

# Estudio sedimentológico de la parte alta de la formación Guadalupe al E de Bogotá (cretácico superior)

M. JULIVERT \*

RESUMEN.—En este trabajo se estudian las características sedimentológicas de las areniscas Tierna y de Labor, de la parte alta de la formación Guadalupe. La Arenisca de Labor, la más inferior de ambas, está formada por unos 65 m de areniscas en bancos gruesos separados por interbancos de material fino; el grano medio en los bancos de arenisca se mantiene bastante constante, siendo de alrededor de 0,25 mm. La Arenisca Tierna está formada por unos 50 m de areniscas de grano generalmente grueso o medio (1 a  $\frac{1}{4}$  mm) con estratificación cruzada y ripple-marks. Las curvas acumulativas de ambos grupos de areniscas son semejantes en el sentido de que en ambas hay un buen calibrado y poca asimetría pero las de la Arenisca de Labor y las de la Arenisca Tierna forman dos haces separados, mucho más apretado el primero, y apenas ligeramente superpuestos entre sí, de modo que ambas areniscas son diferenciables granulométricamente. Esta diferencia sirve como criterio de campo para la separación de ambas areniscas ya que la Arenisca Tierna llega en algunos de sus bancos hasta valores de la mediana de 0,87mm. Entre los dos niveles de areniscas se interponen unos 16 m de lutitas y areniscas finísimas. La presencia en la Arenisca de Labor de algunos niveles con cementos de calcita, puede servir de criterio adicional menos seguro, de diferenciación; este criterio es también aplicable en el campo ya que la calcita puede llegar a casi el 50%. El depósito de estas areniscas, que petrográficamente son ortocuarzitas, se efectuó en unas condiciones constantes para la Arenisca de Labor que permitieron el depósito de unos 65 m de areniscas de características casi iguales; la Arenisca Tierna se depositó bajo condiciones más cambiantes y bajo la influencia directa de corrientes; este cambio de condiciones puede interpretarse como debido a la disminución de la profundidad que más tarde llevará a la aparición de carbones y de condiciones de depósito continentales.

ABSTRACT.—This is a study of the sedimentological characteristics of the Tierna and Labor Sandstones from the upper part of the Guadalupe Formation. The Labor Sandstone, the lower one, is formed by approximately 65 m of thick banks of sandstones separated by layers of fine material; the mean size in the sandstone banks stays almost constant around 0.25 mm. The Tierna Sandstone is formed by around 50 m of sandstones of medium or thick size (1 to  $\frac{1}{4}$  mm) with cross bedding and ripple-marks. The cumulative curves of both sandstones groups are alike because they have a good sorting and very few asymmetry but they form two separated groups slightly over crossed between themselves, having a narrower range the one of the Labor Sandstone. Both sandstones are easily differentiated through size composition, and this difference could

\* Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.

be the field criterium for this separation mainly because the Tierna Sandstone has values of the median till 0.87 mm. Between the two levels of the sandstones there are 16 m of clay, silt and very fine sandstones. The presence in the Labor Sandstone of some levels with calcite cements, could be an additional criterium not as good, for differentiation; this criterium is also applicable in the field because the calcite could be almost a 50 per cent. The deposit of these sandstones, which petrographically are orthoquartzites occurred in constant conditions for the Labor Sandstone allowing a deposit of around 65 m of sandstones of characteristics almost equal. The Tierna Sandstone was deposited under more variable conditions and under the direct influence of the currents; this change of conditions can be interpreted as due to the diminishing of the depth which latter on conducted to the presence of the coals and the conditions of continental deposit.

RESUME.—On fait l'étude sédimentologique des grès nommés Arenisca Tierna et Arenisca de Labor, appartenant à la partie la plus haute de la formation Guadalupe. Les grès plus inférieurs (Arenisca de Labor) sont constitués par une épaisseur de quelques 65 m de grès à bancs épais séparés par des interbancs à matériel plus fin, la médiane des grès constituant les bancs s'avère assez constante, environ les 0,25 mm. L'Arenisca Tierna est constitué par quelques 50 m de grès à grain grossier ou moyen (1 à  $\frac{1}{4}$  mm), avec stratification entrecroisée et ripple-marks. Les courbes cumulatives des deux groupes de grès son très semblables; toutes montrent un bon classement et basse asymétrie, mais toutes ces courbes ont été distinguées en deux faisceaux, celui de l'Arenisca de Labor avec les courbes plus serrées. Ainsi on peut distinguer du point de vue granulométrique les deux groupes de grès. Ce critère de différenciation peut être appliqué aussi sur le terrain étant donné que la médiane de certains bancs de l'Arenisca Tierna peut atteindre 0,87 mm. Les deux niveaux de grès son séparés par quelques 16 m d'argiles, limons et grès très fins. Un autre critère de différenciation, mais moins sûr, est la présence de quelques niveaux à ciment calcaire dans l'Arenisca de Labor; ce critère on peut aussi l'appliquer sur le terrain étant donné que le pourcentage de calcaire peut atteindre parfois le 50%. Le dépôt de ces grès, correspondant du point de vue pétrographique à des orthoquartzites, eût lieu en ce qui concerne l'Arenisca de Labor dans des conditions assez constantes ce qui a permis le dépôt des 65 m des grès à caractéristiques à peu près égales, tandis que le dépôt de l'Arenisca Tierna eût lieu dans des conditions moins constants et sous l'effet des courants. Ce changement des conditions de sédimentation étant dû à une diminution dans la profondeur du bassin ce qui amènera plus tard au dépôt de charbons et à des conditions de sédimentation continentales.

## CONTENIDO

### INTRODUCCION

EL PROBLEMA ESTRATIGRAFICO DEL GUADALUPE. DEFINICION DE LA FORMACION GUADALUPE.

LA SUCESION LITOLÓGICA.

ANALISIS DE LA SERIE.

Los métodos seguidos

Las variaciones del grano medio en los bancos de arenisca.

Otras características granulométricas de los bancos de areniscas.

Las estructuras en los bancos de areniscas.

Las características de los interbancos y de los niveles finos.

La presencia de cemento calizo.

La relación framework-voids.

CONCLUSIONES. MEDIO DE DEPOSITO.

## INTRODUCCION

La formación Guadalupe se caracteriza especialmente por sus niveles de areniscas que la diferencian claramente de las otras unidades litoestratigráficas de la región de Bogotá; no obstante estos niveles de areniscas han constituido un problema al intentar establecerse la estratigrafía del Guadalupe ya que se han diferenciado mal y muchas veces se han confundido entre sí. En este trabajo se analizan las dos areniscas más superiores de la formación Guadalupe tomando como base la sucesión que da la carretera Bogotá-Choachí al empezar la bajada del páramo a Choachí, con el fin de definir sus características de modo que puedan distinguirse fácilmente en el futuro.

Para ello se han estudiado las características sedimentológicas y petrográficas de estas areniscas. Los resultados de los estudios petrográficos se dan en un trabajo de I. Zamarreño de Julivert (1962) publicado en este mismo número del Boletín de Geología.

En los análisis granulométricos y determinaciones cuantitativas al microscopio debo agradecer la colaboración del señor Manuel López, estudiante de la Facultad de Petróleos.

### EL PROBLEMA ESTRATIGRAFICO DEL GUADALUPE. DEFINICION DE LA FORMACION GUADALUPE

La formación Guadalupe está comprendida entre las formaciones Guaduas y Villeta. El límite con la formación Guaduas, es decir el límite superior, se estudia en el corte que se analiza en este trabajo, es un límite neto cuando no está tectonizado y no han existido discrepancias importantes sobre el mismo. Como límite inferior se aceptaba hasta hace poco un nivel calizo con *Exogira squamata* (Hubach 1957) que queda bastante por debajo de las areniscas que caracterizan al Guadalupe de modo que entre estas areniscas y el nivel de *E. squamata* se interponen unos cientos de metros principalmente de lutitas. Por este motivo el Guadalupe se dividió en Guadalupe Superior abarcando todos los niveles de areniscas y Guadalupe Inferior abarcando la parte lutítica, fina y de facies similar a la formación Villeta, a la que se superpone.

Recientemente la Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists ha propuesto un nuevo límite Guadalupe-Villeta (1961; Campbell 1962, pág. 20) coincidiendo con el límite entre las facies de areniscas y las facies finas. Si se acepta este límite el Guadalupe Inferior quedaría dentro de la formación Villeta y el Guadalupe quedaría reducido a lo que se llamaba Guadalupe Superior.

Este nuevo límite tiene la ventaja de ser un límite litológico neto, fácil de reconocer en el campo y además deja litológicamente definida la formación Guadalupe que constituye de este modo una verdadera unidad litoestratigráfica. Por consiguiente en este trabajo se seguirá este criterio debiendo por tanto entenderse cuando se hable de Guadalupe que se hace referencia a lo que se llamaba Guadalupe Superior.

En un trabajo anterior (Julivert 1961) se indicó ya someramente la confusión terminológica existente por lo que a las areniscas del Guadalupe se refiere. La estratigrafía del Guadalupe en sus rasgos generales se da en este trabajo, de acuerdo con él se pueden reconocer tres niveles de areniscas que se han denominado de abajo arriba: Arenisca Dura, Arenisca de Labor y Arenisca Tierna; separando las dos primeras areniscas se dispone una serie finamente estratificada de lutitas y capas silíceas de notable espesor (Julivert 1961).

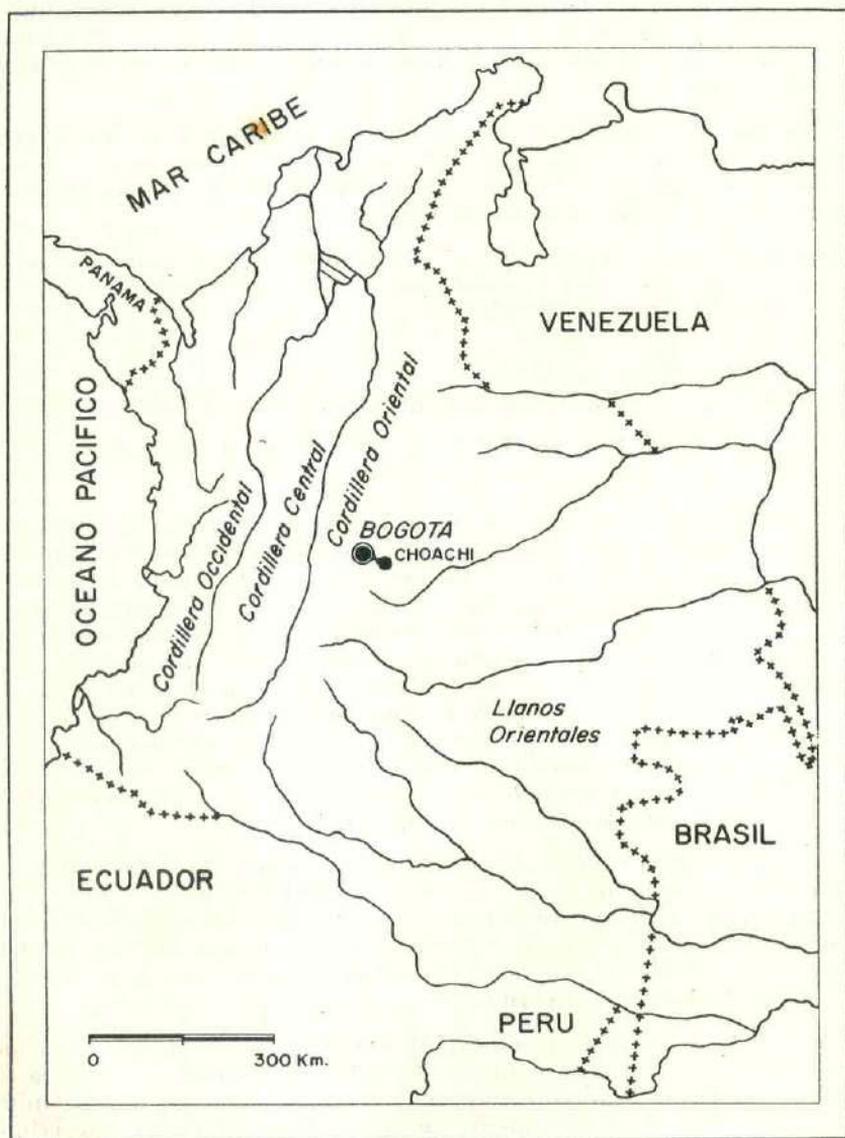


Fig. 1. — Situación del área estudiada.



Como ya se indicó en el trabajo antes citado si bien el nombre Arenisca Tierna ha sido aplicado siempre al mismo nivel, salvo en algunos casos de error manifiesto en la interpretación estratigráfica, el nombre Arenisca Dura no se ha empleado siempre en el mismo sentido, así De la Espriella (1960) en su sección Bogotá-Choachí llama Arenisca Dura a lo que aquí se llamará Arenisca de Labor.

Esta nomenclatura de las areniscas del Guadalupe está basada en las explotaciones que tienen lugar en la región de Bogotá (Julivert 1961) y debe ser considerada como una nomenclatura informal. La Arenisca Dura ha sido denominada también Miembro del Raizal (Col. Soc. P. G. G., 1961) nombre derivado de la quebrada del Raizal; esta denominación puede aceptarse como denominación formal para la Arenisca Dura.\*

En este trabajo se analiza la sucesión estratigráfica de las areniscas Tierna y de Labor y sus respectivos contactos con las unidades que las limitan (Guaduas en el techo y Nivel de Plaeners en la base).

### LA SUCESION LITOLÓGICA

La sucesión litológica detallada puede verse en la figura 2 aquí van a destacarse solo algunas características. Arenisca de Labor y Arenisca Tierna forman dos conjuntos de unos 65 y 50 m respectivamente, formados casi exclusivamente por areniscas. La base de la Arenisca de Labor es un límite neto, marcado por la aparición del primer banco de arenisca de grano fino a medio, de 1,60 m de espesor, que se apoya sobre un conjunto finamente estratificado y de grano muy fino. Sobre este primer banco, compacto y grueso de arenisca, se dispone una sucesión de bancos semejantes que forma toda la Arenisca de Labor; separando estos bancos que tienen espesores generalmente de 3 a 8 m, se encuentran finos interbancos de lutitas o areniscas de grano muy fino; tan solo hacia la parte superior de la serie aparece algún nivel importante de materiales finos y ya en el techo los bancos se hacen además de menor espesor, de este modo se pasa a un nivel de lutitas y areniscas generalmente muy finas de unos 16 m de espesor, nivel que separa al igual que en Usaquén la Arenisca de Labor y la Arenisca Tierna. La Arenisca Tierna está formada, al igual que la de Labor por una serie de bancos gruesos de areniscas separados por finos interbancos de lutitas y areniscas finísimas, tan solo en la parte basal hay alguna intercalación gruesa de materiales finos. El límite superior, es decir el contacto con el Guaduas, es bastante neto aunque menos que en otras localidades (Tunjuelito); en la parte superior de la Arenisca Tierna la estratificación se hace más fina y por consiguiente las capas de lutitas intercaladas se hacen más abundantes, no obstante puede trazarse un límite bastante neto entre Guadalupe y Guaduas coincidiendo con la aparición de intercalaciones frecuentes de lutitas. La parte basal del Guaduas, a diferencia de las areniscas del Guadalupe se caracteriza por la fina alternancia de areniscas finas o muy finas con capas de lutitas. La parte más superior de la Arenisca Tierna se caracteriza en esta región por la presencia de multitud de nódulos de hierro que pueden alcanzar incluso los 10 cm.

\* Igual que De la Espriella, la Col. Soc. Pet. Geol. Geoph., siguiendo a Bürgl, llama Arenisca Dura a lo que aquí se llama Arenisca de Labor. Aquí, igual que en el trabajo antes citado se llama Arenisca Dura a la más inferior de las areniscas del Guadalupe, es decir al miembro del Raizal, de acuerdo con el sentido original de Hubach.

## ANALISIS DE LA SERIE

*Los métodos seguidos.*—El estudio de las variaciones del grano medio a lo largo de la sucesión de las areniscas de Labor y Tierna permite llegar a interesantes conclusiones. El grano medio ha sido determinado por tamizaje en las muestras suficientemente incoherentes y por mediciones microscópicas en las más coherentes. La escala, límites y nomenclatura usados son los de Wentworth. El método usado para la determinación del grano medio al microscopio es el de Krumbein (1935).

El estudio de las variaciones de grano medio tiene interés sobre todo para los bancos de areniscas, los interbancos lutíticos no han sido tomados en consideración al construir la gráfica (fig. 2) a no ser cuando su espesor obligara a considerarlos ya como verdaderos niveles finos. En los niveles de materiales finos se han hecho determinaciones, solo de las láminas de areniscas; por debajo de 1/16 mm no se han hecho determinaciones, por lo cual la gráfica es trazada en punteado y debe ser considerada simplemente como una aproximación.

No ha sido posible obtener granulometrías por tamizaje de todas las muestras debido a la compacidad de algunas de ellas, no obstante en una buena parte de las que se han hecho granulometrías por tamizaje se han hecho también mediciones de grano medio al microscopio; los resultados obtenidos por ambos métodos están representados en la figura 2 y demuestran que son lo suficientemente próximos para que pueda construirse una gráfica alternando valores de la mediana obtenidos por tamizaje y por técnicas microscópicas, o sea que ambos tipos de valores son comparables entre sí. La coincidencia naturalmente, no es total. Las granulometrías pueden adolecer de defectos; aparte de los errores propios del método y discutidos multitud de veces, en las areniscas que se estudian en este trabajo los defectos de las granulometrías por tamizaje pueden derivar de posible rotura de granos al disgregar la arena ya que existe siempre una cierta compacidad y de la existencia de crecimientos secundarios que dan lugar a que el tamaño de grano determinado por los tamices sea en realidad algo superior al verdadero tamaño sedimentario de la arena. Por otra parte en las determinaciones microscópicas hay que tener en cuenta que el número de granos contados es enormemente inferior al de granos tamizados; por tanto es muy probable que al obtener la mediana al microscopio no sean tomados en cuenta los granos más gruesos de la arenisca, ya que siendo progresivamente más escasos, la probabilidad de que queden en la placa es progresivamente menor; lo mismo puede decirse de los finos añadiéndose para estos que por debajo de un determinado valor ya no pueden ser tenidos en cuenta en la medición microscópica. No obstante la parte eliminada por el lado fino y por el lado grueso no debe ser muy grande, sobre todo si se tiene en cuenta que se trata de areniscas de buen calibre; por otra parte los dos tipos de errores (eliminación de los extremos grueso y fino) actúan en sentido contrario, de modo que no dan lugar a una suma de errores. El método microscópico permite determinar con suficiente aproximación la mediana, a diferencia del tamaño máximo de grano que no puede ser conocido correctamente debido por una parte a la baja probabilidad de que el extremo más grueso se encuentre en la placa y por otra de que haya sido cortado según la máxima sección posible.

En los casos en que se ha obtenido la mediana por los dos métodos se ha comprobado que la diferencia de valores obtenida es muy pequeña en

relación con las variaciones de tamaño de grano que se ponen de manifiesto a través de la sucesión estratigráfica, por lo cual no afecta a los resultados y conclusiones alcanzadas.

En una buena parte de casos se ha obtenido la mediana por los dos métodos, en los casos en que se da la mediana solo por el método microscópico se debe a que la arenisca es demasiado coherente, en los casos en que solo se da la mediana obtenida por tamizaje se trata de muestras tan incoherentes que no pueden esperarse errores apreciables por este método.

*Las variaciones del grano medio en los bancos de arenisca.*—Aunque en la gráfica de la figura 2 se representa la variación de tamaño de grano teniendo también en cuenta los niveles importantes de material fino, en la descripción que sigue se consideran solo los bancos de arenisca ya que los niveles de material fino están suficientemente separados por su tamaño de grano de los bancos de areniscas como para constituir episodios que pueden ser estudiados aparte. Se prescinde también en esta descripción de la disminución de tamaño de grano representada por las muestras 434 a 439 que representan también un brusco episodio fino aunque sin llegarse a la finura de grano de los otros.

La Arenisca de Labor tiene un grano medio con valores próximos al límite entre la arenisca de grano medio y de grano fino, su calibrado, al igual que en la Tierna es siempre suficientemente grande como para que quede bien caracterizada considerando solo el valor de la mediana. A veces la mediana se coloca en todo el límite, otras veces se sitúa ligeramente dentro de la arena media y otras en la fina. Desde su base (muestra 419) hasta más arriba de la mitad de la serie el grano medio oscila entre un valor máximo de 0,315 mm (muestra 419) y un mínimo de 0,189 mm (muestra 447), las oscilaciones de tamaño de grano no muestran ninguna disposición especial, la gráfica de variaciones de tamaño es una línea ligeramente quebrada cuyo promedio es aproximadamente el límite entre grano medio y fino. El hecho de que la muestra con grano más grueso, sea la 419, en la misma base de la Arenisca de Labor y la más fina la 447, en la parte más alta de la parte de Arenisca de Labor considerada, no significa en absoluto que haya una reducción progresiva de tamaño de grano, sino que es una simple coincidencia como puede observarse en la gráfica.

A partir de la muestra 447 hacia el techo el tamaño de grano oscila más, variando entre 0,345 mm (muestra 479) y 0,148-0,133 mm (muestra 470), no obstante son pocas las muestras que están notablemente por encima de los 0,25 mm, en realidad solo las muestras 461 (0,304 mm), 463 (0,317 mm) y 479 (0,345 mm) están notablemente por encima de este valor.

Así pues, la Arenisca de Labor presenta un valor de la mediana próximo a 0,25 mm aunque desviándose ligeramente ya sea hacia el lado de la arenisca fina o el de la arenisca de grano medio, estas desviaciones no son muy grandes, siendo especialmente en la mitad inferior de la serie donde el valor de la mediana es menos variable.

La intercalación de material fino que se interpone entre las areniscas de Labor y Tierna será estudiada más adelante. Por lo que se refiere a la Arenisca Tierna, se observa en seguida que su grano es en conjunto notablemente más grueso que el de la Arenisca de Labor, y también que es mucho más variable en tamaño. El valor de la mediana oscila entre 0,132

mm (muestra 551) y 0,87 mm (muestra 518), es decir que la mediana oscila tanto dentro de la arena fina como media y gruesa llegando hasta muy cerca del límite arena gruesa y muy gruesa. No obstante son pocas las capas que se desplazan sensiblemente hacia el lado fino, como puede observarse en la gráfica; la gran mayoría de valores de la mediana quedan comprendidos dentro de la arena media o gruesa. En parte, las muestras que han dado grano fino se sitúan en el techo junto al contacto con la formación Guaduas que es en su base de grano fino a muy fino.

La formación Guaduas se separa bien de la Arenisca Tierna, de una parte por el tamaño de su grano, este se ha hecho fino quedando por debajo del tamaño de grano de la Arenisca de Labor; en la base del Guaduas no se encuentran ya los gruesos granos bien visibles, sino que las areniscas son sumamente finas y como además son notablemente cuarcíticas los granos no se distinguen a simple vista. Estas características de las areniscas ya empiezan en realidad a manifestarse en el Guadalupe pero se exageran en el Guaduas, por otra parte desaparecen los bancos gruesos de areniscas; las areniscas de la parte basal del Guaduas, aunque abundantes, suelen estar finamente estratificadas y separadas por lutitas de importancia variable, el límite Guadalupe-Guaduas señala pues el final de la sedimentación masiva de areniscas; aunque, en posición más alta dentro del Guaduas y más arriba de donde termina la columna estratigráfica que se analiza en este trabajo, se encuentran algunas intercalaciones importantes de areniscas, la más baja de las cuales se ha llamado Guía y destaca en el relieve formando una pequeña cuesta en la región que se estudia.

*Otras características granulométricas de los bancos de areniscas.*—Las curvas acumulativas trazadas para la Arenisca de Labor y la Arenisca Tierna permiten poner de manifiesto otras características, especialmente calibrado y asimetría \*. El calibrado es siempre bueno, sin que se observen variaciones significativas a lo largo de la serie, por lo cual no se ha incluido en la figura 2 ninguna gráfica al respecto, los respectivos valores del calibrado se dan en cada caso junto con la curva acumulativa. Los calibrados son tal vez ligeramente mejores en la Arenisca de Labor; por lo menos entre las muestras peor calibradas se encuentran la 520 y 525, pertenecientes a la Arenisca Tierna, pero hay que tener en cuenta que la existencia de estratificación cruzada en la Arenisca Tierna puede significar un cambio granulométrico al pasarse de una lámina a otra de modo que no puede descartarse que estas curvas representen una muestra no totalmente homogénea. La curva acumulativa de la muestra 525 confirma también esta interpretación (f. 11). Lo mismo puede decirse para las muestras con peor calibrado de la Arenisca de Labor entre las que si bien no existe estratificación cruzada, la muestra 442 se vio al microscopio que no era homogénea sino que en ella había una parte gruesa con un valor de la mediana de 0,284 mm y una parte fina separada de la primera, con un valor de 0,18 mm; la granulometría dio una mediana de 0,228 y un calibrado de 1,5 que es de los valores más bajos dentro de la Arenisca de Labor.

\* Ambos han sido calculados a partir de los valores de los cuartiles, el calibrado por la fórmula

$$\sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}} \text{ y la asimetría por la fórmula } \frac{Q_1 - Q_3}{Md^2}$$

Por lo que respecta a la asimetría es siempre escasa, aunque hay variaciones entre la Arenisca de Labor y la Tierna las curvas son bastante simétricas. En la Arenisca de Labor hay asimetría a favor de la fracción fina; aunque algunos valores se aproximan mucho a 1, y unos pocos se apartan bastante, una buena cantidad de valores se sitúan entre 0,75 y 0,90. En la Arenisca Tierna la simetría es mayor, de 17 muestras 12 tienen índices de asimetría entre 0,87 y 1,03 y de las restantes la mayoría se apartan poco de estos valores; la muestra con un índice de asimetría más lejano a 1, con un valor de 0,73, es la 525 de la que ya se ha hablado antes; es de señalar en la Arenisca Tierna la existencia de valores por encima de 1 aunque sin llegar nunca a 1,1.

Las curvas de la Arenisca de Labor y la Tierna guardan semejanza entre sí; las curvas acumulativas de la Arenisca de Labor forman un haz bastante compacto mostrando buen calibrado y escasa asimetría. La semejanza de estas curvas, en las que no se observa ninguna variación definida a través de la serie indica el mantenimiento de unas condiciones de sedimentación bastante constantes en todo el tiempo que duró la sedimentación de la Arenisca de Labor.

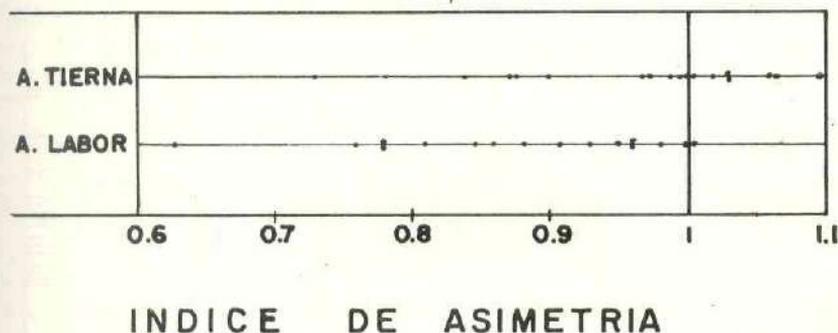
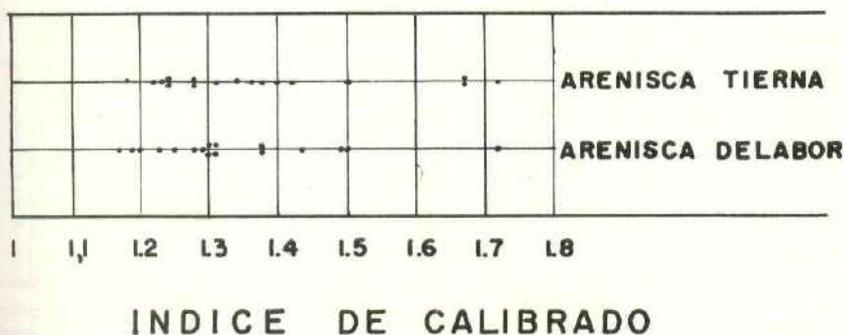


Fig. 3. — Comparación de los índices de calibrado y asimetría en las Areniscas de Labor (17 muestras), y Tierna (17 muestras).

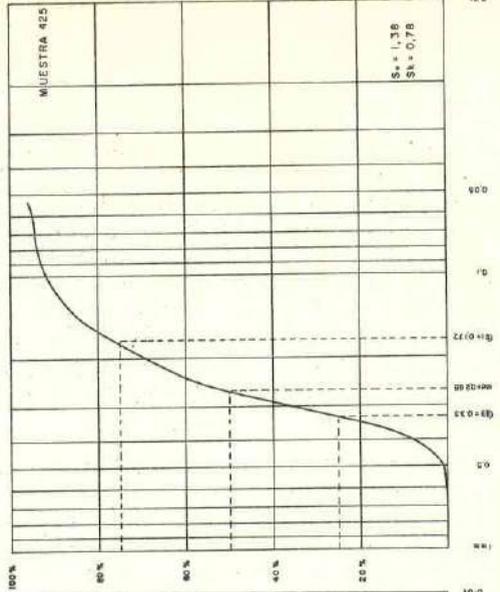
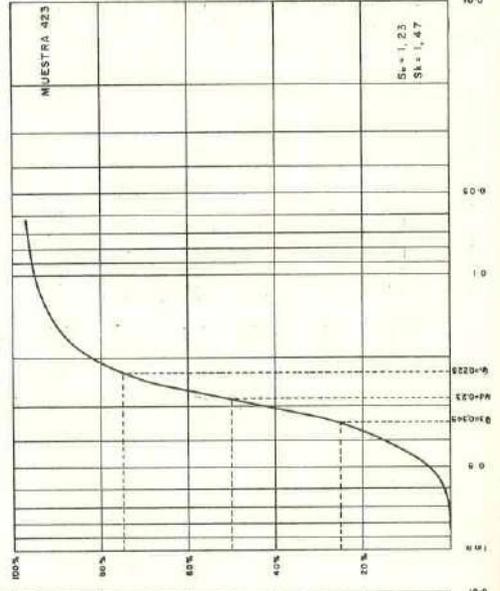
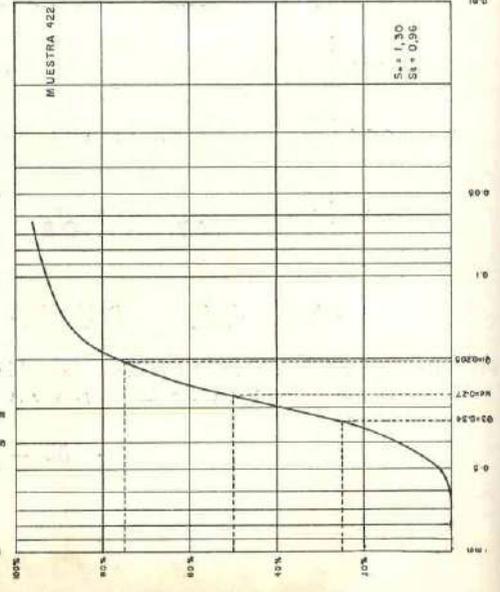
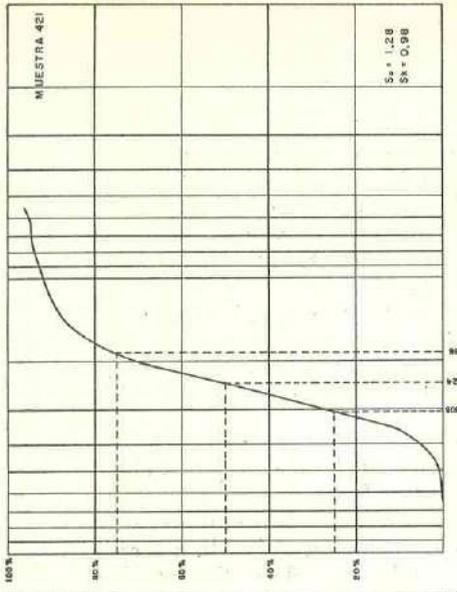
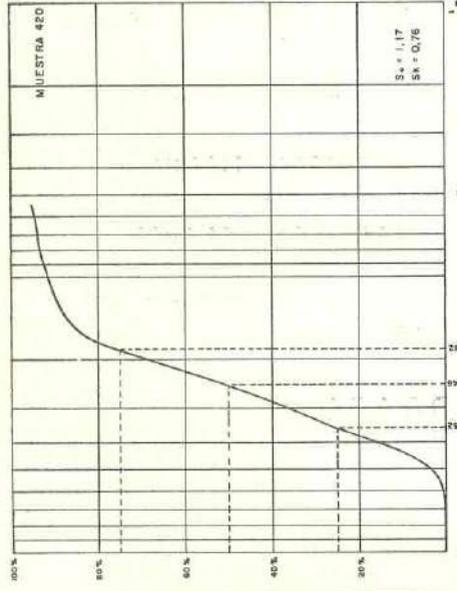
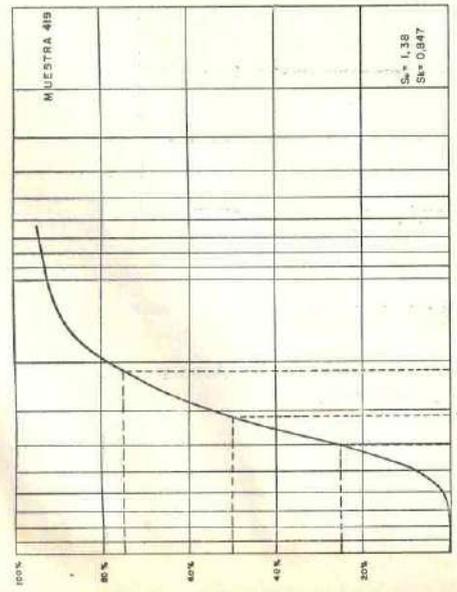


Fig. 1. Curvas acumulativas de la Armada de Labor.

Fig. 4. — Curvas acumulativas de la Arenisca de Labor.

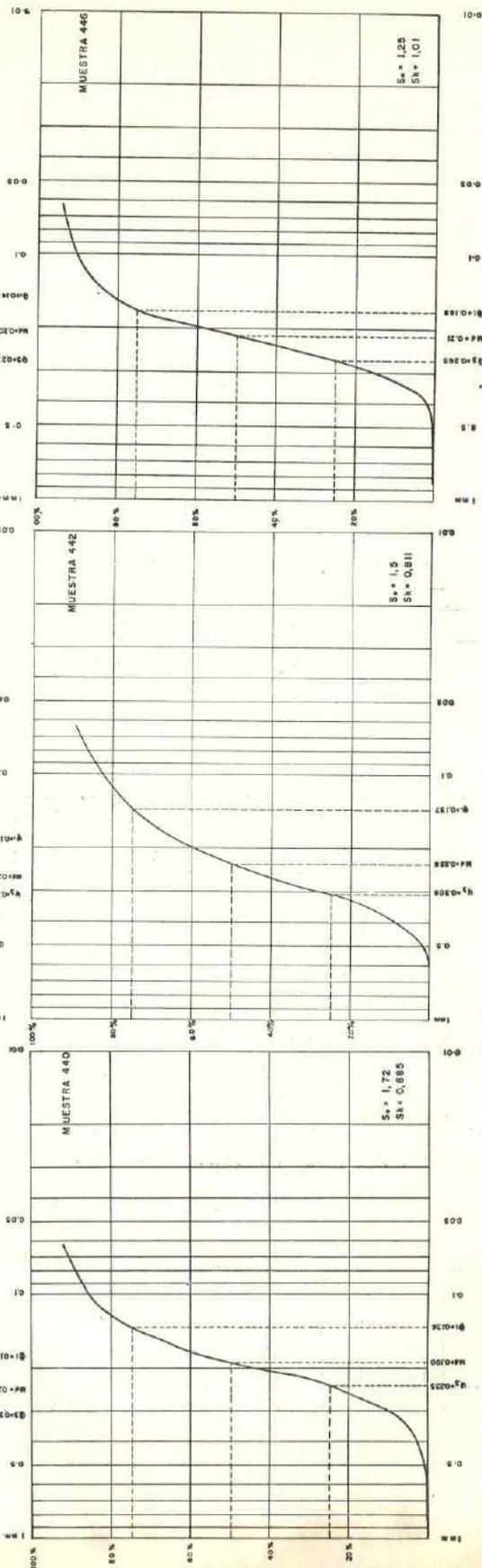
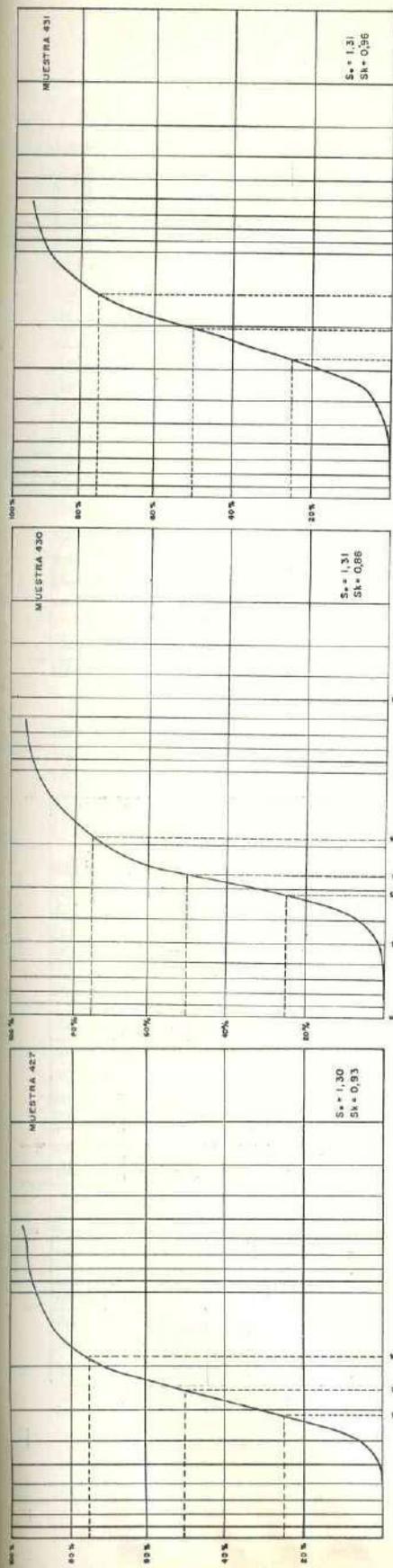


Fig. 5. — Curvas acumulativas de la Arenisca de Labor.

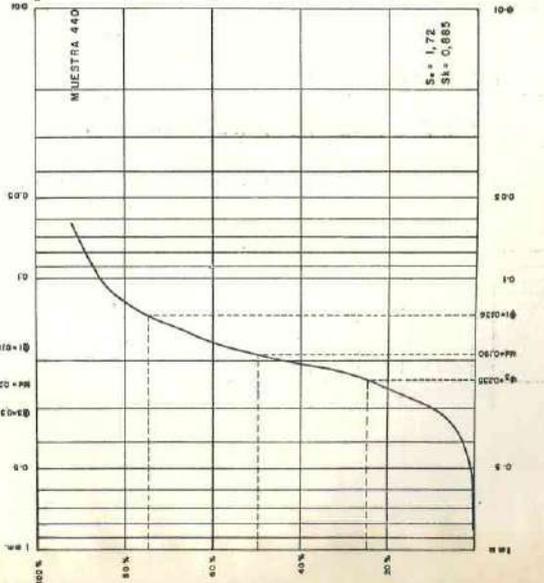
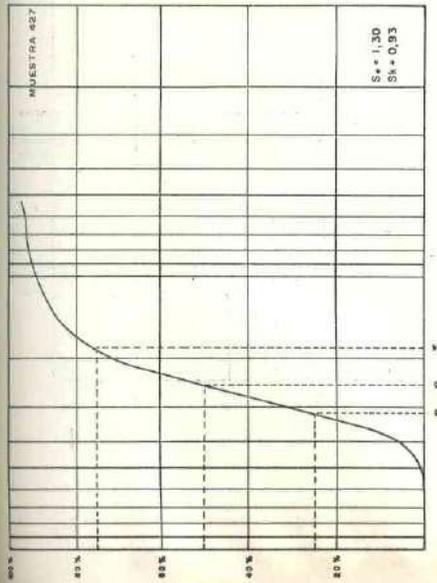
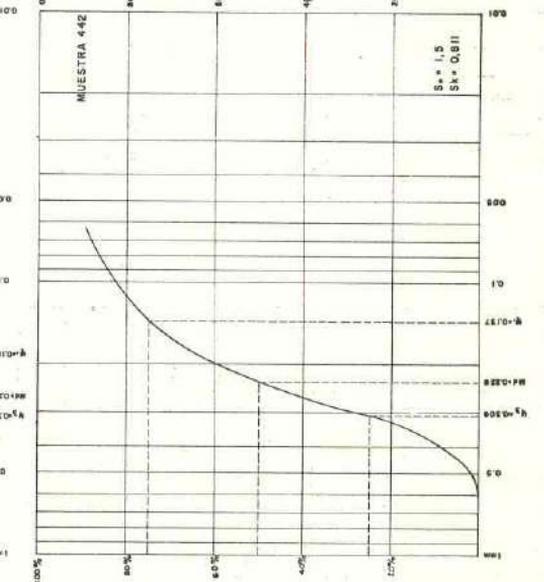
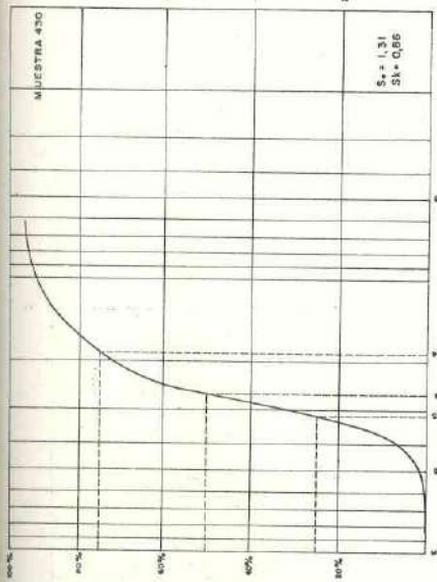
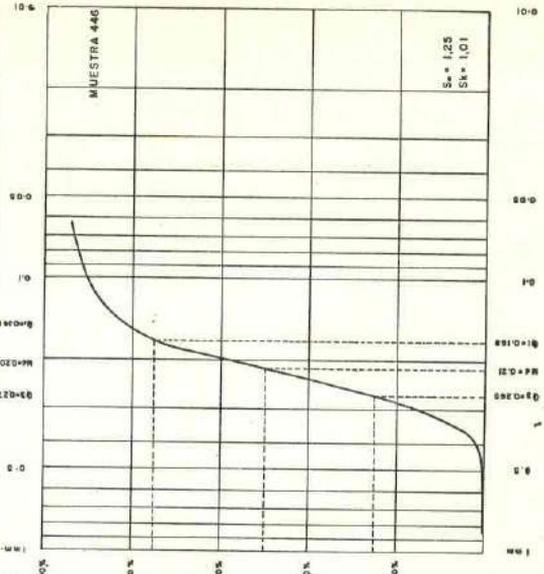
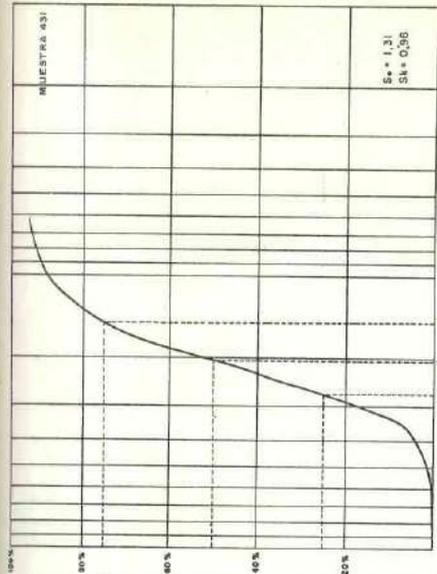
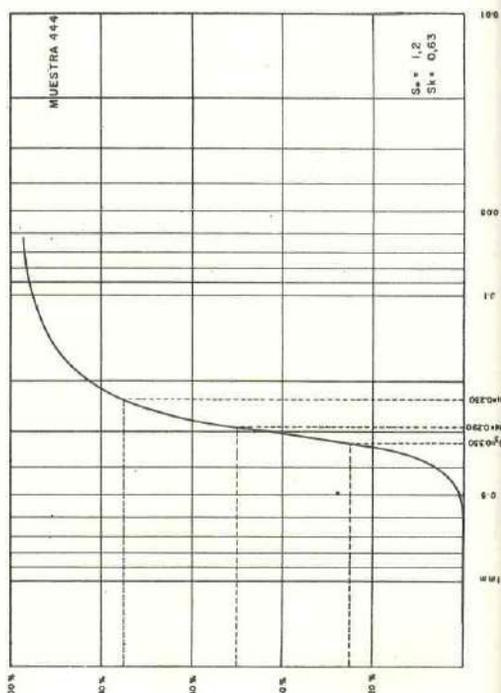
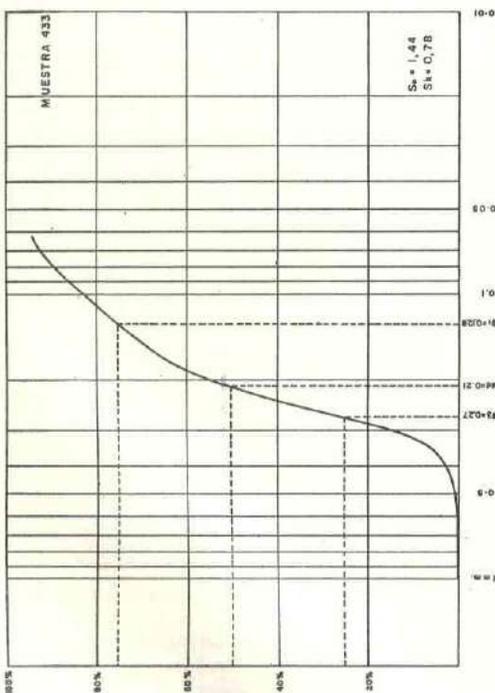
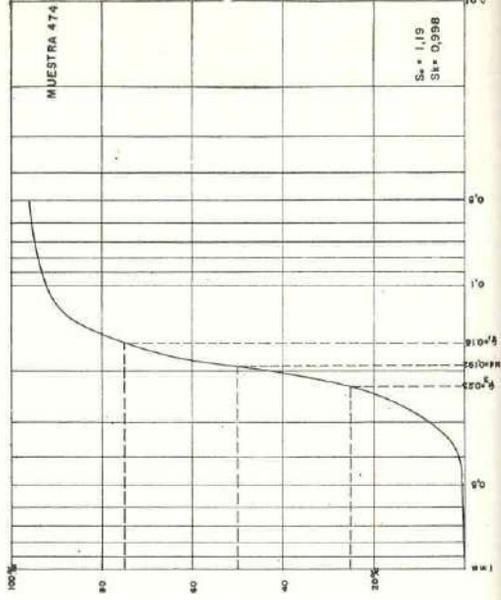
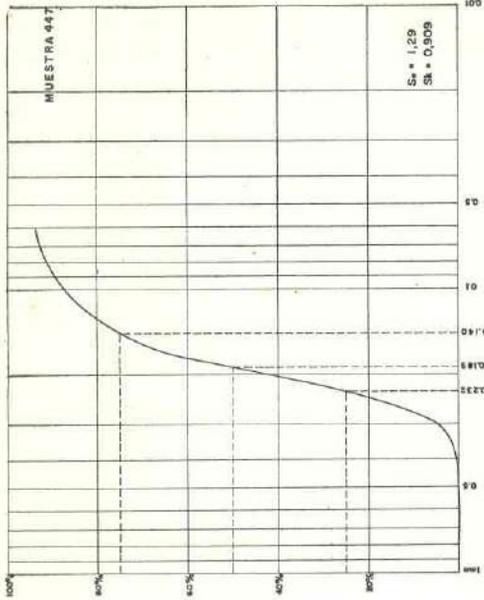


Fig. 5. — Curvas acumulativas de la Arenisca de Labor.



Por lo que respecta a la Arenisca Tierna, las curvas son también bastante semejantes, si se exceptúan las muestras antes indicadas. Esta semejanza no es solo de las curvas de la Arenisca Tierna entre sí sino aún con la Arenisca de Labor, por lo que a calibrado y a veces también a asimetría se refiere. Pero como consecuencia de la mayor amplitud de variación del grano medio las curvas correspondientes a la Arenisca Tierna forman un haz mucho más ancho que el de la Arenisca de Labor, y además situado en gran parte más a la izquierda de este, debido al tamaño de grano generalmente más grueso de la Arenisca Tierna (f. 12). Entre el haz de curvas acumulativas de la Arenisca Tierna y el de la Arenisca de Labor existe desde luego una superposición ya que las capas más finas de la Arenisca Tierna son de tamaño de grano comparable a la de Labor no obstante los dos haces son notablemente distintos como puede apreciarse en la figura. En la gráfica de la figura 12 faltan algunas curvas correspondientes a algunas de las muestras de grano más grueso de la Arenisca de Labor (muestras 479, 463, 461) y de grano más fino de la Tierna (muestras 541, 542, 550, 551), que no se han podido obtener por corresponder a muestras demasiado compactas, no obstante esto daría lugar a un pequeño aumento en la superposición de los dos haces de curvas pero no modificaría las conclusiones generales.

El buen calibrado de todas las curvas está de acuerdo con la composición de estas areniscas que las coloca claramente en el grupo de las ortocarcitas (I. Zamarreño de Julivert, 1962).

*Las estructuras en los bancos de Areniscas.*—Las estructuras sedimentarias más importantes en esta sucesión son la estratificación cruzada y los ripple-marks y son las únicas que se describirán aquí. Ambos tipos de estructuras faltan en la Arenisca de Labor y se presentan en la Arenisca Tierna.

La estratificación cruzada aparece en el primer banco de Arenisca Tierna, es decir en el más inferior y es una característica de casi todos los bancos de esta arenisca; tan solo falta en la parte más superior cerca ya del límite con el Guaduas. El espesor de las capas con estratificación cruzada es decir el tamaño de la estratificación cruzada es de 1 a 1,5 m. Los ripple-marks son también exclusivos de la Arenisca Tierna aunque son mucho menos frecuentes.

La aparición de estratificación cruzada y ripple-marks exclusivamente en la Arenisca Tierna guarda estrecha relación con las notables variaciones de tamaño de grano en esta arenisca y son consecuencia de un medio más agitado que el que caracterizó el depósito de la Arenisca de Labor. El tamaño de grano varía en la arenisca Tierna tanto de un banco a otro como dentro de un mismo banco y de una lámina a otra dentro de una misma unidad con estratificación cruzada.

La sedimentación de la Arenisca Tierna debió tener lugar en un medio agitado, con corrientes de intensidad variable.

*Las características de los interbancos y de los niveles finos.*—Separando los bancos de areniscas se disponen interbancos de material fino, aparentemente lutítico pero que observado más detenidamente o al microscopio se ve que en buena parte consta de areniscas de grano muy fino. Por lo general estos materiales de interbanco presentan una estructura formada por finas láminas de varios mm, o a veces solo de 1 mm, que representan

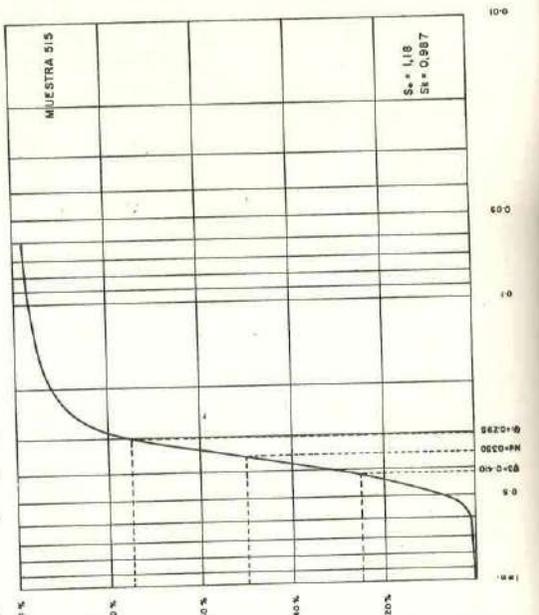
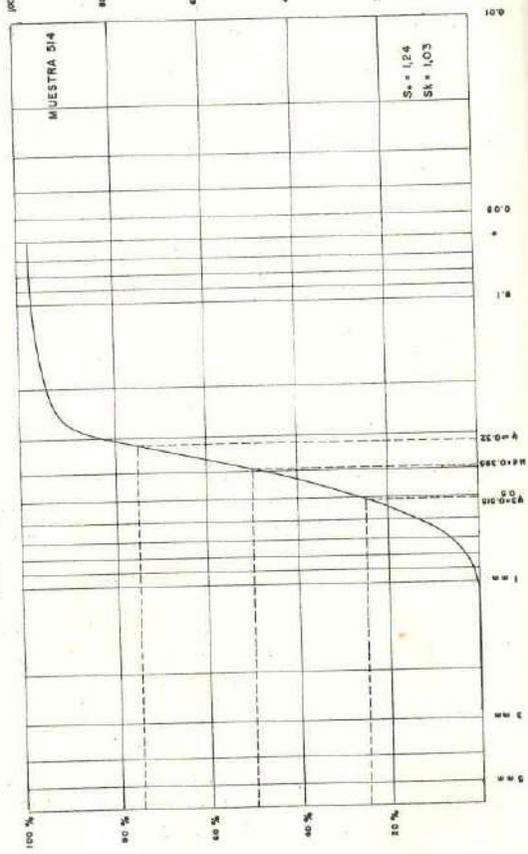
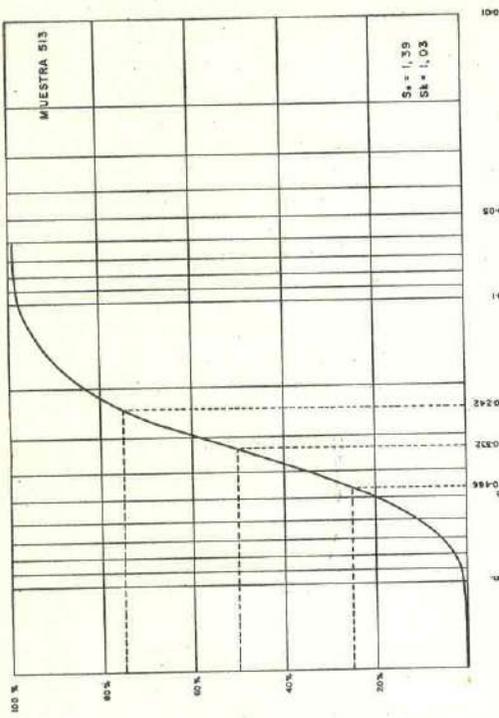
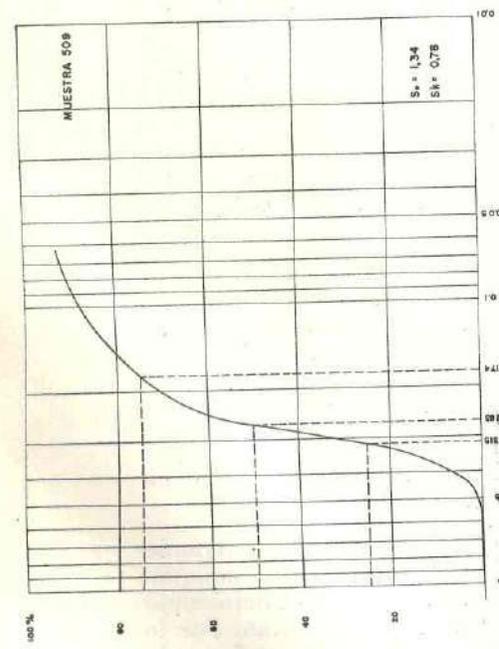
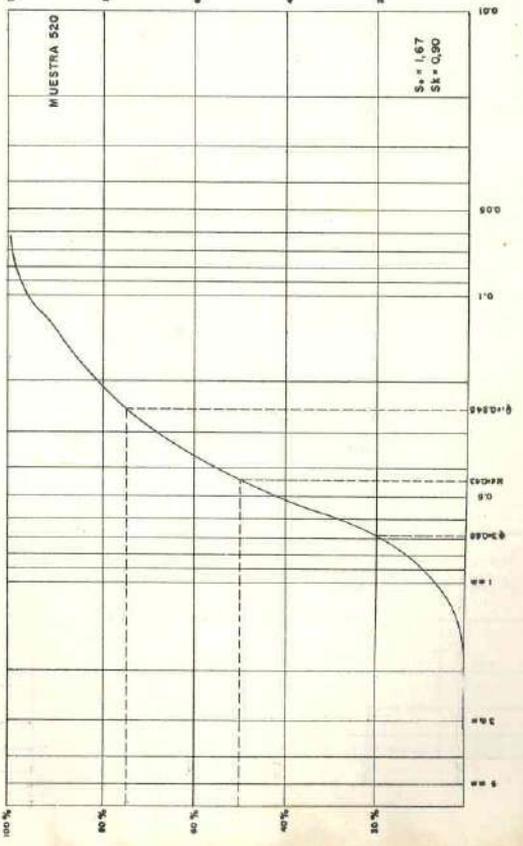
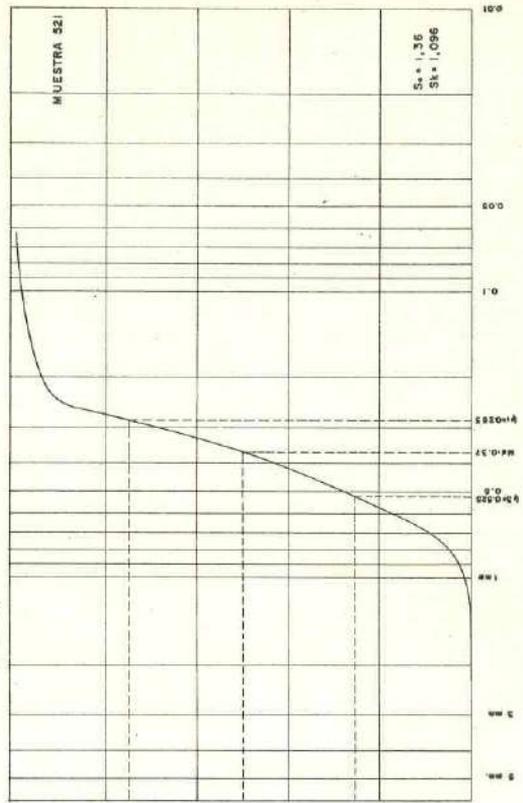
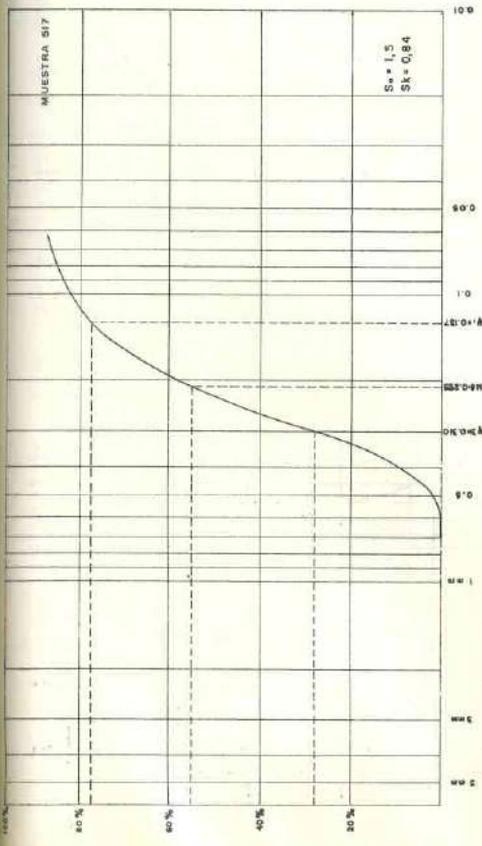
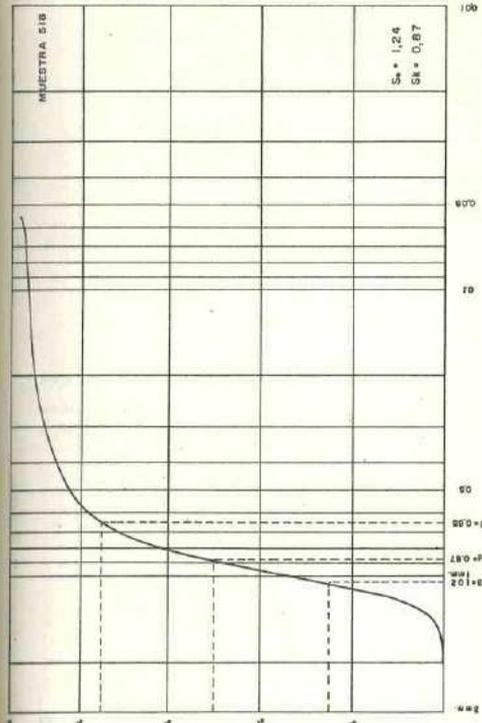


Fig. 7. Curvas acumulativas de la Academia Terrena



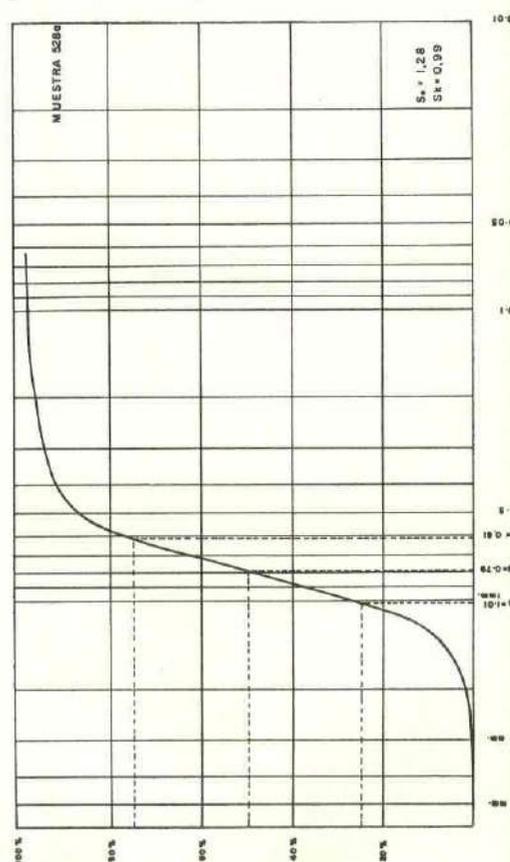
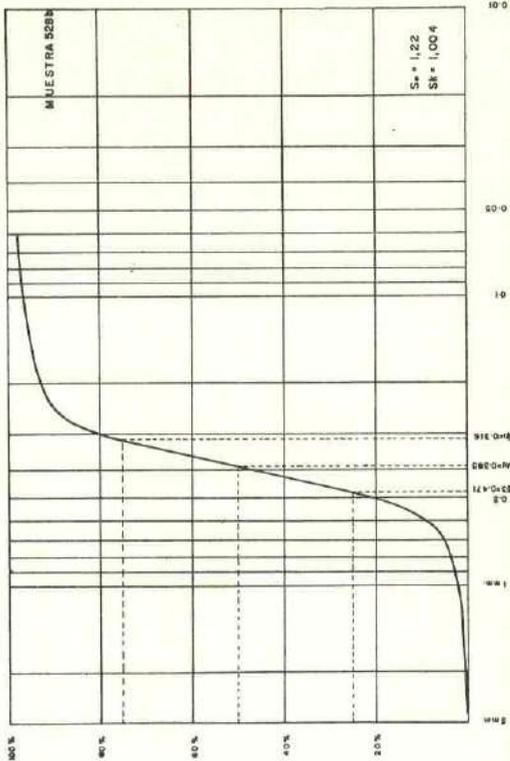
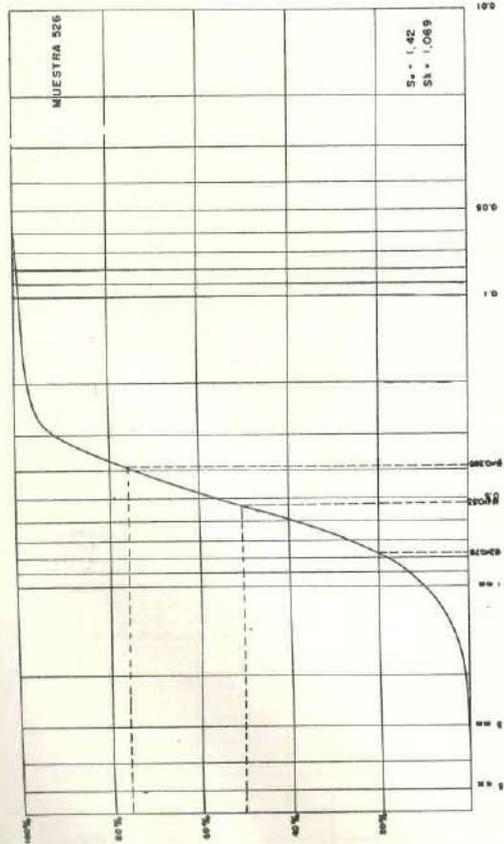
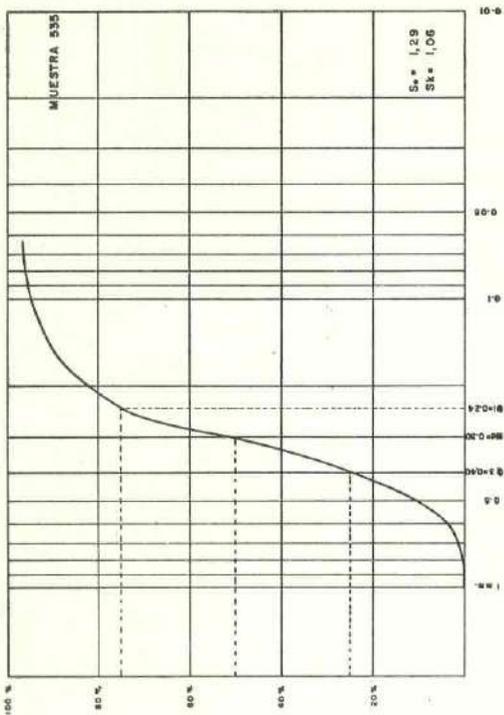
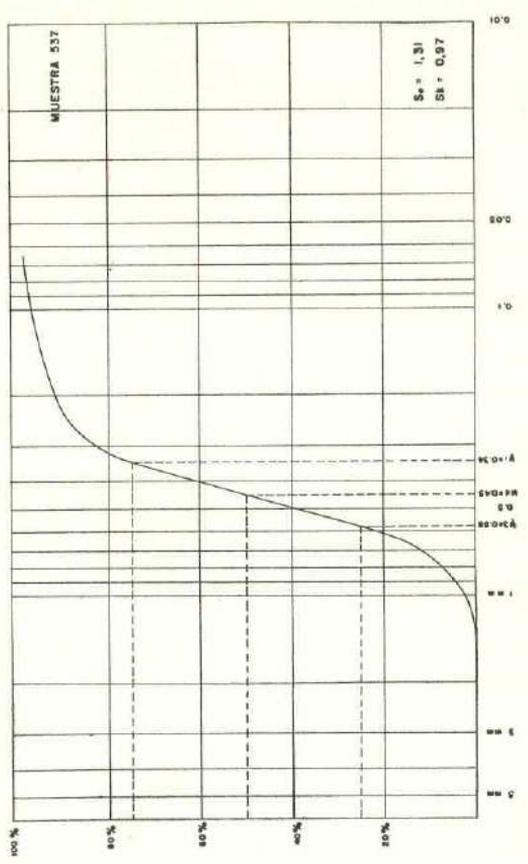
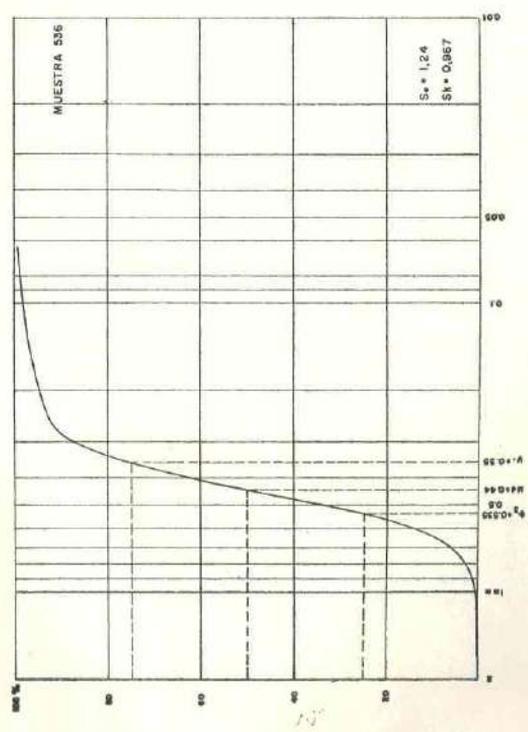
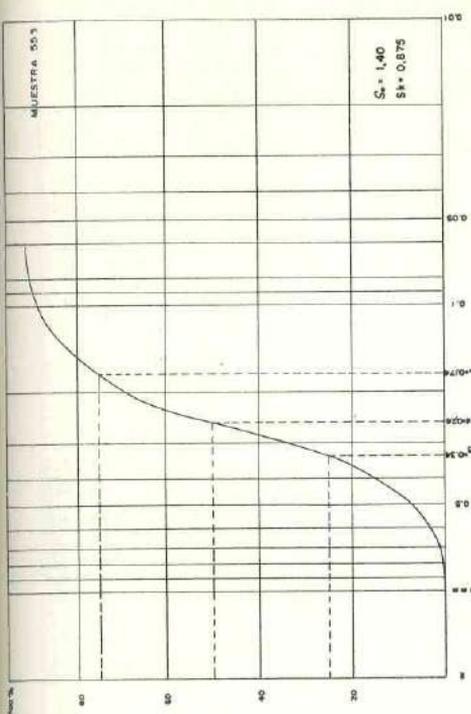
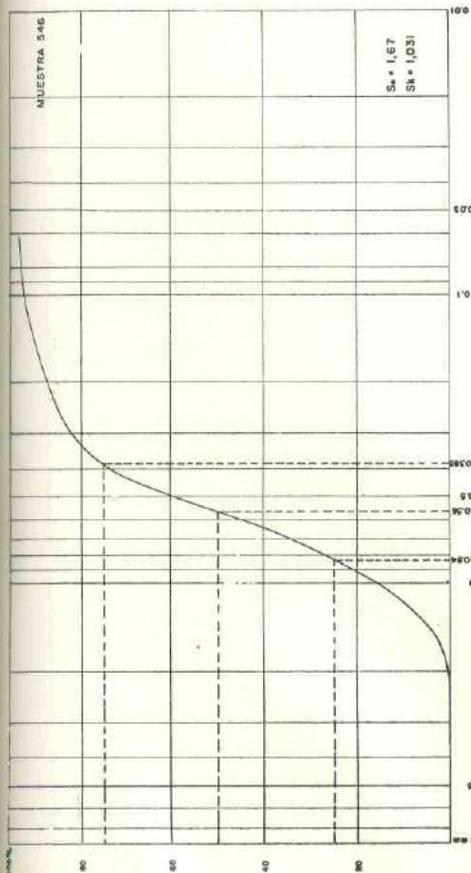


Fig. 9. — Curvas acumulativas de la Arenisca Tierra.



por lo general cambios de tamaño de grano. Los límites entre las láminas representan siempre un cambio brusco de tamaño de grano, es decir que el calibrado en cada lámina es perfecto. Estos interbancos varían en espesor entre 1 cm y 40 cm.

Esta misma estructura la presentan también los materiales finos que forman niveles de espesores mayores, incluyendo el nivel que separa las areniscas de Labor y Tierna, la única diferencia por lo que a este nivel se refiere es que en él hay intercaladas unas delgadas capas de areniscas de grano medio, estas capas alcanzan solo unos 0,30 m de espesor y no alteran el carácter del conjunto.

En esta estructura en láminas, las láminas de un grano más grueso son de color blanquezo y son discontinuas, dentro de una masa más oscura y de grano más fino.

Así pues, en su conjunto tanto Arenisca de Labor como Arenisca Tierna están formados por una serie de bancos gruesos de areniscas que representan una sedimentación detrítica intensa y separándolos unos interbancos que deben representar períodos de interrupción en el depósito de las areniscas y durante los cuales se depositó un material mucho más fino, que bajo el efecto de una cierta agitación del medio se depositó en una serie de láminas lenticulares perfectamente calibradas. Separando los dos grandes conjuntos de arenisca se depositó un espesor mucho mayor de material fino (16 m) testimoniando un período de interrupción del depósito de arenas de una cierta importancia.

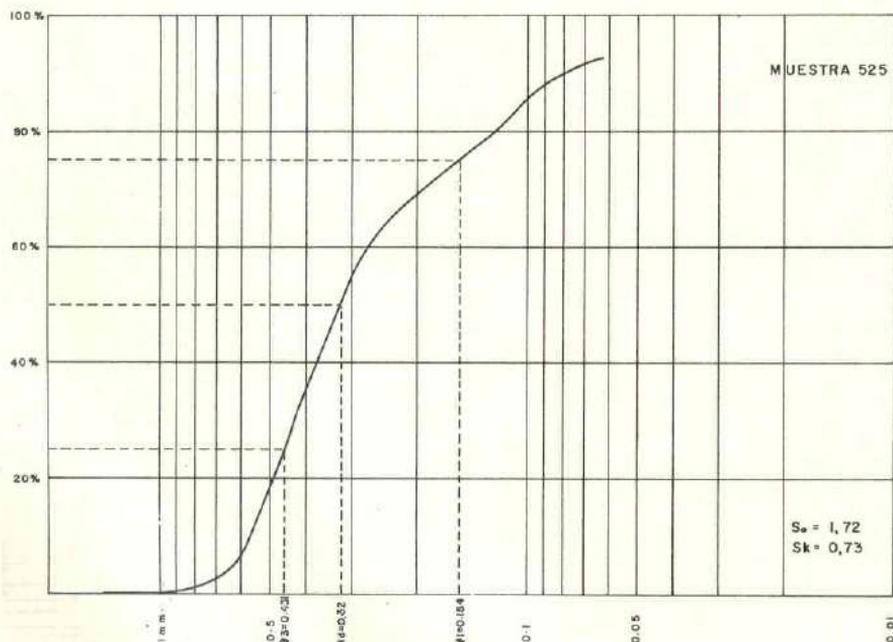


Fig. 11. — Curva acumulativa de la muestra 525, de la Arenisca Tierna; esta muestra probablemente no es completamente homogénea.

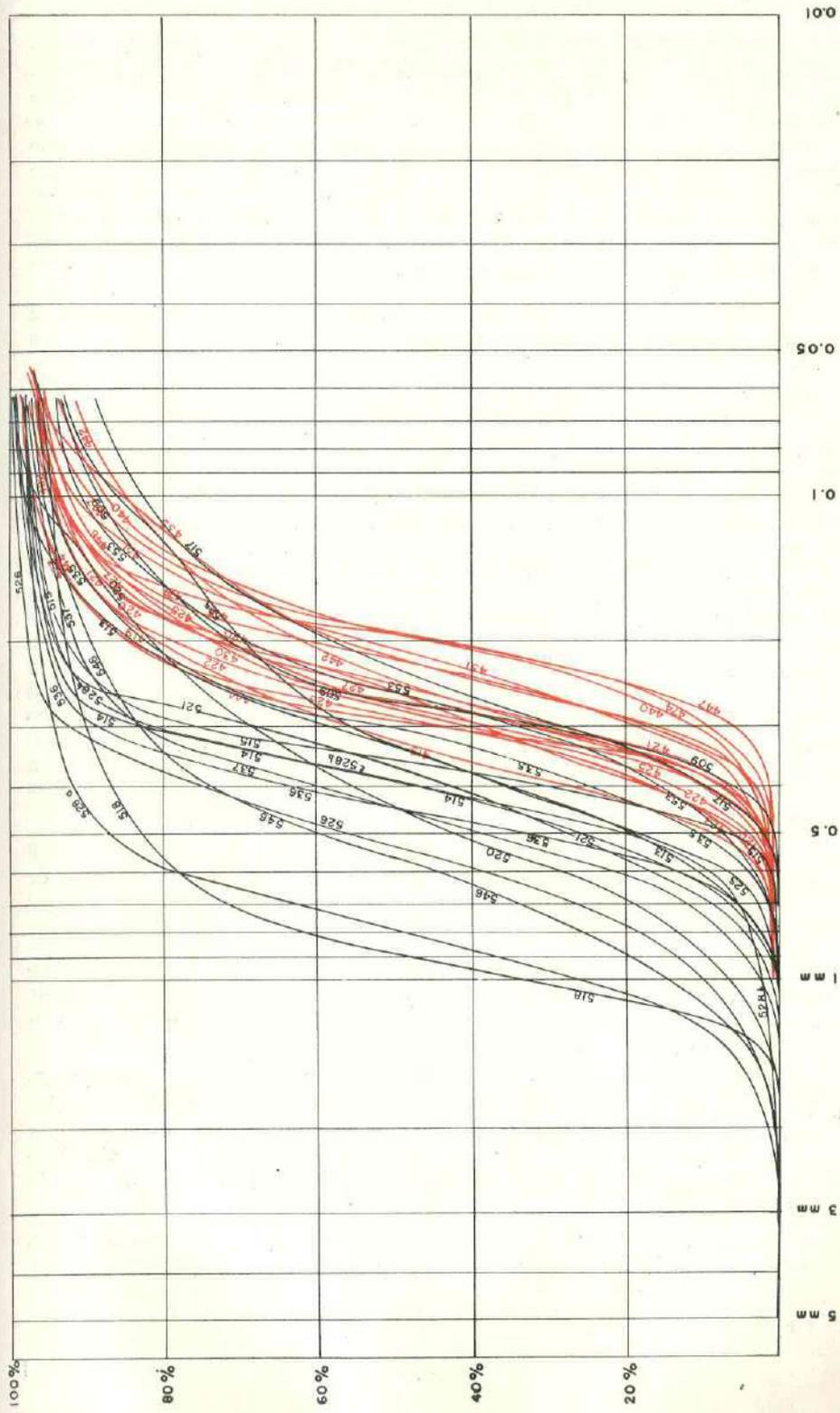


Fig. 12. — Comparación de las curvas acumulativas de las areniscas de Labor y Tierna. En negro la Arenisca Tierna, en rojo la Arenisca de Labor.

*La presencia de cemento calizo.*—Sobre los cementos calizos de las areniscas se trata en el trabajo ya citado de I. Zamarreño de Julivert (1962), aquí se insistirá solamente en su aspecto estratigráfico. Los porcentajes completos de las muestras con cemento de calcita pueden verse en el trabajo de I. Zamarreño de Julivert (1962). Este tipo de cementos se encuentran sobre todo en la Arenisca de Labor, especialmente en la mitad superior del conjunto aunque a distancia del techo. La muestra más inferior con cemento calizo es la 441 con un 7,65% de calcita\*; no obstante el cemento calizo se presenta aquí en poca cantidad y aislado en la serie. Más arriba se presenta un banco en el que los cementos calizos adquieren bastante importancia llegando hasta el 43,99% (muestra 452) y el 48,36% (muestra 453), en este banco hay un incremento de cemento calizo hacia el techo aunque la muestra 454 tomada en el mismo techo manifiesta una cierta disminución (22,63%); de todos modos las tres muestras más altas dentro del banco presentan abundante cemento calizo mientras en las más bajas lo hay escaso o incluso falta en algunos casos (muestras 448 y 450).

Más arriba hay un nuevo banco donde aparece cemento calizo, se trata del banco inmediatamente superior, separado de este por 1,60 m de materiales finos; pero esta vez el cemento calizo se dispone en una forma especial pues mientras en la base del banco se encuentra en forma de cemento distribuido homogéneamente por toda la arenisca, y en proporción escasa (muestra 459, en la base, 9,66% de calcita, muestra 460 sin calcita), aumentando hacia arriba (muestra 461 con un 12,49%; muestra 462 con un 22,44%), en la mitad superior del banco el cemento calizo se dispone en nódulos dentro de la masa de arenisca. Estos nódulos de arenisca con cemento calizo forman dos niveles hacia el techo del banco y alcanzan elevadas proporciones de calcita. La muestra 463, que corresponde a un nódulo del nivel inferior tiene un 45,86% de calcita y la 464 que corresponde a uno del nivel superior tiene un 39,41%. Por fuera de los nódulos la arenisca no tiene cemento de calcita. Estos nódulos destacan bien en el campo y quedan a veces formando entrante en la capa debido a disolución.

Vuelve a presentarse calcita en una capa diferenciada (muestra 478 con un 38,20% y 479 con un 26,56%) en la base de un banco grueso de arenisca sin cemento calizo, la capa basal con calcita tiene 0,70 m y el banco de arenisca 5,30 m.

Como se ha visto la proporción de calcita se aproxima a veces en volumen, al 50% aunque queda siempre por debajo, una tal proporción de calcita ha permitido en algunos puntos el desarrollo de incipientes formas carsticas del tipo de lenar.

Es interesante señalar en la Arenisca de Labor como la presencia de cemento de calcita abundante, lo cual tiene lugar en tres niveles, coincide con los tres puntos en que el tamaño de grano aumenta anormalmente por encima del promedio. Por el momento no se puede decir qué significación tiene esta relación entre cemento de calcita y aumento del tamaño de grano.

En la Arenisca Tierna vuelven a presentarse algunos cementos de calcita, y también hacia la parte superior, pero siempre en proporción muy

\* Porcentajes en volumen.

escasa. Solo en las muestras 552 y 554 se han encontrado cementos de calcita y en una proporción baja (10% o menos), aunque los porcentajes exactos no se pueden conocer por estar la calcita muy mezclada con hierro. En el nivel fino de separación entre las dos areniscas se ha encontrado calcita en la muestra 491 pero en relación con fragmentos fósiles.

Así pues, por lo menos en la zona al W de Choachí los cementos calizos están en relación con la Arenisca de Labor, aunque se encuentran solo en niveles muy limitados dentro de la serie.

*La relación framework-voids.*—A lo largo de la columna estratigráfica la relación entre granos (incluyendo los crecimientos secundarios) e interespacios (incluyendo espacios ocupados por cualquier tipo de cemento y por pequeños nódulos) sufre algunas variaciones. Es evidente que de estas variaciones no pueden sacarse conclusiones inmediatas; la relación entre framework y voids puede variar según diversos factores, que esencialmente son: según que los granos estén en contacto o estén más o menos flotantes en un cemento, según el tipo de empaquetamiento que tengan los granos en contacto y según el grado de crecimiento secundario que hayan sufrido.

En la gráfica se observa, por lo que a la Arenisca de Labor se refiere una cierta constancia en el porcentaje de framework y de voids, el espacio ocupado por los granos varía alrededor del 80%, los interespacios están ocupados sobre todo por cementos ferruginosos y matriz arcillosa (I. Zamarreño de Julivert, 1962); las únicas variaciones notables se refieren a los tres niveles con cemento calizo en los cuales se obtienen los valores mínimos de porcentaje de framework, esto es debido a que los granos se encuentran más espaciados presentándose en algunos casos flotantes en el cemento, aunque en otros casos se mantienen en contacto (I. Zamarreño de Julivert, 1962). En la Arenisca Tierna, al contrario de lo que podía parecer por el hecho de ser por lo general más fácilmente disgregable, el porcentaje de interespacios es ligeramente menor. Los granos forman en la parte baja entre el 82 y el 87%, salvo unas pocas excepciones. Hacia la parte superior los interespacios disminuyen notablemente, coincidiendo con una compacidad mucho mayor de las areniscas, en relación con fenómenos de crecimiento secundario.

En el Guaduas se llega al máximo en la desaparición de interespacios, las areniscas son cuarcíticas, con los granos bien indentados entre sí y como consecuencia se alcanzan valores del 95% de framework.

## CONCLUSIONES. MEDIO DE DEPOSITO

Las areniscas de Labor y Tierna, de la formación Guadalupe pueden distinguirse bien por sus características litológicas.

La Arenisca de Labor está formada por una serie de bancos gruesos de areniscas cuyo grano medio oscila poco alrededor de los 0,25 mm; la Arenisca Tierna en cambio es de grano más grueso y presenta menos constancia en el tamaño de grano, el cual queda generalmente comprendido dentro de la arena media y arena gruesa.

Tanto la Arenisca de Labor como la Tierna se caracterizan por su buen calibrado y escasa asimetría como corresponde a areniscas del tipo de las ortocarcitas.

Las curvas acumulativas de la Arenisca de Labor se disponen en un haz apretado y son muy semejantes entre sí, las de la Arenisca Tierna forman un haz más amplio desplazado en parte respecto al primero, es decir que ambas areniscas se diferencian bien granulométricamente.

La Arenisca Tierna presenta estratificación cruzada en casi todo su espesor y ripple-marks en menor abundancia; ambas estructuras faltan en la Arenisca de Labor.

La Arenisca de Labor presenta en algunas capas estrechas, cementos de calcita que pueden llegar casi al 50%, estos cementos se encuentran en tres niveles hacia la parte superior de la Arenisca de Labor coincidiendo con un tamaño mayor de grano. Los cementos calizos son raros en la Arenisca Tierna y solo alcanzan bajas proporciones.

La Arenisca de Labor se ha depositado bajo unas condiciones constantes de relativa poca agitación si se compara con la Arenisca Tierna que se depositó en un medio más agitado y bajo el efecto de corrientes de intensidad variable y llegada al área de depósito de material más grueso. Este cambio de condiciones desde la Arenisca de Labor a la Arenisca Tierna puede, tal vez ser debido a una disminución en la profundidad, que conducirá a una pérdida progresiva de las condiciones marinas dando lugar a la aparición de carbones en el Guaduas y más arriba a condiciones de depósito continentales.

#### BIBLIOGRAFIA

- CAMPBELL, C. J., 1962. — A Guide Book describing a section through the Cordillera Oriental of Colombia between Bogotá and Villavicencio, *Col. Soc. Petr. Geol. Geoph., IV Ann. Field. Conf.*, 29 pp., 1 lám., f. t., Bogotá.
- COLOMBIAN SOC. PETR. GEOL. AND GEOPH., 1961. — Second Ann. Field. Conf., 29 pp., 10 fs., Bogotá.
- DE LA ESPRIELLA, R., y VILLEGAS, 1960. — Geología de la carretera Bogotá-Chochí. *Serv. Geol. Nal.*, informe 1356 (inédito), Bogotá.
- HUBACH, E., 1957. — Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. *Bol. Geol., Inst. Geol. Nal.*, v. 5 n. 2, pp. 93-112, 3 ls., Bogotá.
- JULIVERT, M., 1961. — El papel de la gravedad y la erosión en las estructuras del borde W de la Sabana de Bogotá, *Boletín de Geología*, Univ. Ind. Santander, n. 8, pp. 5-20, 8 fs., Bucaramanga.
- KRUMBEIN, W. C., 1935. — Thin section mechanical analysis of indurated sediments, *Journ. Geol.*, v. 43, pp. 482-496, Chicago.
- ZAMARREÑO DE JULIVERT, I., 1962. — Estudio petrográfico de la parte alta de la formación Guadalupe (cretácico superior) al E de Bogotá, *Boletín de Geología*, Univ. Ind. Santander, n. 10, pp. 55-61, 6 ls., 1 tbl., Bucaramanga.

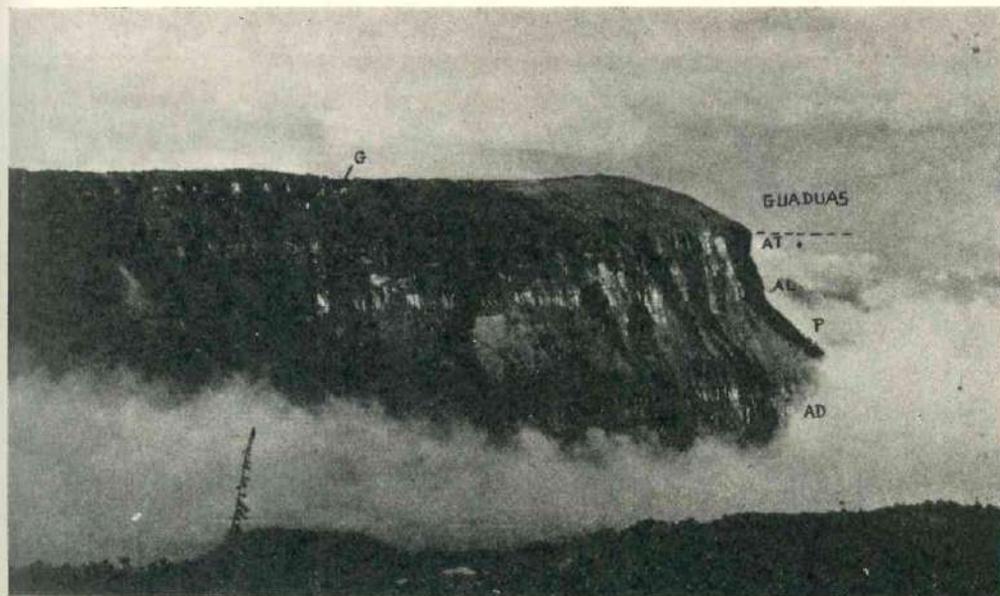


Lámina 1; Foto 1. — Cuestas de las areniscas del Guadalupe sobre Choachí. Pueden observarse dos cuestas; la inferior, casi tapada por la niebla, corresponde a la Arenisca Dura (miembro del Raizal), la superior está formada por las areniscas de Labor y Tierna que forman una sola gran cuesta muy ligeramente dividida en dos por el nivel de 16 m de materiales finos que separa ambas areniscas. La pendiente que separa las dos grandes cuestas está formada por el nivel arcilloso y silíceo que se ha llamado Nivel de Plaeners. El límite Guaduas-Guadalupe está marcado por el techo de la cuesta superior, es decir, por el techo de la Arenisca Tierna. Una pequeña cuesta dentro del Guaduas está formada por la arenisca Guia. AD, Arenisca Dura; P, Nivel de Plaeners; AL, Arenisca de Labor; AT, Arenisca Tierna; G, Guia.



Lámina I; Foto 2. — Carretera de Bogotá a Choachí, en el lugar donde se tomó la sucesión estratigráfica que se estudia. Pueden verse las areniscas de Labor y Tierna, separadas por el nivel lutítico, y también el límite Arenisca Tierna - Guaduas.



Lámina II; Foto 1. — Arenisca de Labor en gruesos bancos separados por interbancos finísimos de lutitas y areniscas muy finas. Los números corresponden a la numeración de las muestras en la columna estratigráfica.



Lámina II; Foto 2. — Nivel de material fino que separa las areniscas de Labor y Tierna. Los números corresponden a la numeración de las muestras en la columna estratigráfica.



Lámina III; Foto 1. — Estratificación cruzada en la Arenisca Tierna. Carretera Bogotá-Choachi. Los números corresponden a la numeración de las muestras en la columna estratigráfica.

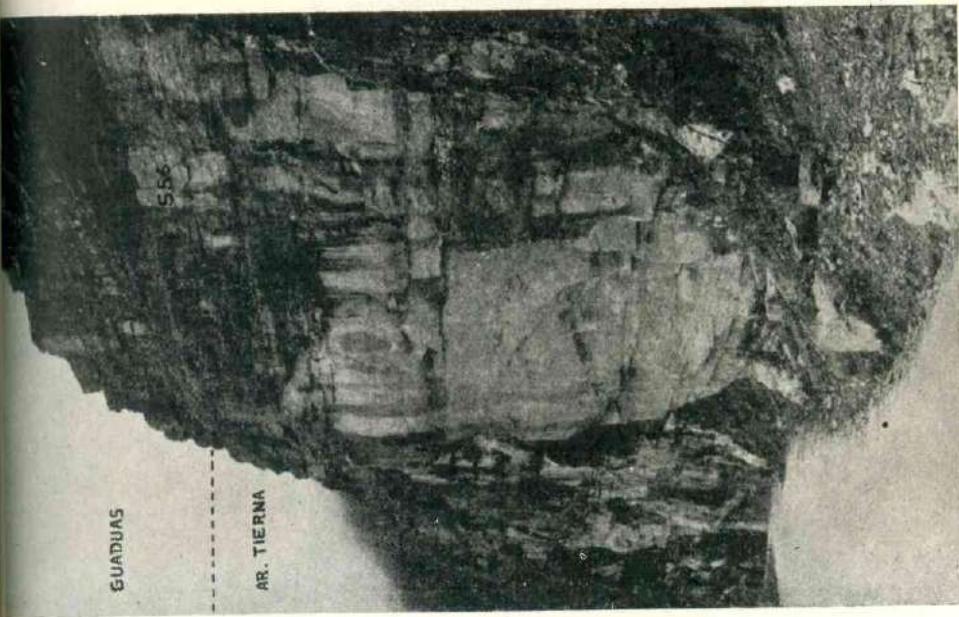
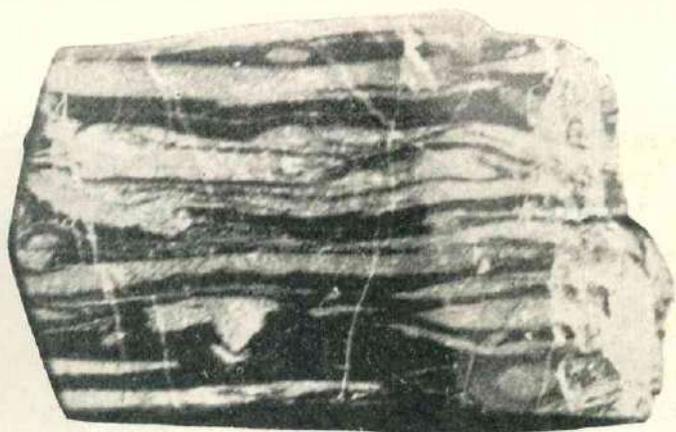
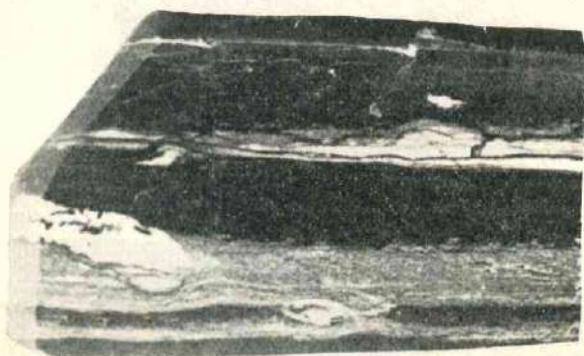


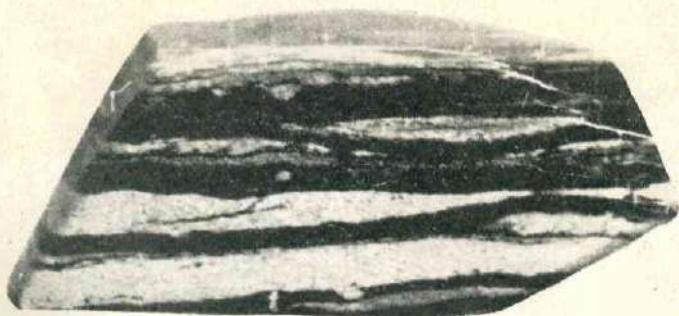
Lámina III; Foto 2. — Limite Guaduas-Guadalupe en la carretera a Choachi. Puede observarse la parte superior más estratificada de la Arenisca Tierna y por debajo los gruesos bancos de arenisca separados por finos interbancos, que caracterizan la mayor parte de esta arenisca.



0 1 cm

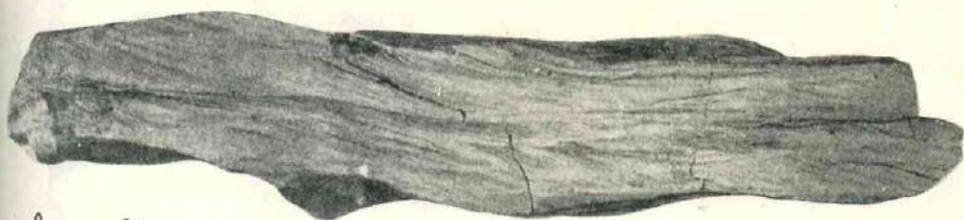


0 1 cm

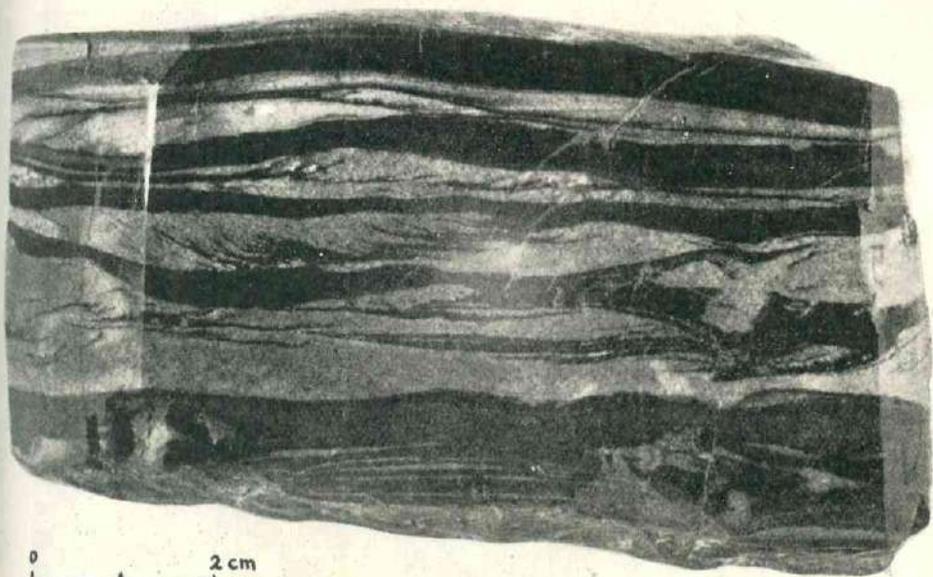


0 1 cm

Lámina IV. — Estructuras en los niveles de materiales finos. Las láminas más claras corresponden a arenas de grano muy fino y las más oscuras a limos o arcillas. En la parte superior muestra 507; en la parte inferior muestra 492; ambas del nivel de materiales finos que separa las areniscas Tierna y de Labor. En el centro muestra 519, correspondiente a una intercalación de material fino en la parte baja de la Arenisca Tierna.



0 2 cm



0 2 cm

Lámina V. — Parte superior, capa de arenisca cuarcítica de grano muy fino de la formación Guaduas, (muestra 560) con estratificación cruzada. Parte inferior, microestratificación cruzada en las láminas de arenisca de grano muy fino, de la parte superior del nivel lutítico que separa la Arenisca Tierna de la de Labor (muestra 507).

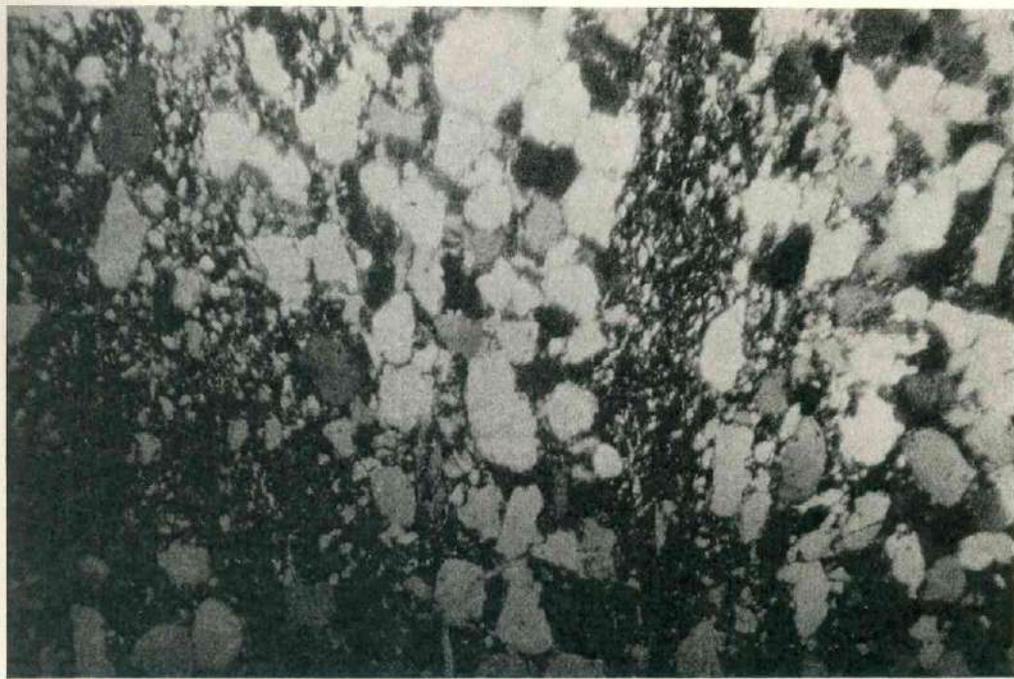
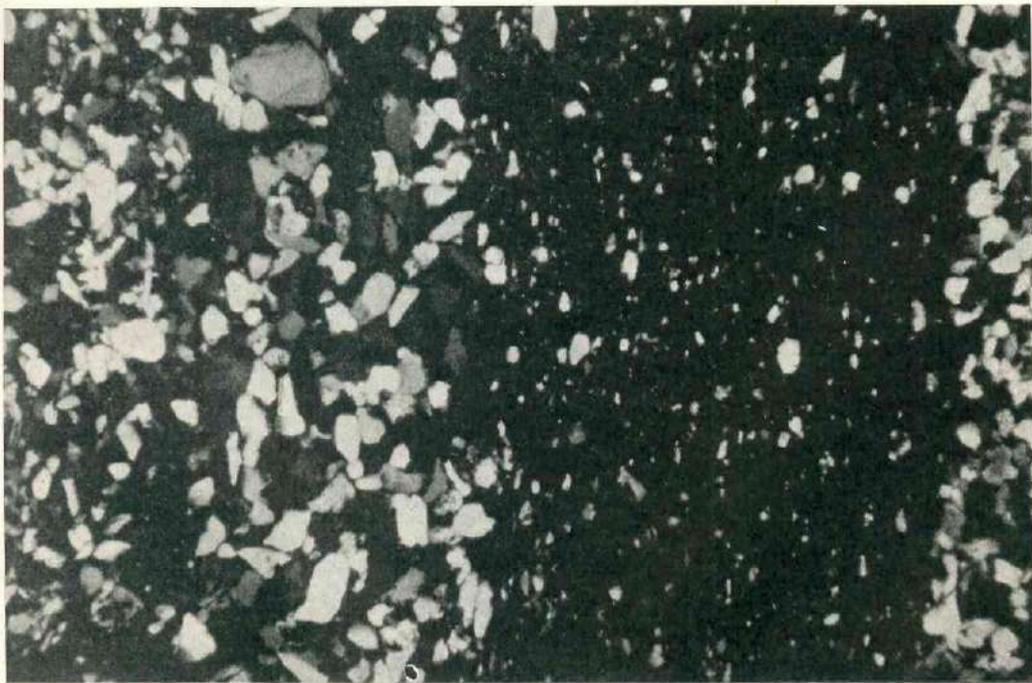


Lámina VI; Fotos 1 y 2. — Microfotografía de las láminas de areniscas finísimas y lutitas mostrando la perfecta separación granulométrica entre las distintas láminas. A la izquierda muestra n. 492, a la derecha muestra n. 504; ambas del nivel fino que separa