebro (Zaragoza). Anal. de Edaf. y Agrobiología, XXXI (3-4), pp. 181-207, 12 figs., III tabls.
Madrid.

SAINZ-AMOR, E., FONT-ALTABA, M.-1965.- Estudio mineralógico y granu-
lométrico de algunas muestras de arenas recogidas en el
Delta del Ebro. Anal. de Edaf. y Agrobiología, XXIV (3-
4), pp.135-150, 4 figs., 2 cuadr. Madrid.

SOLE-SABARÍS, L., MACAU, D., VIRGILI, C., LLAMAS, M.R.-1961.- Algu-
nos datos sobre la evolución sedimentaria del delta del
Ebro. 2a Reunión de Sedimentología, pp.197-199. Inst.
de Edafología. C.S.I.C. Madrid.

Fig. 1.- Diagramas $Md\varphi / \alpha\varphi$ y $Md\varphi / \delta\varphi$

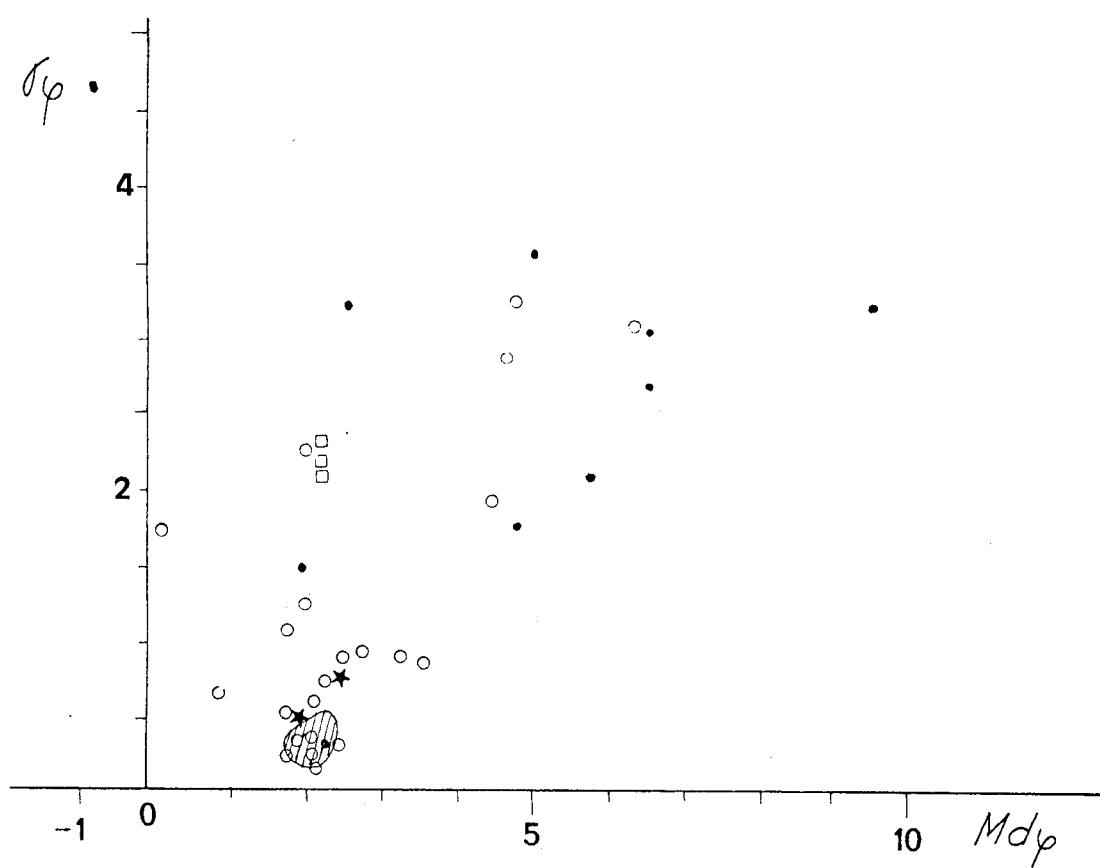
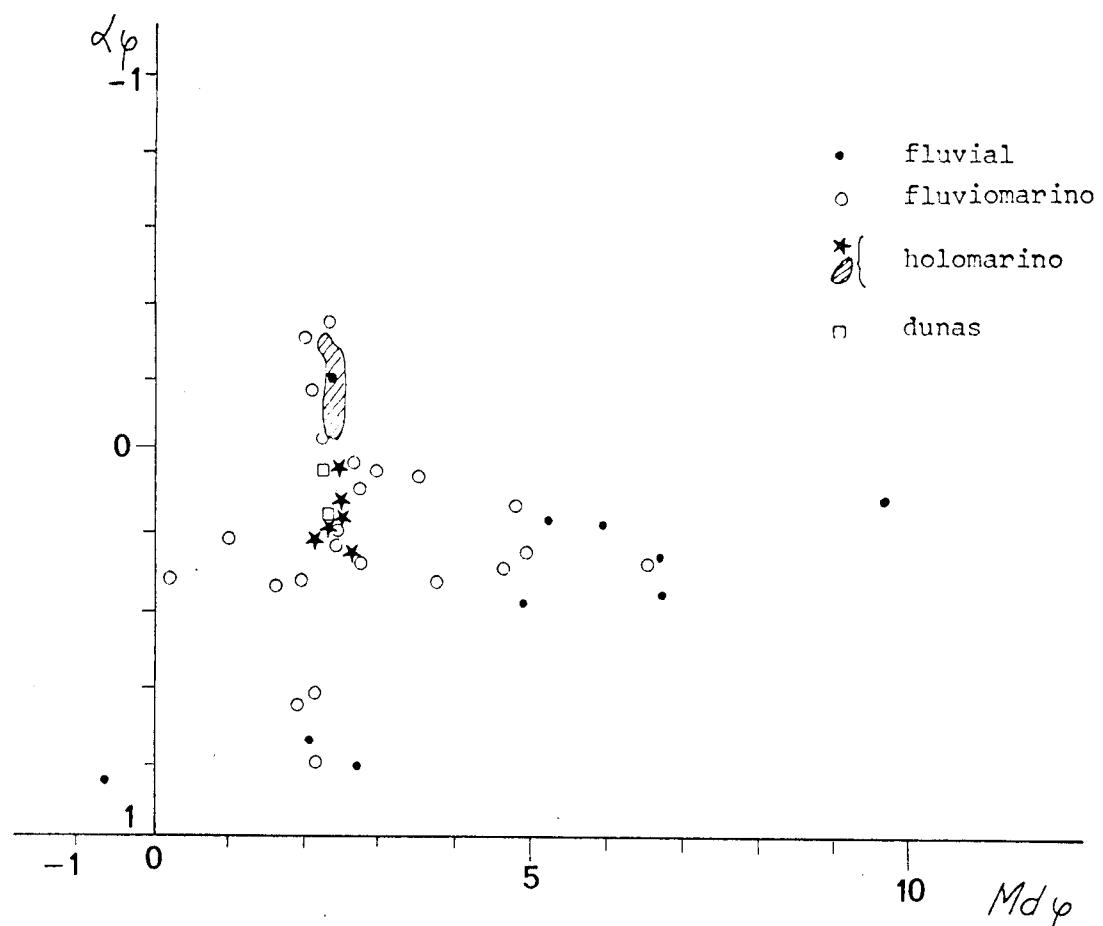


Fig. 2.- Diagrama C/M

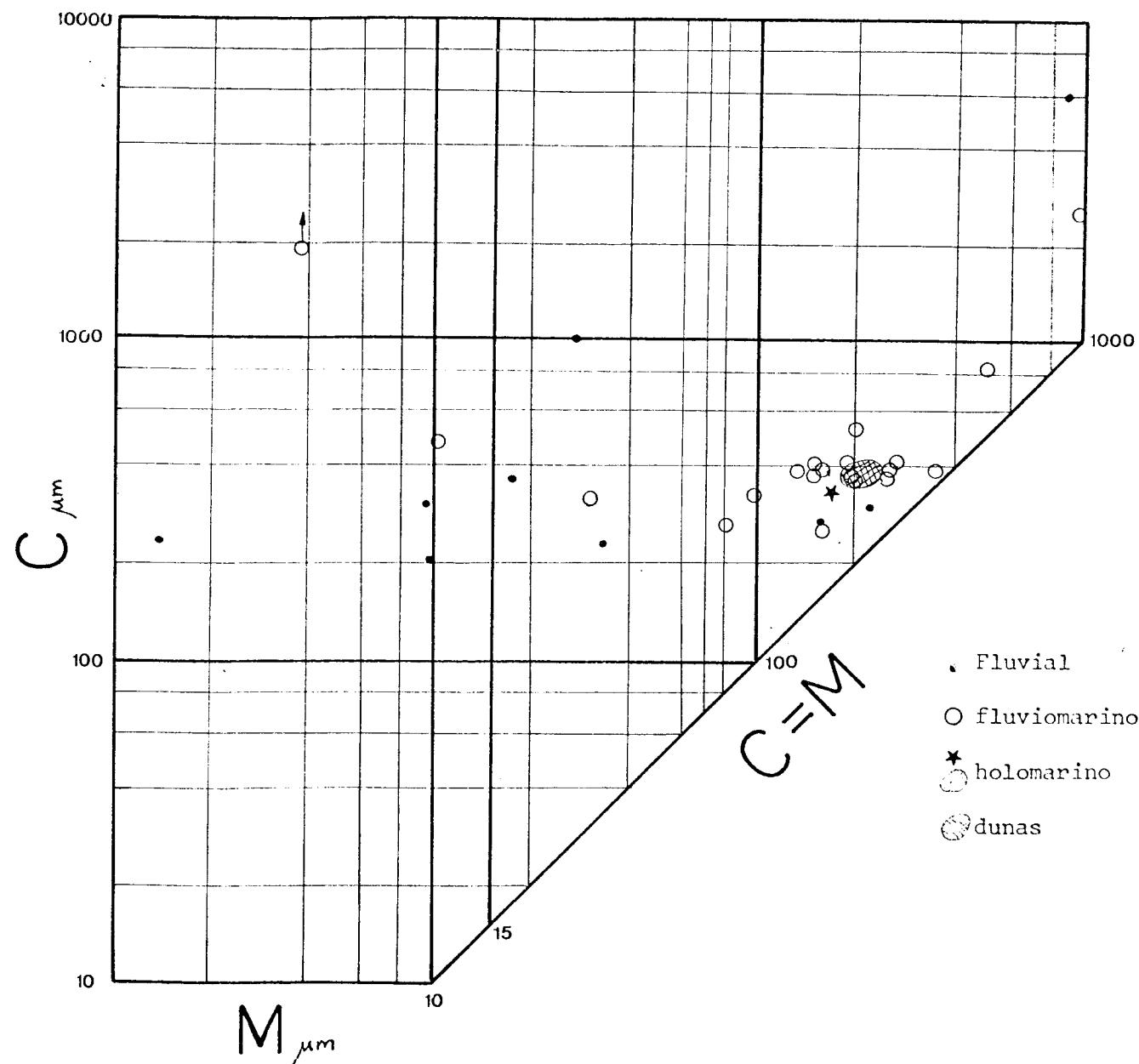


Fig. 3.- Diagramas $Md\varphi / \lambda\varphi$ y $Md\varphi / \delta\varphi$

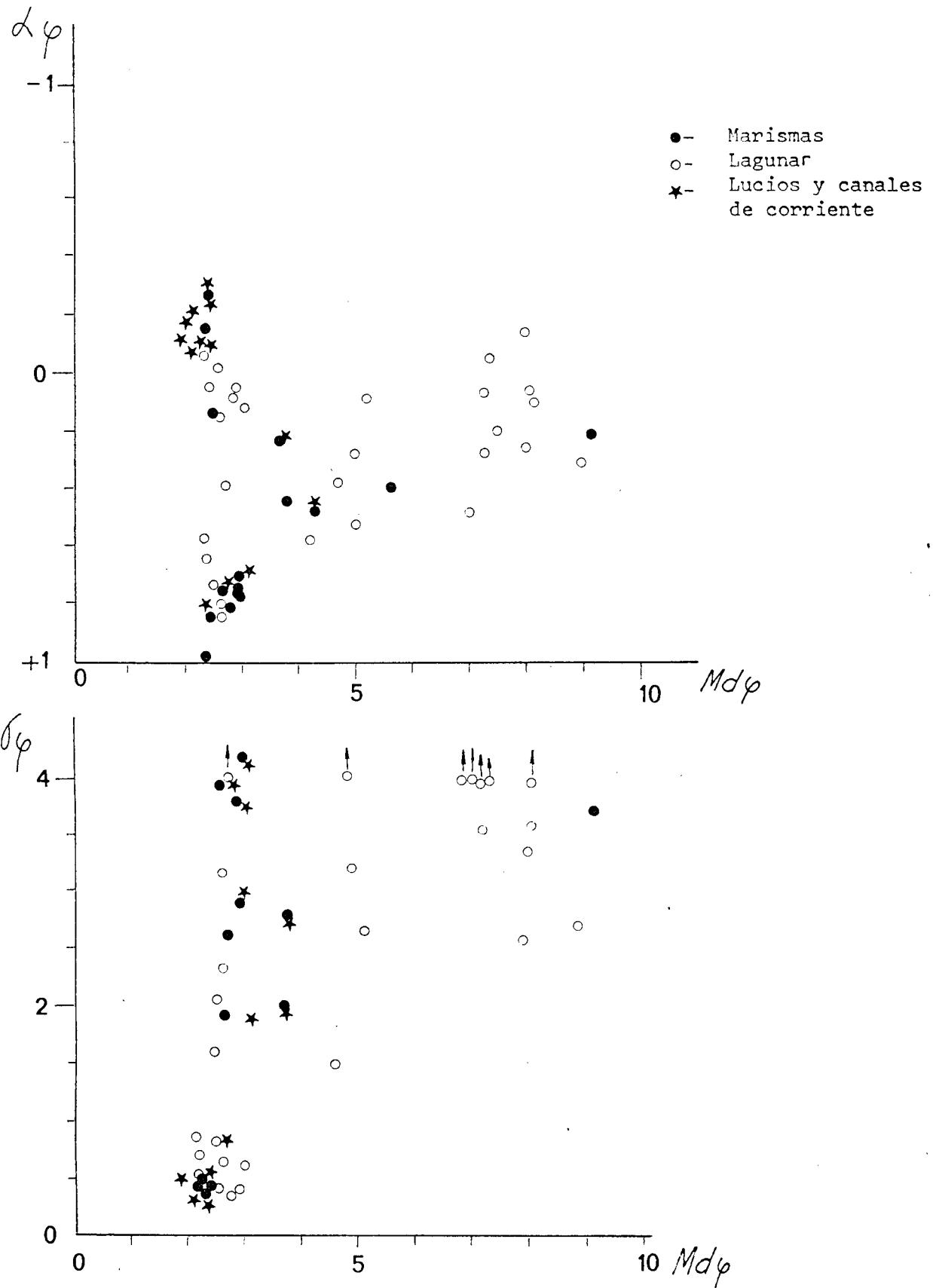


Fig. 4.- Diagrama C/M

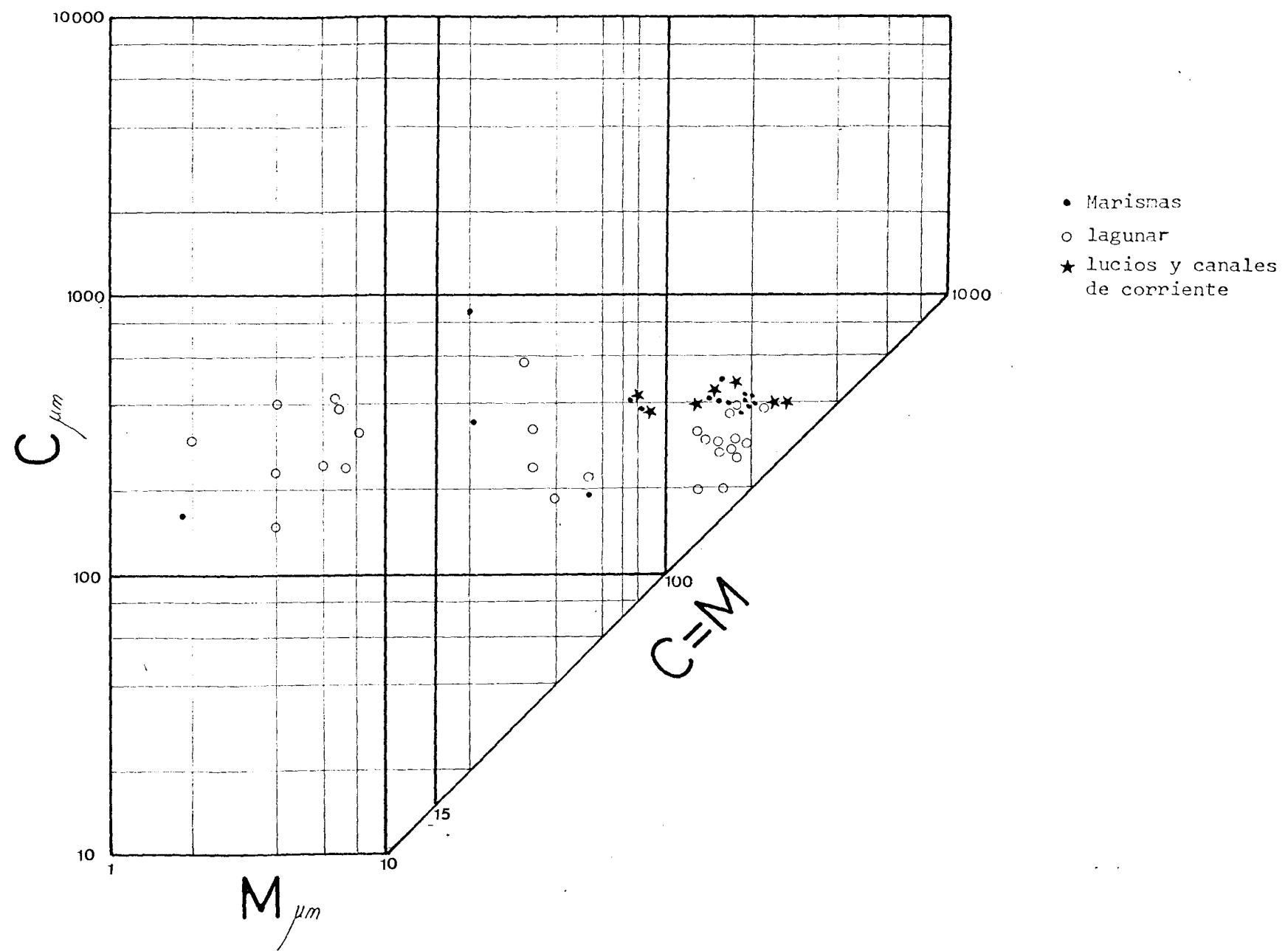


Fig. 5.- Diagramas $Md\varphi / \kappa\varphi$ y $Md\varphi / \delta\varphi$

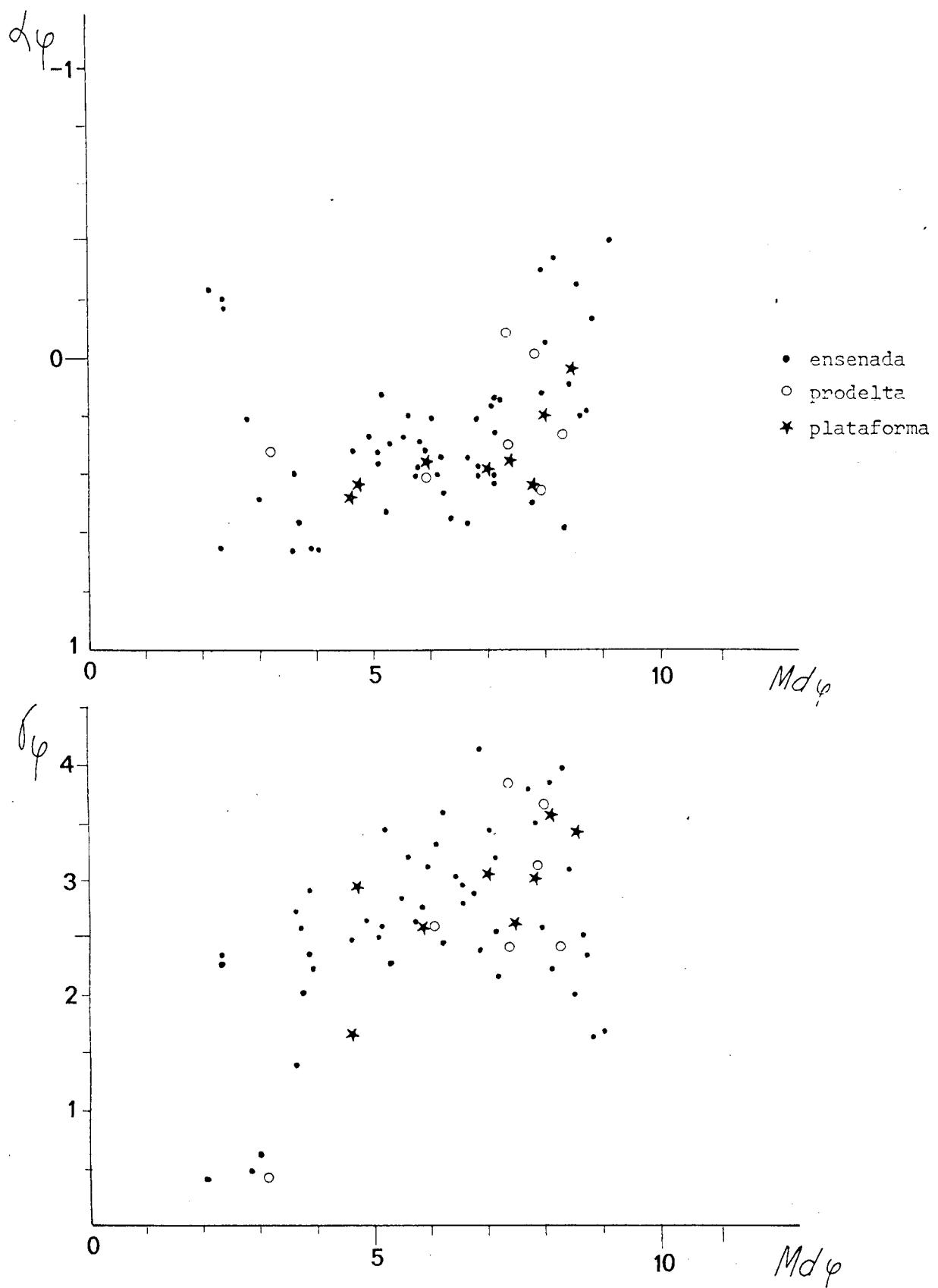


Fig. 6.- Diagrama C/M

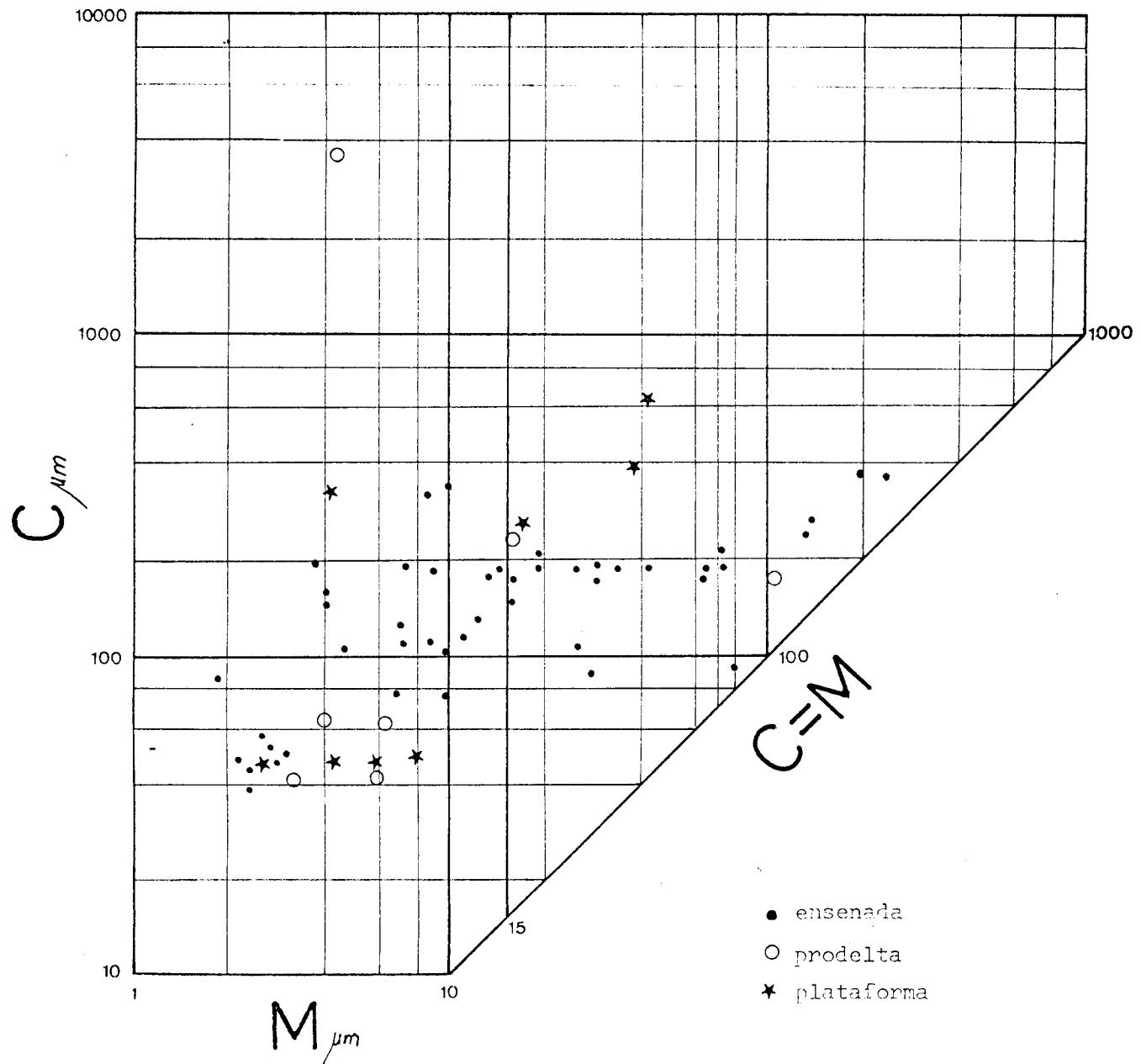


Fig. 7.- Areas más frecuentes de distribución de sedimentos de cada ambiente deltaico

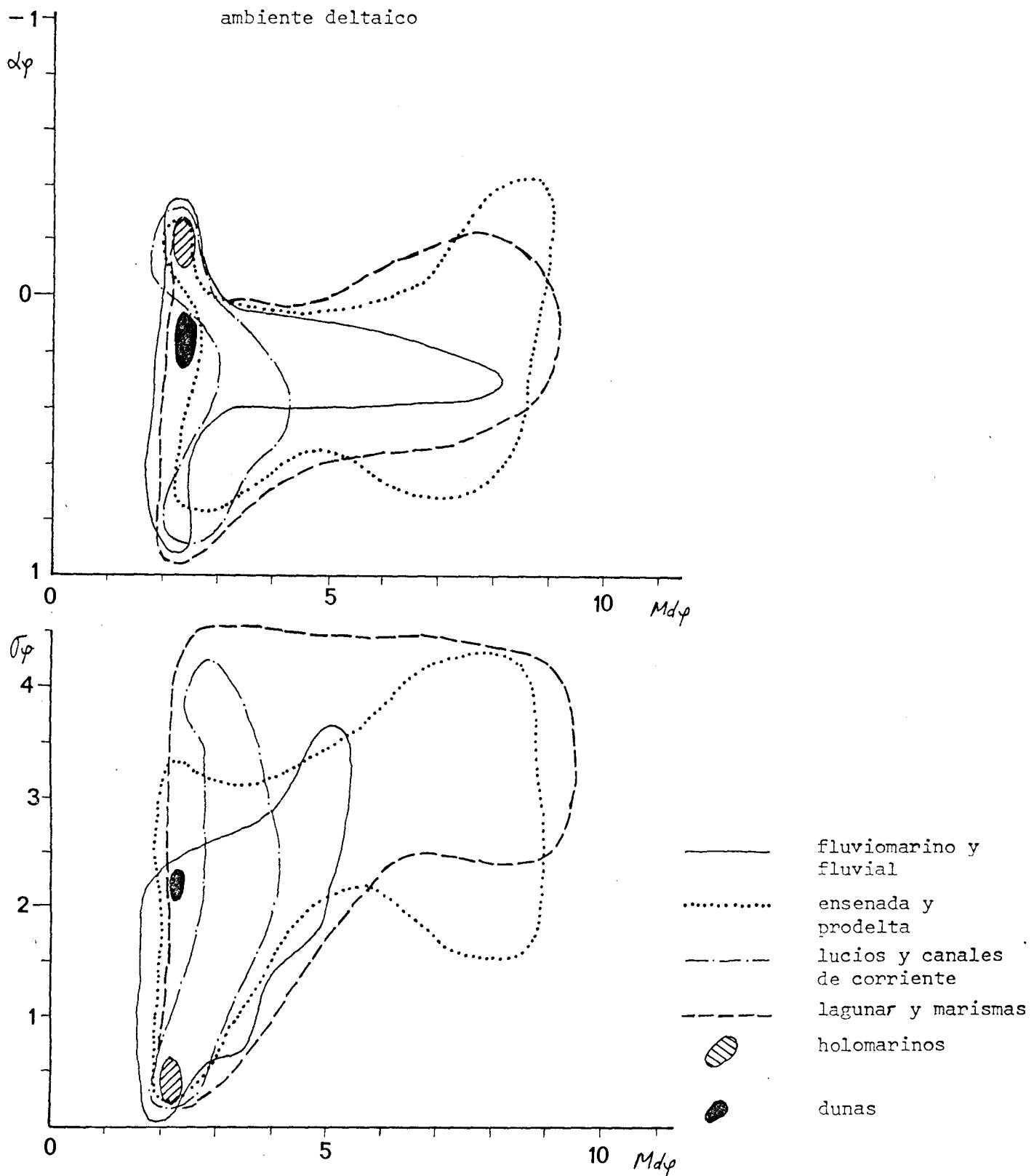


Fig. 8.- Áreas más frecuentes de distribución de los sedimentos
de cada ambiente deltaico. Diagrama C/M

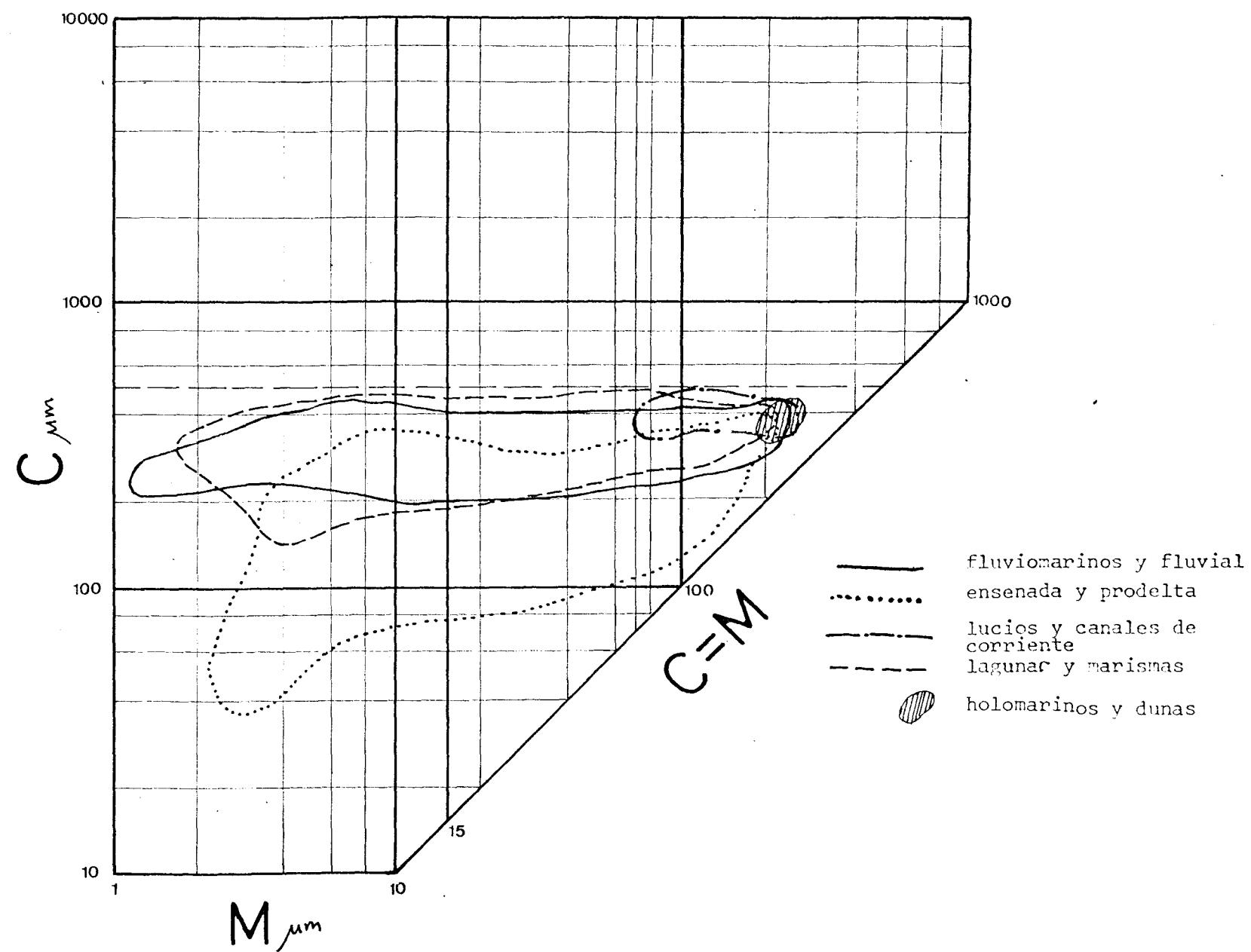


Fig.- 9.- Distribución de carbonatos y materia orgánica

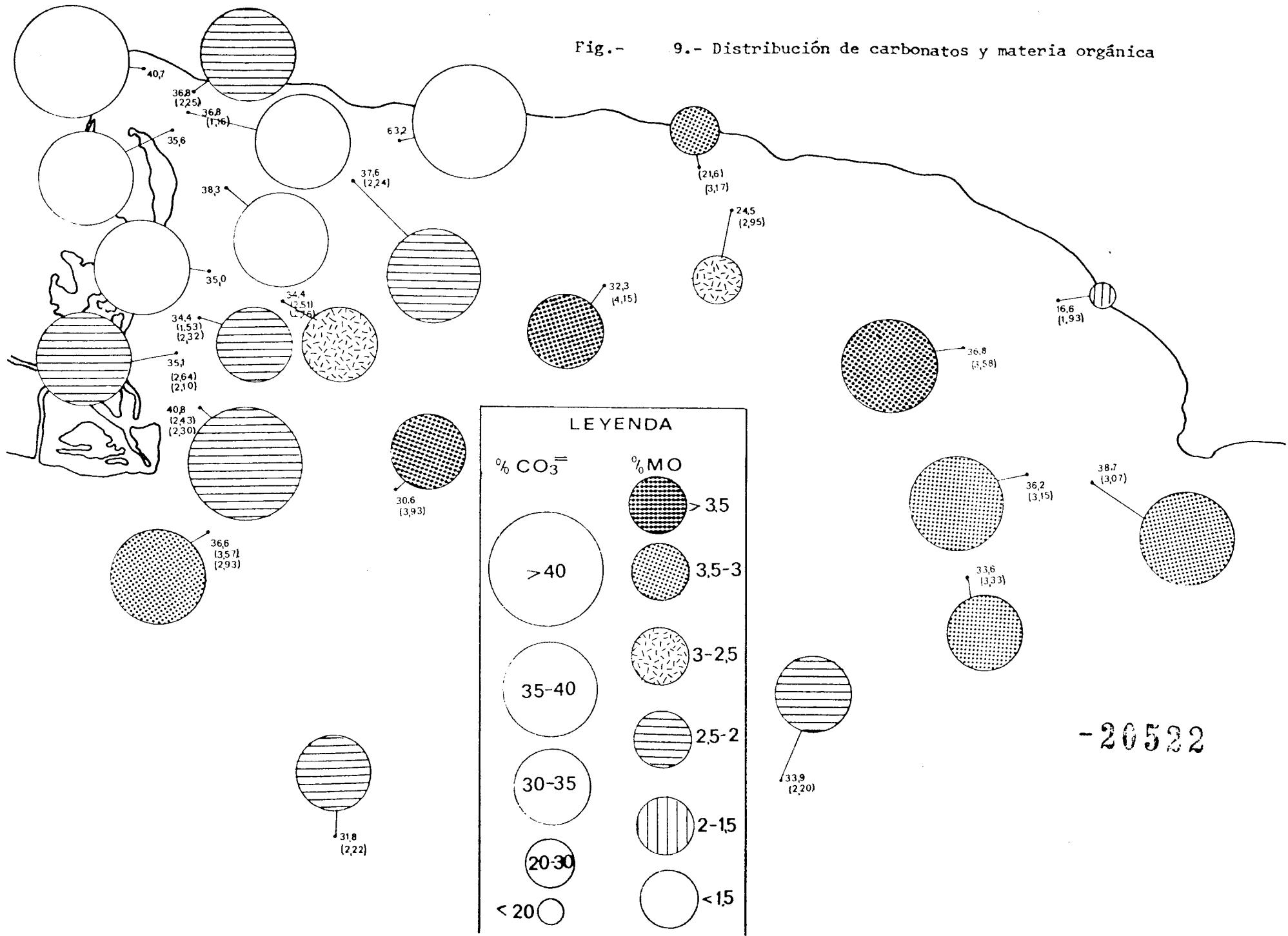


Fig 10

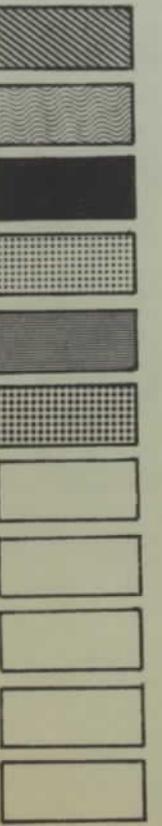
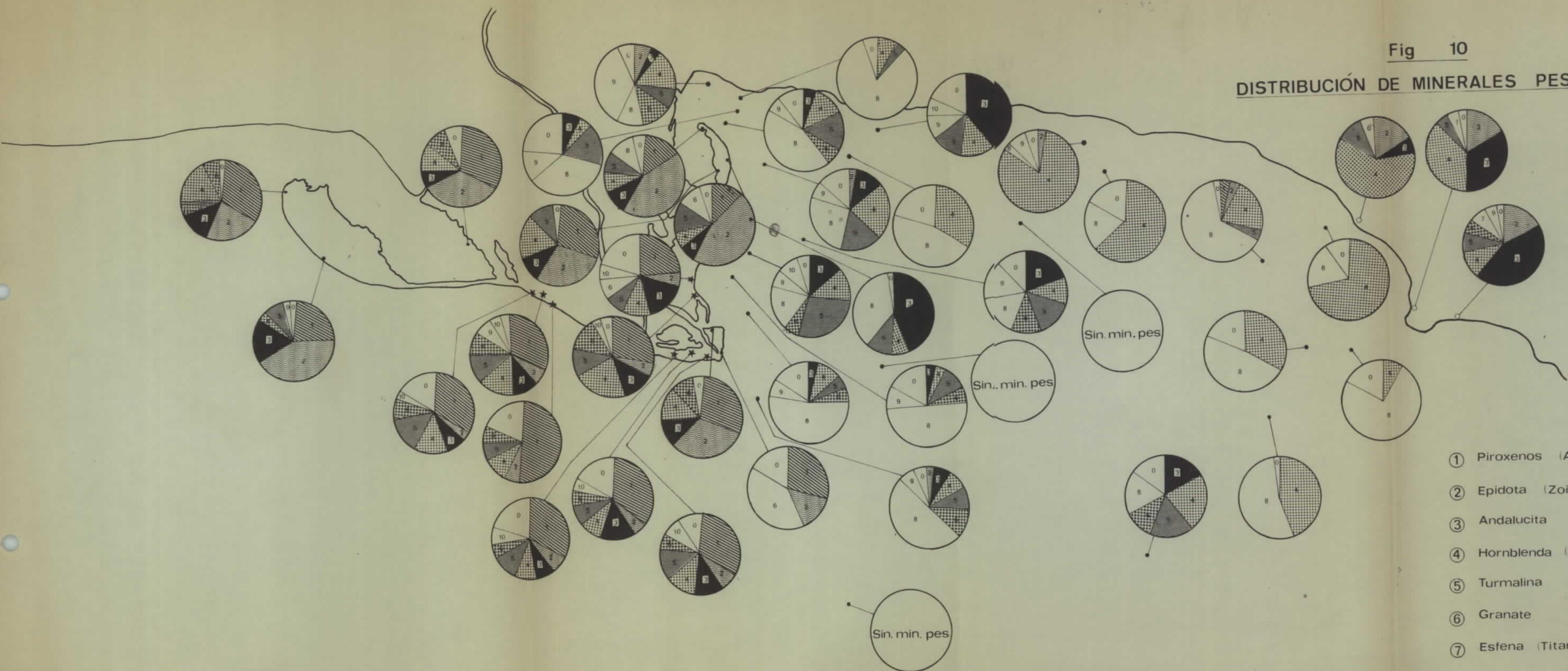
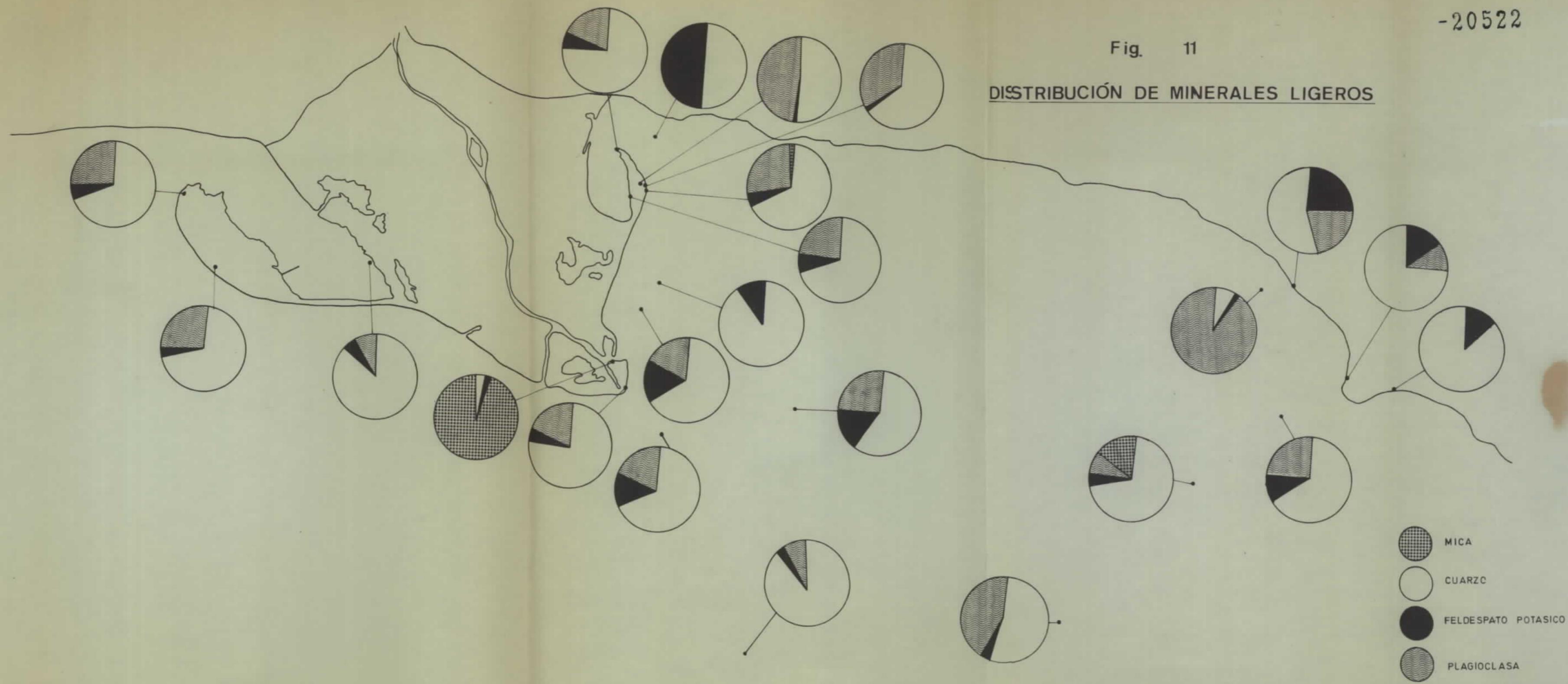
DISTRIBUCIÓN DE MINERALES PESADOS

Fig. 11

DISTRIBUCIÓN DE MINERALES LIGEROS



-20522

Fig 12

DIAGRAMAS RAYOS X

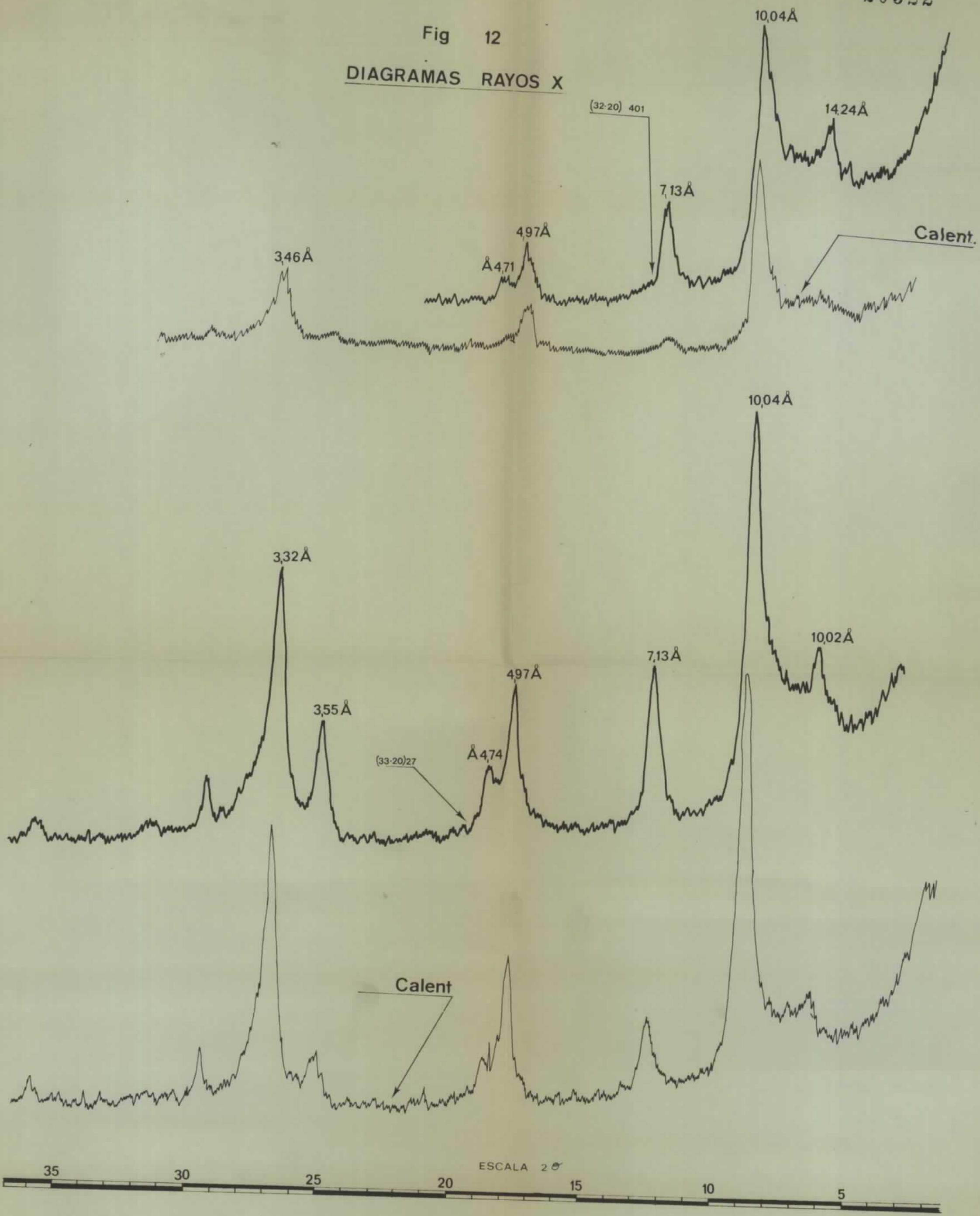


Fig 13

-20522

DIAGRAMAS A.T.D.

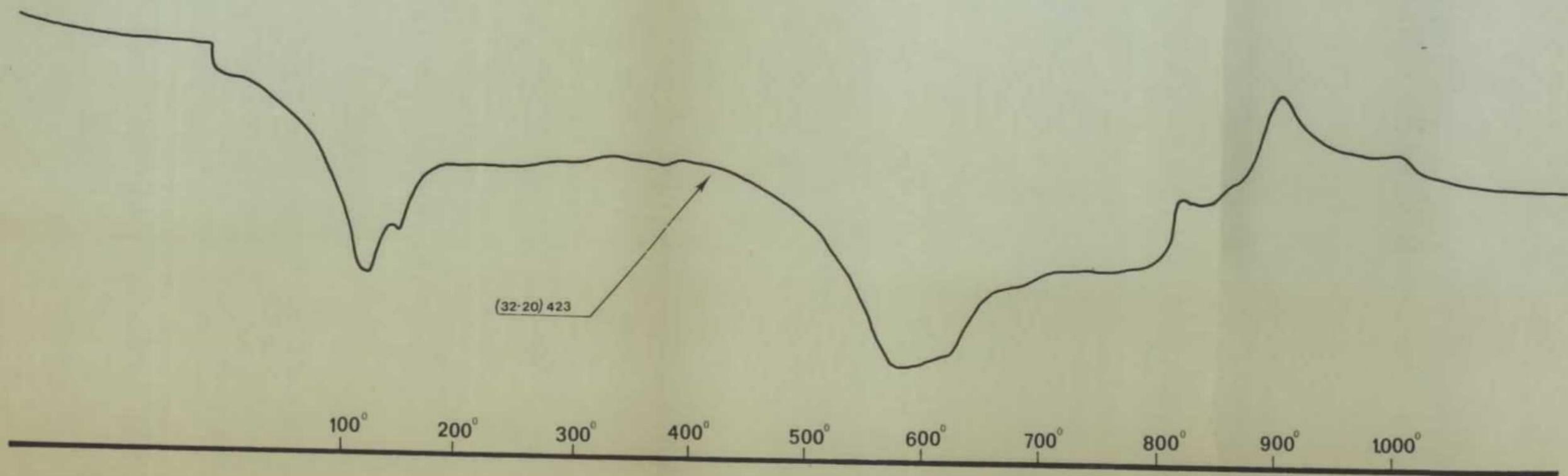
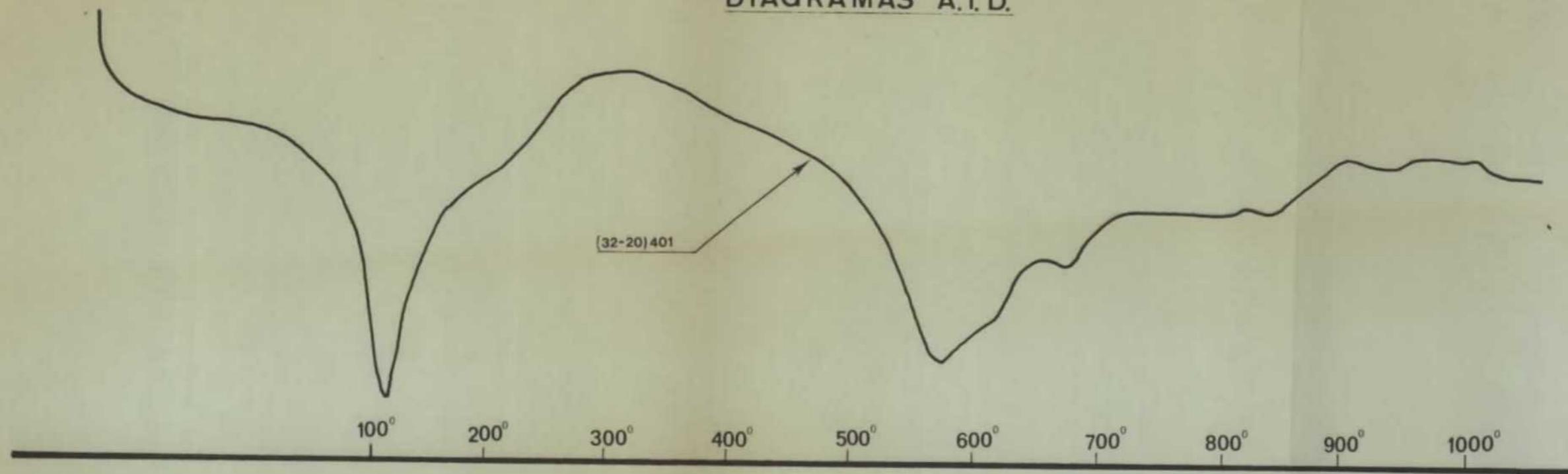
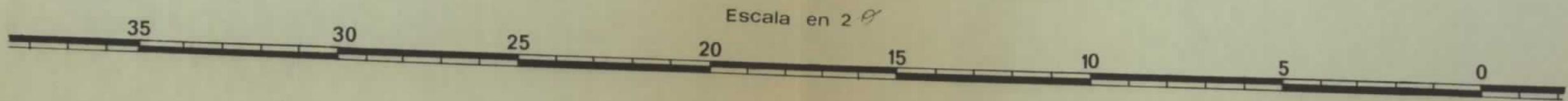
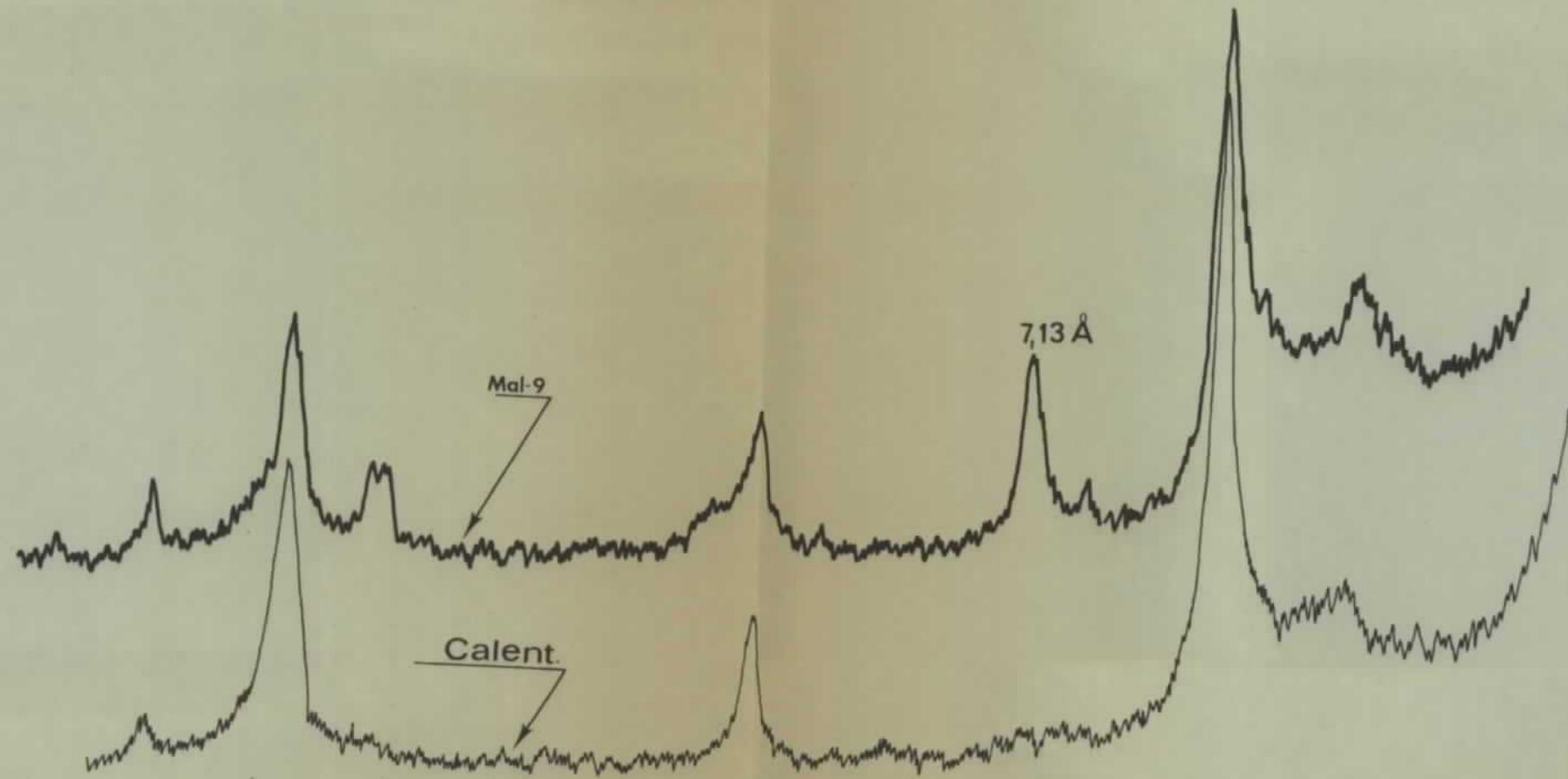
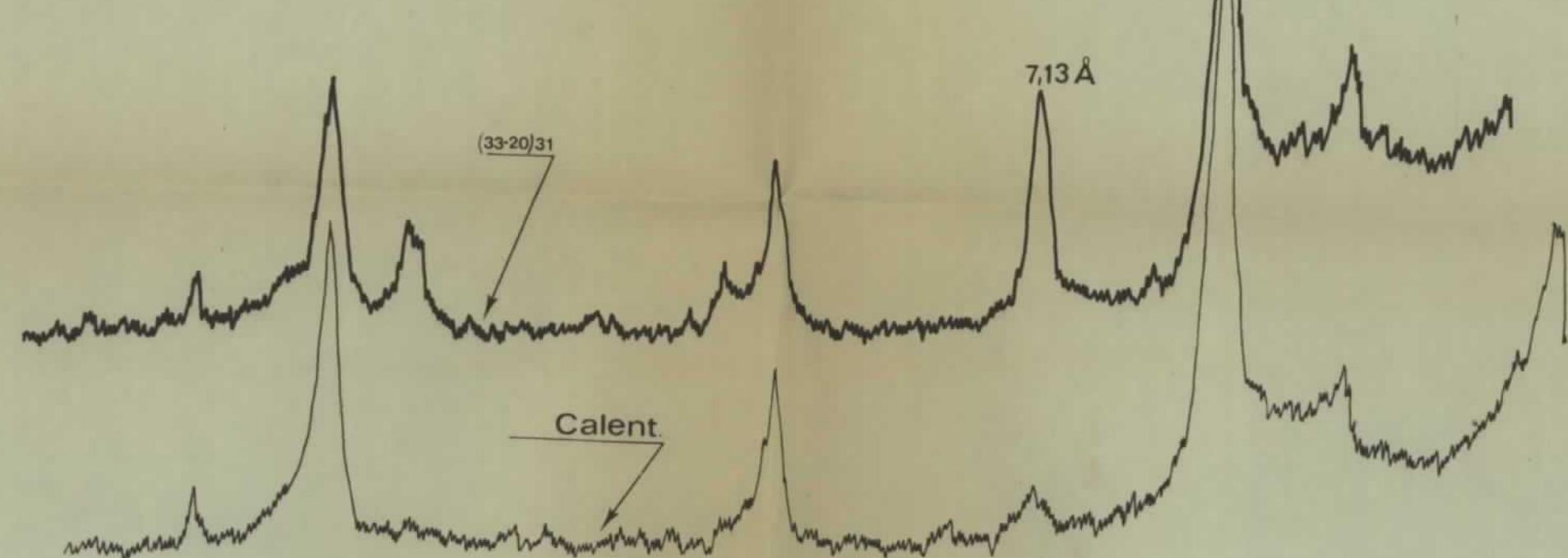
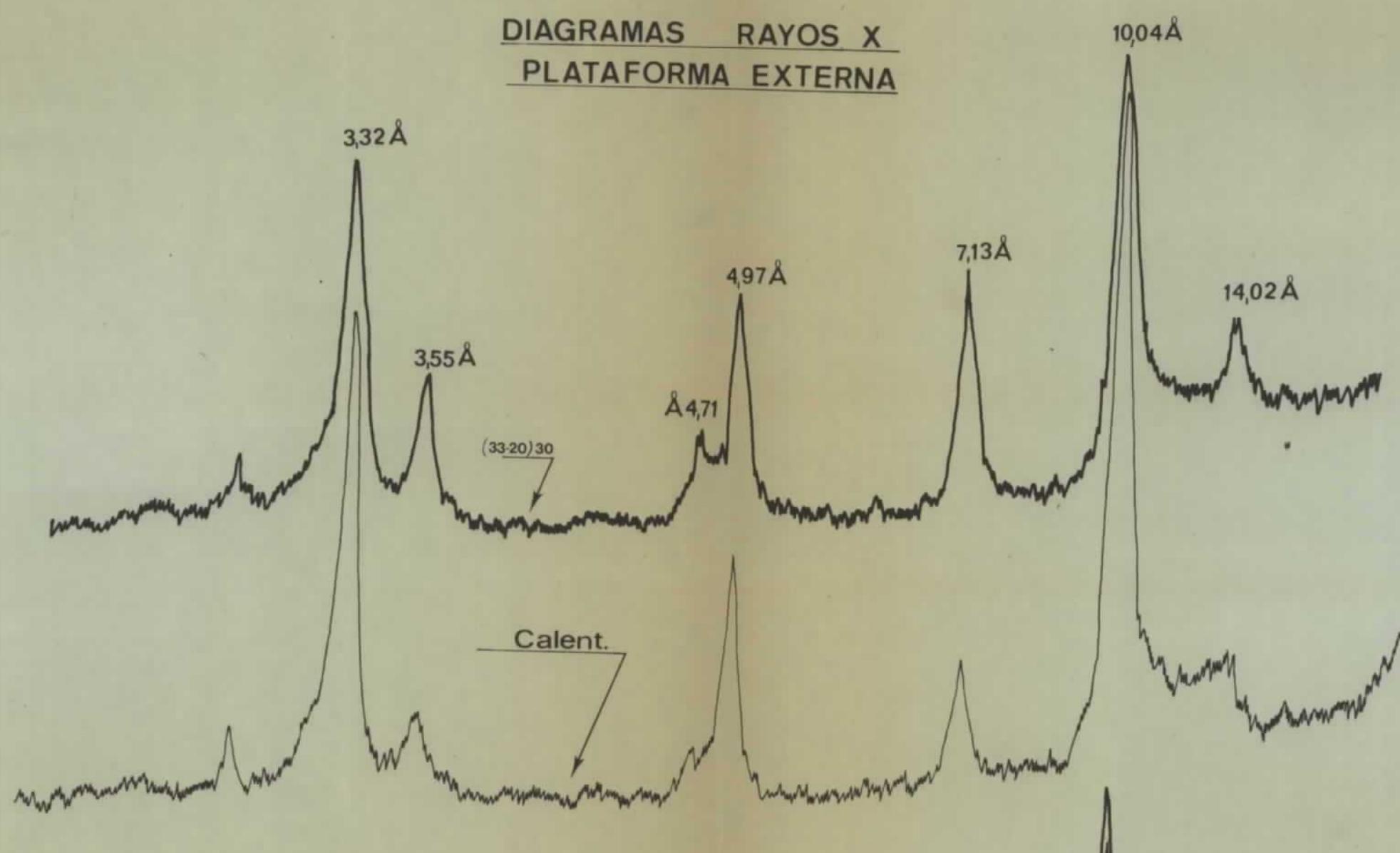


Fig 14

-20522

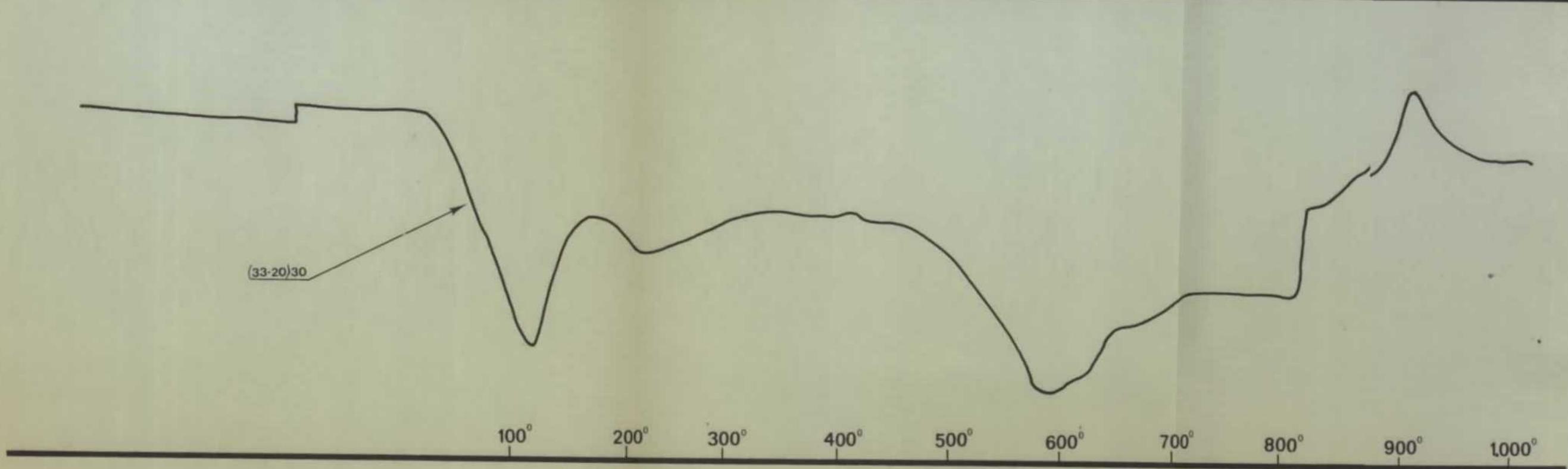
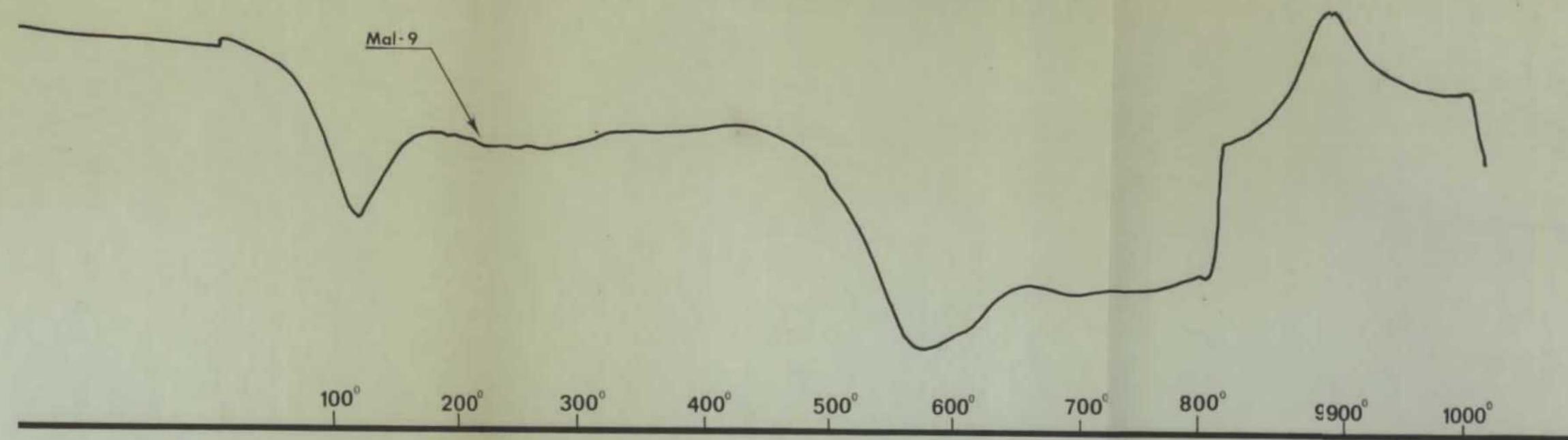
DIAGRAMAS RAYOS X
PLATAFORMA EXTERNA



-20522

Fig 15

A.T.D. PLATAFORMA EXTERNA



-20522

Fig 16

DIAGRAMA RAYOS X

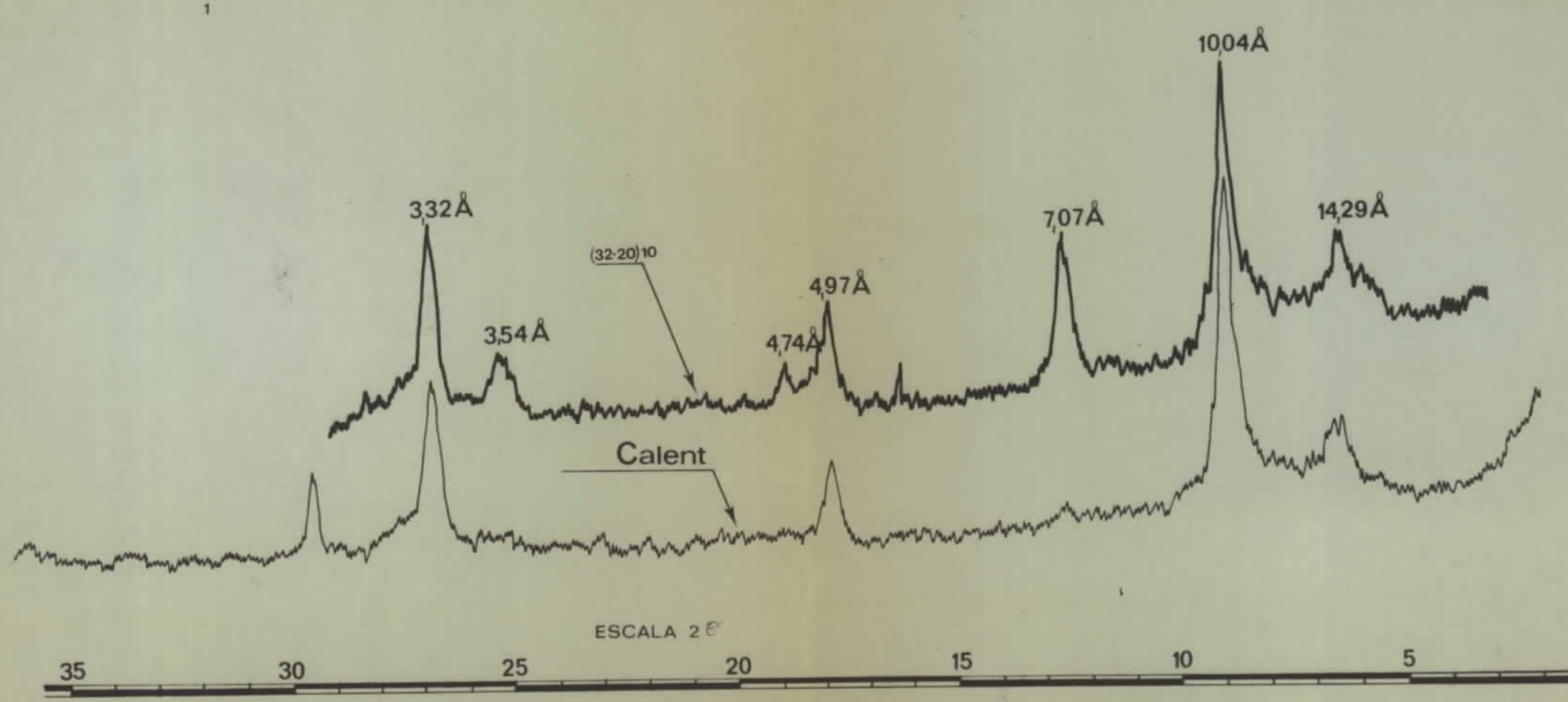
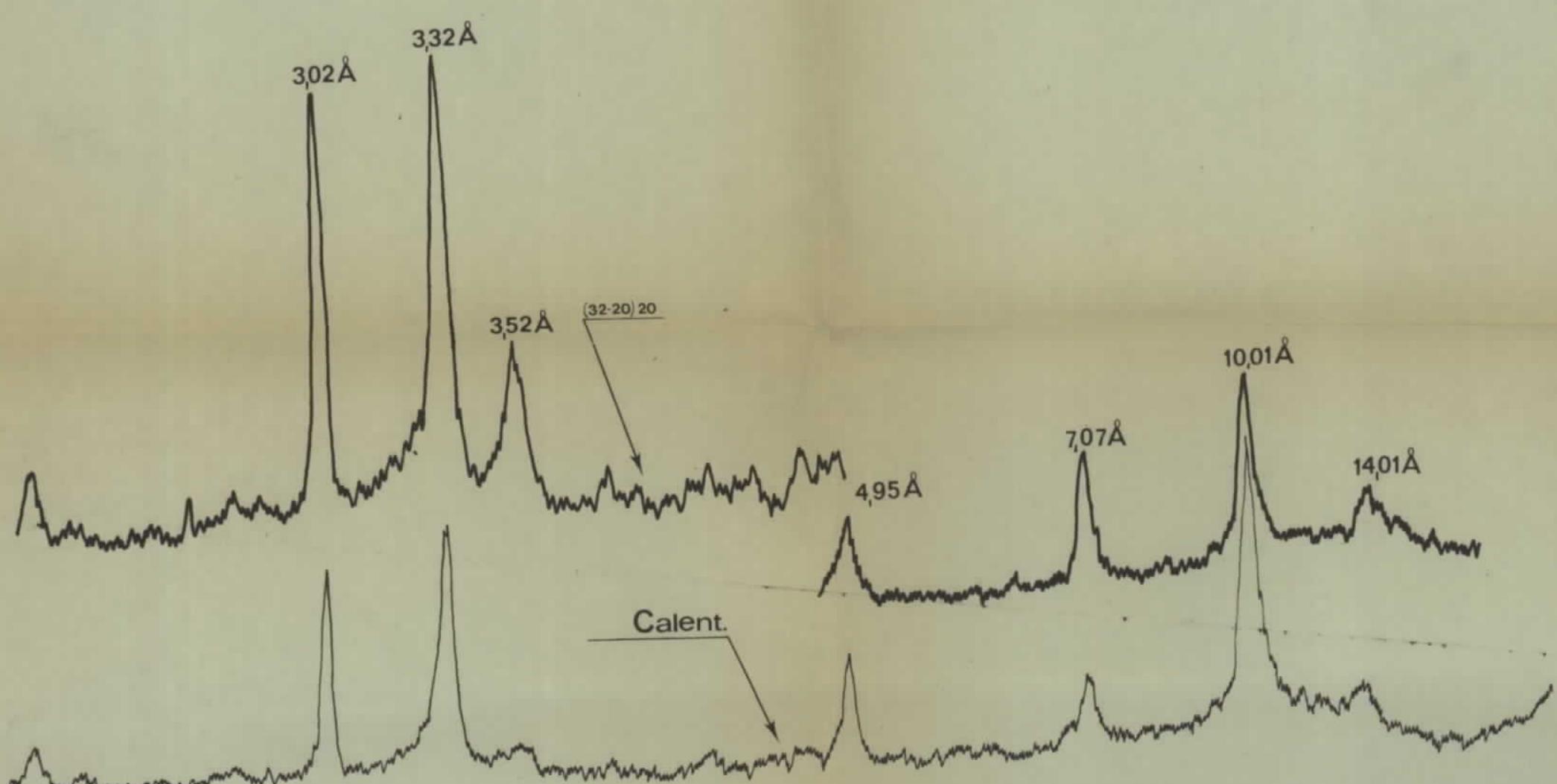
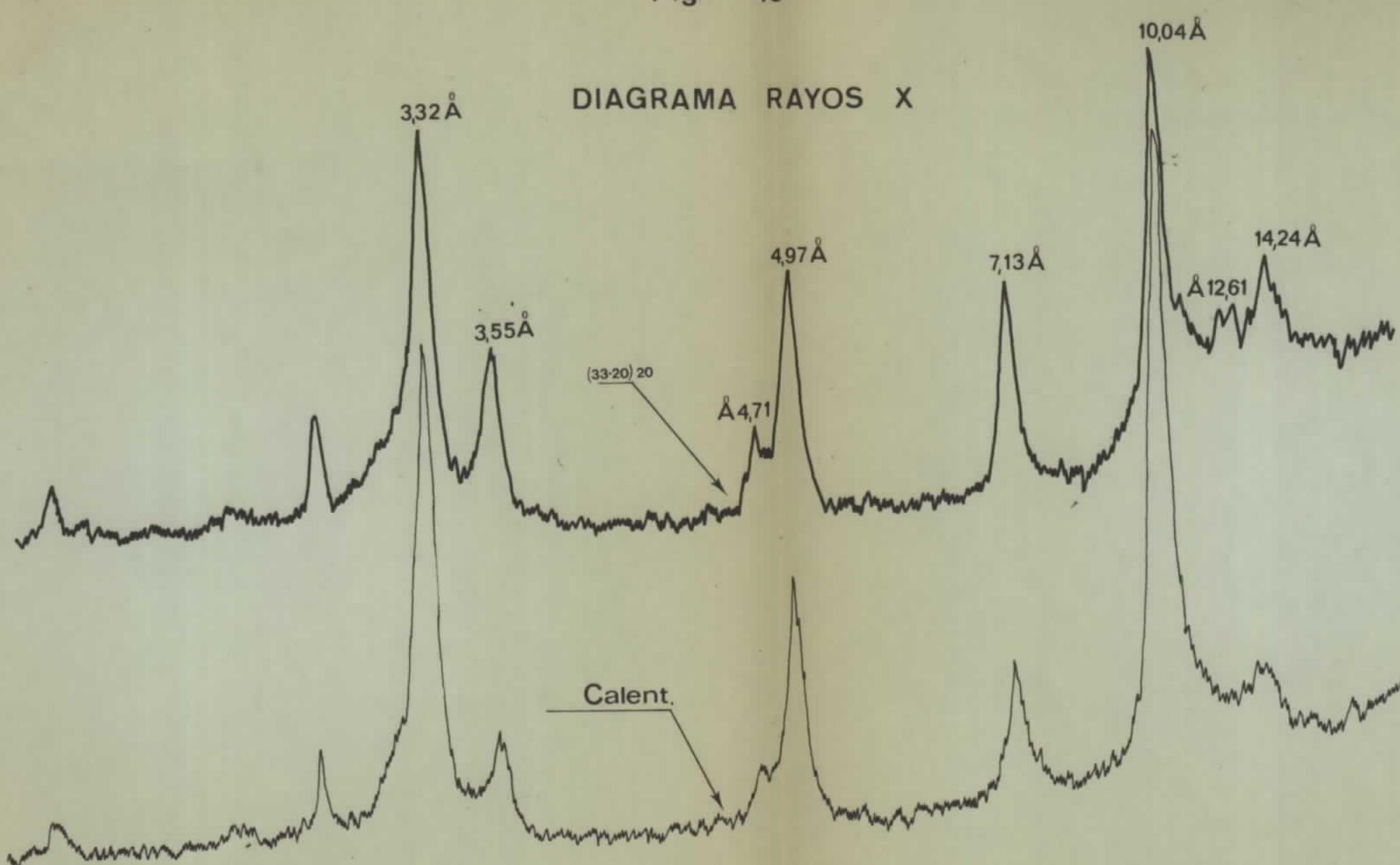


Fig. 17.- Distribución del tipo de arcillas en relación con el ambiente de depósito.

