

BOLETÍN  
DEL  
INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

**BOLETÍN**

DEL

**INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO**

DE

**ESPAÑA**



---

TOMO LXXVII

---

MADRID  
TIP.-LIT. COULLAUT  
MANTUANO, 49  
1966

El Instituto Geológico y Minero de España hace presente que las opiniones y hechos consignados en sus Publicaciones son de la exclusiva responsabilidad de los autores de los trabajos.

Depósito legal. M. 3.279 - 1958

## INGENIEROS DE LA PLANTILLA DEL INSTITUTO

*Director:* Ilmo. Sr. D. Félix Aranguren Sabas (en comisión).

*Subdirector:* Excmo. Sr. D. José Cantos Figuerola y Sainz de Carlos.

*Vocal:* Excmo. Sr. D. Juan Manuel López de Azcona.

- M. I. Sr. D. Jorge Doetsch Sundheim.
- Ilmo. Sr. D. Augusto de Gálvez-Cañero y González Luna.
- Sr. D. José María Fernández Becerril.
- Sr. D. Joaquín Borrego y González.
- Sr. D. Juan Pérez y Regodón.
- Ilmo. Sr. D. Juan Antonio Comba y Ezquerro.
- Sr. D. Enrique Dupuy de Lôme y Sánchez Lozano.
- Sr. D. Antonio Marín de la Bárcena y Cantagrell.
- Sr. D. Tirso Febrel y Molinero.
- Sr. D. Joaquín del Valle de Lersundi.
- Sr. D. Manuel María Alvarado y Arrillaga.
- Sr. D. Juan Enrique Coma y Guillén.
- Sr. D. Emilio Trigueros y Molina.
- Sr. D. Agustín Navarro y Alvargonzález.
- Sr. D. Indalecio Quintero y Amador.

*Secretario:* Sr. D. Luis Badillo y Díez.

*Auxiliar:* Ilmo. Sr. D. Manuel Zaloña y Bances.

- Sr. D. Manuel López Linares y García.
- Sr. D. José Suárez Feito.
- Sr. D. Carlos Villalón y Dávila.
- Sr. D. Antonio Quesada y García.
- Sr. D. Vicente Pastor y Gómez.
- Sr. D. Félix Cañada y Guerrero.
- Sr. D. Ramón Rey y Jorissen.
- Sr. D. José María Barón y Ruiz de Valdivia.
- Sr. D. Francisco Esteban y Santisteban.
- Sr. D. Javier Ricart y Cánovas.
- Sr. D. Carlos Felgueroso y Coppel.
- Sr. D. José Luis Ochoa y Bretón.
- Sr. D. Juan José García y Rodríguez.
- Sr. D. Julio Sánchez Paus y Bustamante.
- Sr. D. Manuel Olmo y Alarcón.
- Sr. D. Fernando García y Salinas.
- Sr. D. Pedro García y Salinas.
- Sr. D. Ricardo Echevarría y Caballero.

## COLABORADORES DEL INSTITUTO

Dr. D. Emiliano Aguirre.  
Dr. D. Antonio Arribas Moreno.  
Ing. D. Carlos Castells López.  
Ing. D. Serafín de la Concha y Ballesteros. ⊕  
Dr. D. Miguel Crusafont y Pairó.  
Dr. D. José María Fontboté y Musoles.  
Dr. D. José María Fúster y Casas.  
Dr. D. Constantino Gaibar y Puertas.  
Dr. D. Joaquín Gómez de Llarena.  
Dr. D. Francisco Hernández-Pacheco y de la Cuesta.  
Ing. D. Angel Ilarri Junquera.  
Dr. D. Noel Llopis y Lladó.  
Dr. D. Francisco Mingarro y Marín.  
Dr. D. Valentín Masachs y Alavedra.  
Ing. D. Laureano Menéndez y Puget.  
Ing. D. Carlos Santiago Muñoz y Cabezón.  
Dr. D. Isidro Parga y Pondal.  
Ing. D. Ildelfonso Prieto y Carrasco.  
Dr. D. Oriol Riba y Anderiu.  
Dr. D. José Rosell y Sauni.  
Ing. D. Ismael Roso de Luna.  
Lic. D. Miguel Rubio y Giner.  
Lic. D. Máximo Ruiz de Gaona.  
Dr. D. José Luis Saavedra y García.  
Lic. D. Pedro Salvador y Salvador.  
Ing. D. Clemente Sáenz y García.  
Dr. D. Luis Solé Sabarís.  
Dr. D. Vicente Sos Baynat.  
Lic. D. Eugenio Torre Enciso.  
Ing. D. Fernando Vázquez y Guzmán.  
Dr. D. José Villalta y Comella.  
Ing. D. José de la Viña y Villa.  
Dr. D.<sup>a</sup> Carmen Virgili Rodón.

## PROFESORES DE LA ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS AFECTOS AL INSTITUTO

Excmo. Sr. D. Antonio Almela y Samper.  
Ilmo. Sr. D. Pedro Arsuaga y Daban.  
Sr. D. Joaquín Bertet y Capafons.  
M. I. Sr. D. Emilio Llorente Gómez.  
Excmo. Sr. D. José María Ríos y García.

## AYUDANTES DE PLANTILLA DEL INSTITUTO

Ilmo. Sr. D. Casto Celestino Mora y López.  
Ilmo. Sr. D. Félix Melián y Abajo.  
Sr. D. Luis Llorente y Herrero.  
Sr. D. Silvestre Ferrera de la Torre.  
Sr. D. Domingo Baretino García.  
Sr. D. Fernando Rodríguez Abejaro.  
Sr. D. Pedro Cabrera López.



## COLABORADORES DE GRADO MEDIO

D). Sebastián Blázquez García.  
D). Antonio Chamera López.  
D). Lucas Amado Cueto.  
D). Juan Deblas Abejarro.  
D). Anastasio García de la Barrera.  
D). Luis Ilarri Jimeno.  
D). Valentín Núñez López.  
D). Francisco Robles Cañada.  
D). Manuel Rosa Armentero.  
D). Manuel Rubio Gea.

## INDICE DE MATERIAS

	Págs.
Prólogo ... ..	IX
<i>Evaluación de la validez de los fundamentos, métodos y logros de las Ciencias Geológicas (en sí mismos y en comparación con las restantes Ciencias Naturales), por J. M. Ríos y García</i> ... ..	I
<i>Estudio geológico del extremo Nordeste de la provincia de Granada, por Manuel M. Alvarado y José L. Saavedra</i> ... ..	99
<i>Estudio hidrogeológico de la Sierra de Altomira (Cuenca), por Francisco Mingarro Martín</i> ... ..	141
<i>Palynology of Silurian and Devonian rocks in Northwest Spain, por Fritz H. Cramer</i> ... ..	223

## PROLOGO

Tenemos la satisfacción de presentar en este BOLETÍN cuatro valiosas e interesantes aportaciones para quienes cultivan la Geología.

Quienes mejor pueden escribir sobre los fundamentos, métodos y logros de las ciencias geológicas, son aquellos que las profesan; por ello, encomendamos este trabajo al Académico Sr. Ríos García, preocupado desde hace tiempo con la pregunta «La Geología, ¿es ciencia?». Para el desarrollo de su tema, parte de la consideración esencial como ciencia natural descriptiva, con su aspecto histórico y sus apoyos analíticos, fundamentales, con la faceta de que, en lo fundamental, los fenómenos ocurrieron en lo pasado como actualmente.

Una de las provincias peninsulares estudiadas geológicamente con más detalle es la de Granada, enriqueciéndose ahora su literatura con las aportaciones de los Dres. Alvarado y Saavedra, con su estudio sobre el extremo nordoriental de la provincia, al que acompaña un mapa a escala 1:80.000. Esta labor en común de un geólogo y un micropaleontólogo complementa el trabajo, donde se efectúa una descripción de los terrenos por orden de antigüedad decreciente.

Preocupación constante, desde la creación del Instituto Geológico, es la realización de estudios hidrogeológicos, encaminados a solucionar de la manera menos costosa y más eficaz la sed de los pueblos españoles; por ello se publica el trabajo sobre hidrogeología de la Sierra de Altomira, del Dr. Mingarro, especialista en alumbramientos en el centro y levante español. Aporta

*un valioso mapa hidrogeológico, y entre sus conclusiones destaca la importancia de la reserva acuífera en una zona de más de 120 kilómetros.*

*Por primera vez se publica en este BOLETÍN un detenido estudio paleontológico. Se refiere al Siluriano y Devoniano del NW. de España, realizado por un competente técnico extranjero especializado en esta rama de la Paleontología. Gracias a los estudios de estos microfósiles, realizados sobre muestras de los Montes Cantábricos, pudo establecer una serie de interesantes divisiones estratigráficas desde el Ordoviciense Superior al Devoniano Inferior.*

F. A. S.

**Evaluación de la validez  
de los fundamentos, métodos y logros  
de las Ciencias Geológicas**  
(En sí mismos y en comparación con los de las restantes  
Ciencias Naturales)

POR

J. M. RIOS Y GARCIA  
Ingeniero de Minas

## INTRODUCCION

Es patente un complejo de inferioridad que parece aquejar a muchos geólogos cuando se elevan a considerar la validez de los fundamentos, métodos y logros de las ciencias geológicas, analizados en sí mismos, y en comparación con los de las restantes ciencias naturales, incluidas las físicas y las químicas, es decir, en la más amplia acepción de aquel concepto. Que el complejo de inferioridad existe resulta patente tan pronto como se ahonda un poco en la literatura existente y donde no son raros los trabajos que se encabezan con títulos tales como "La Geología, ¿es ciencia?" (P. E. Cloud, 1957) u otros parecidos. Y aún más cuando se examinan a fondo otros trabajos en que, sin anunciar desde el título su preocupación, constituye ésta un motivo temático constante a lo largo de su texto.

Este sentido de inferioridad nos pone de manifiesto que alguna debilidad encierran los fundamentos y métodos de las ciencias geológicas, debilidad que forzosamente ha de quedar reflejada en sus logros. Por otra parte es expresión de un espíritu de profundo respeto a la verdad, de auténtica sinceridad, y de amor a la disciplina que cultivan, ya que el verdadero amor no sólo se fija en las cualidades de la persona u objeto amado, sino que conoce los defectos, pero los excusa, o incluso llega a amarlos por formar parte del objeto o persona amada.

Diremos que en todos los países más adelantados no son escasos los geólogos, aunque tampoco sean numerosos, que se han ocupado del análisis de los fundamentos lógicos de la geología y de su comparación con los de otras ciencias (C. C. Albritton, Jr., 1963). Quizá la razón reside en que lanzada la geología, sobre todo en los últimos tiempos, a una gran expansión en el número y extensión de sus especialidades, en ciencia pura pero sobre todo en la aplicada, queda poco tiempo para el ejercicio espiritual que requiere la meditación sobre estos temas.



En nuestro país, que yo sepa, poco, muy poco, se ha hecho en este sentido. Nuestra geología ha sido, aunque brillante en épocas, hasta rebasar sus personalidades y realizaciones más allá de nuestras fronteras, de índole más bien descriptiva que especulativa. Si ha habido lugar a preocupaciones en este sentido no han cristalizado en estudios concretos. Pero he de recordar, por lo menos, una notable contribución a estas especulaciones: la del ilustre e inolvidable Ingeniero de Minas don Eugenio Cueto y Rui-Díaz, de tan modesta como recia personalidad. Nacido en Gobiendes, Asturias, en 1874, demostró siempre un profundo amor a la geología, que ejerció como afición colateral, ya que sus empleos fueron siempre mineros. Y lo demostró desarrollando una brillantísima labor que, si resultó limitada en su alcance por su carácter local y geográficamente restringido, no por ello dejó de alcanzar gran altura y excelente calidad, basada sobre todo en una profunda honradez geológica, de fidelidad a lo directamente observado por él.

Pero aparte de dedicar este homenaje de afecto y de recuerdo a tan perfecto caballero, al que tuve la suerte de conocer y de tratar, y la desgracia de que este conocimiento, por razón de las diferencias de edades y categorías, así como por las circunstancias, no pudiera ser más profundo, lo que quería es subrayar la atención que dedicó a estos problemas de que yo me voy a ocupar, en sus "Fundamentos lógicos de la Geología" (Cueto y Rui-Díaz, E., 1948), obra excelente, que no recibió la atención que merecía por el escaso interés que este campo de pensamiento y especulación ha despertado entre nuestros geólogos.

Pero a mí el tema de los fundamentos lógicos de la geología, y de su validez, me atrajo siempre con singular interés, y le he dedicado atención en diversas ocasiones. Ha sido una labor dispersa y fragmentaria, aparecida como comentarios en diversos trabajos. Quería ahora reunir aquí los diversos razonamientos, unificarlos, completarlos y ampliarlos con comentarios a diversas referencias del pensamiento de geólogos de otros países.

Hablaba antes de un complejo de inferioridad. Aunque la cuestión, como verán ustedes a lo largo de esta exposición, es compleja y tiene infinidad de implicaciones, creo que en definitiva, y en resumen muy concentrado, nace de la incapacidad en que se encuentra la geología, actualmente y quizá para siempre, para dotar, a sus principios y hechos, de formulaciones exactas y dotadas de expresión matemática.

Y lo que voy a tratar de argüir es que no es necesario que se pueda llegar a tal formulación para que una disciplina de tan nobilísima índole y tan altísima categoría mental sea considerada, de todo derecho, como ciencia.

Toda mi exposición estará impregnada de un profundo amor por la

disciplina científica a la que me llamó una vocación tan temprana como irresistible, interés que se extiende a sus fundamentos, a sus métodos e incluso a sus limitaciones, y que estaría más que sobradamente justificado aunque no fuera más que por su objeto, la Tierra, de cuyo barro fuimos creados por Dios y a la que irremisiblemente hemos de volver hasta vernos de nuevo integrados a ella.

Con cuya belleza natural nos recreamos en tantas ocasiones, de la que derivamos sustento, materias primas y energía y que es, de todo lo creado por la Providencia, aquello a lo que estamos más íntima e inexorablemente ligados, por lo que tenemos la obligación de conocerla lo más íntimamente que nos sea posible.

Decía en otra ocasión (Ríos, en Cornelius, 1954). "La Geología, como ciencia joven, y en gran medida desprovista por su propia naturaleza del auxilio de la experimentación, se basa en la observación y la deducción. Por la primera razón es ciencia estadística y su firmeza depende de la abundancia y calidad de la observación, muy desiguales e incompletas aún, en general, y sobre todo para muchas y extensas áreas terráqueas. Por la segunda es ciencia especulativa y, por consiguiente, como la filosofía, muy personal. Sin embargo, nadie niega a la filosofía, por su propio mecanismo, el primer rango entre las disciplinas del espíritu, aparte de su preeminencia como suma de todas las ciencias; pero precisamente por su mecanismo es por lo que la geología se hermana con la filosofía.

"De todos modos, como ciencia especulativa, y como ciencia joven, hay en la geología infinidad de conceptos, incluso básicos, que no son sino imágenes distorsionadas de la realidad, muy distorsionadas a veces. Los geólogos lo saben, pero es demasiado frecuente olvidarlo o al menos aparentar que se olvida.

"Sabemos que utilizamos muchos conceptos que no resisten el análisis, muchas herramientas que se mellan al choque con la realidad, pero como son las mejores de que disponemos, y las únicas que por ahora hemos podido crear, las empleamos de continuo. Sería peligroso que su empleo se convirtiera en rutina, y que llegásemos a olvidar sus fallos. En general se descuida notablemente la crítica de los principios geológicos y esto entraña un peligro para el futuro de esta ciencia."

El tema que he elegido exige una definición de principios y fines de la ciencia geológica y no hay mejor medio para ello que su propia definición. Y aquí, en su propio origen, se inicia una indecisión que resulta patente al ver la diversidad de definiciones que se han propuesto para la ciencia geológica. Si bien las diferencias sean a veces de matiz, resultan sintomáticas

de una falta de unanimidad de criterio, que a su vez es fruto de una falta de definición de la imagen.

Estas diferencias son consecuencia unas veces de diversidad de apreciación en la amplitud del campo, que puede variar desde sus contactos con la astronomía hasta los que tiene con la ciencia de los suelos u otros muchos y diversos campos; puede incluir o excluir la petrología y la paleontología, o tener un sentido mucho más restringido, y tal indecisión es sobre todo consecuencia de la multitud de ramas a las que ha dado nacimiento, principalmente en los últimos años; estas discrepancias no tienen en general demasiada importancia. Pero otras veces se basan en diferencias de criterio y tienen entonces carácter fundamental.

Desde mi punto de vista partiré de una definición que ideé hace años y que quizá no es más que reflejo subconsciente de alguna lectura previa. Según esta definición, la geología es la ciencia que trata del conocimiento de la disposición de los materiales que constituyen el globo terráqueo, de las causas que originaron dicha disposición y de los efectos de los agentes que la alteran.

Creo que en esta definición quedan implicadas no sólo las relaciones más remotas con las demás ciencias más o menos afines, sino que, si meditamos sobre su contenido, vemos que se designan implícitamente sus caracteres esenciales, el de ciencia natural descriptiva; el de ciencia de carácter eminentemente histórico, y también sus mecanismos lógicos como ciencia analítica de observación, de disgregación y clasificación de las aportaciones de la observación, y de ciencia sintética de reconstrucción y deducción de mecanismos. Y es así en todos sus terrenos; lo ha sido en su evolución y desarrollo, lo es en su mecanismo de trabajo, en su pedagogía y en toda su filosofía.

Con seguridad que la característica que más la diferencia, y en cierto modo la separa, del restante grupo de ciencias representadas en esta Real Academia, es su carácter de ciencia histórica. Es este carácter especial, y a mi juicio, aunque no al de todos los geólogos, indiscutible de la ciencia geológica, el que la hace más extraña, menos asequible a las mentalidades de los cultivadores de otras disciplinas, cuyos fenómenos son, al menos en la versión pragmática al uso corriente, independientes de su ubicación en el tiempo. Existen de por sí, y no tienen esa relación de dependencia, tan íntima, tan trascendente, con los fenómenos anteriores, a veces tan remotos en el tiempo, relación que constituye la trama íntima de todo el acontecer geológico.

Por consiguiente no podemos olvidar, ni por un momento, que sobre

todas las restantes características de esta ciencia la geología tiene la de constituir una reseña de acontecimientos pasados, en la que cada uno de ellos ejerce además una influencia conformadora de los que van a suceder en el futuro y que ninguna situación se repite en forma idéntica a las que existieron antes.

Como todas las ciencias históricas, la geología se ha de nutrir de testimonios, pero sus testimonios son mudos. No existe la tradición oral, salvo para los acontecimientos de tiempos que, geológicamente hablando, son inmediatos, ni existe la más o menos nutrida documentación histórica, los hechos reseñados en relaciones de testigos, documentos, contratos, inscripciones, etc., que permiten reconstituir con más o menos fidelidad, detalle o veracidad, los hechos del pasado en la historia humana.

En geología esta documentación queda escrita y reseñada en las rocas, que son los documentos mudos y enigmáticos que permiten al geólogo, si domina su ciencia, reconstituir el pasado, remontarse hacia atrás en la oscura distancia de los tiempos infinitamente remotos, y ello es posible precisamente por el hecho fundamental de que cada acontecimiento ejerce una acción conformadora en los acontecimientos futuros. Todas estas acciones quedan reflejadas con gran minuciosidad, con extrema delicadeza, en las rocas; pero su lectura es difícil y complicada y exige un dominio extremo de las técnicas geológicas.

Una de las diferencias más marcadas entre el buen geólogo y el mal geólogo reside en la mayor o menor capacidad que tiene para realizar esta lectura. En la cantidad y calidad de la información que obtiene acerca de lo ocurrido en el pasado, cuando se enfrenta ahora con unas rocas o con una situación geológica representada por una determinada combinación de rocas.

Faltos de la conexión con el pasado, que en otras ciencias históricas está constituida por la transmisión directa de tradiciones, documentos y testimonios de todas índoles y categorías, la labor de la geología, al nacer como ciencia, ha sido el estudio y análisis profundo de los fenómenos geológicos que ocurren en los tiempos presentes y la observación minuciosa de cómo afectan a las rocas que actualmente los soportan (puestas de manifiesto, como lo están, a nuestro examen en la superficie terrestre), la clase de influencia que ejercen sobre ellas y cómo graban en ellas una serie de huellas o características. De esta manera se puede llegar a establecer una relación de efecto a causa que permite ligar los fenómenos geológicos ocurridos a las características legibles en las rocas. De la misma manera permite establecer la relación existente entre los fenómenos geológicos actuales y observables, y las características de las rocas que se están formando actualmente, de modo que

mediante su estudio podemos conocer la índole de los fenómenos que concurren y que colaboran en su construcción.

Si, por ejemplo, consideramos cualquiera de los infinitos materiales sedimentarios que se están constituyendo actualmente en un punto cualquiera de nuestra corteza terrestre, sus características dependen de circunstancias de clima y de relieve, de la índole de los materiales pétreos expuestos en las zonas de la superficie que integran el ámbito de suministro de materia para la formación de la nueva roca y también del ámbito ecológico y biológico reinante en este área.

Todas estas características o fenómenos geológicos (y biológicos) actuantes quedan de alguna manera registradas en la índole o disposición de los materiales que se están creando y constituyen el nexo entre el presente y el futuro geológico. Si nosotros somos capaces de definir la relación de dependencia entre esas causas y efectos, los geólogos que en lo futuro estudien esas rocas podrán igualmente intuir las causas que originaron los efectos susceptibles de observación, y es lo mismo que hacemos nosotros actualmente con las rocas que se formaron en el pasado, si bien esto, que se dice tan fácilmente, supone una tarea de gran complejidad. No de otra manera se ha constituido la ciencia geológica.

Por consiguiente, su primera tarea consistió en el estudio y conocimiento, cada vez más profundo, de los llamados fenómenos geológicos externos o de dinámica externa, los que actúan y se conocen en la superficie terrestre, y de sus efectos sobre las rocas actualmente expuestas en ella, así como su acción generadora de nuevas rocas, que son consecuencia de, y registran minuciosamente, aunque cabalísticamente, aquellas circunstancias y sus variaciones.

Es la ciencia de los fenómenos externos actuales y constituye una de las partes fundamentales de la geología.

No tenemos otro testimonio del pasado que las propias rocas. Para remontarnos a él, para retroceder en el tiempo hasta las misteriosas épocas en que se gestaban las más antiguas rocas que conocemos en la corteza de nuestro globo, aquellas sombrías y atormentadas rocas, tan sugerentes de tenebrosos fenómenos, no tenemos más que un recurso, que constituye al mismo tiempo la fuerza y la debilidad de la ciencia geológica, su columna vertebral y su talón de Aquiles.

Nadie presencié aquellos fenómenos, nadie pudo dejar su descripción ni explicar qué circunstancias reinaban entonces, y no hablemos ya de los 3.000 millones de años atrás, en que se formaron las más viejas rocas que se conocen o que se presuponen, sino que ni siquiera tenemos la absoluta y

estricta seguridad, el testimonio fehaciente de lo que ocurrió hace cincuenta mil o hace diez mil años.

Pero sí sabemos que las rocas de otras épocas, como las de hace tres mil millones de años, como las actuales, son el fiel espejo y registro de lo que ocurría entonces, de las circunstancias que entonces reinaban.

Y este razonamiento constituye la clave del arco arquitectónico geológico conocida como ley del actualismo, y en la literatura anglosajona con el nombre de principio de uniformismo (Uniformitarianism), según el cual podemos aplicar a tiempos pasados la experiencia deducida de la observación de los fenómenos presentes, porque en lo fundamental las cosas ocurrieron en el pasado como ocurren en la actualidad.

#### EXAMEN DEL ACTUALISMO, PRINCIPIO FUNDAMENTAL DE LA GEOLOGIA

La experiencia geológica, deducida del examen de infinitos ejemplares y circunstancias pétreas, nos enseña que incluso las más viejas y extrañas rocas del más remoto pasado geológico tienen tal semejanza de estructura, índole y de origen con alguna de las actuales, cuyas causas de formación conocemos perfectamente, que podemos con certeza y seguridad aplicar al pasado, incluso al más remoto, los razonamientos que hemos deducido del examen de las circunstancias y hechos actuales.

No sabemos si entre las rocas más viejas que conocemos existen aún restos de la primera corteza de consolidación de nuestro globo, pero sí tenemos la conciencia de que la génesis de todas ellas nos es asequible mediante comparación con las de las rocas actuales. De modo que no necesitamos en manera alguna recurrir a procesos misteriosos para explicar su origen.

Pero este principio fundamental de las ciencias geológicas no sólo no tiene expresión matemática, sino que no podemos demostrar su validez con técnicas lógicas, irrefutables. Existe solamente en nuestra conciencia de geólogos y ni siquiera en la de todos, pues aparte de no ser su aplicación de total universalidad, puesto que cuenta con limitaciones, ni siquiera es aceptado tampoco unánimemente por todos los geólogos, aunque sí por la mayoría. Ni siquiera todos los que lo aceptan lo aceptan en el mismo grado o con el mismo matiz.

Dice Kitts (D. B. Kitts, 1963) que existe un acuerdo generalizado entre los geólogos, o al menos todos los geólogos están más o menos de acuerdo,

en que alguna clase de principio uniformista es ingrediente fundamental de toda inferencia geológica, y cita que Longwell y Flint (C. R. Longwell y R. F. Flint, 1955) llegan incluso a decir que "todo el proceso mental empleado en la reconstrucción de una antigua historia se basa en aquella piedra angular de la filosofía geológica, el principio del uniformismo, probablemente la mayor contribución aislada que han hecho los geólogos al pensamiento científico". Y sin embargo, sigue Kitts, y a pesar del acuerdo general por lo que se refiere a la importancia del principio, los geólogos mantienen opiniones muy divergentes acerca de su significado. Tan diversas que se pensaría que ha habido escasa o ninguna resolución de los problemas que dieron origen a las famosas controversias entre "uniformistas" y "catastrofistas" en el siglo XIX. El problema no ha sido resuelto, pero la controversia ha bajado de tono.

A mí me parece que no es el principio, en manera alguna, lo que se discute, sino su alcance, tenidas en cuenta sus limitaciones. Veamos algunas de estas limitaciones, empezando por las más importantes y trascendentes.

Hemos hablado de imágenes del pasado semiestáticas, que se nos ofrecen como una serie de proyecciones de diapositivas que reproducen estampas de momentos del pasado (momentos según el concepto de la escala geológica de tiempos).

Pero la historia de nuestro globo es de un acontecer constante, su faz cambia de manera que a nosotros nos parece casi insensible; pero nos lo parece, por la brevedad del concepto del tiempo humano comparado con el concepto del tiempo geológico.

Si nos fuera posible cambiar de nuestra escala de tiempos humanos a la de tiempos geológicos veríamos cómo la faz de la Tierra mudaba sin cesar; veríamos avanzar y retroceder los mares, modificarse los contornos, incluso desaparecer los continentes, desplazarse los casquetes polares, alzarse sistemas enteros de cadenas de montañas, luchar con las fuerzas destructivas de la erosión y del desgaste hasta ser humilladas y convertirse sus enhiestas y nevadas cumbres en tendidas penillanuras. Veríamos también cómo la vida salía de los mares a los continentes en un largo proceso de gradual adaptación; cómo las plantas pasaban de los humildes tipos vegetativos a los orgullosos ejemplares arbóreos. Veríamos aparecer y desaparecer grupos y familias, géneros y especies, dando lugar antes, por una evolución progresiva y nunca totalmente reversible, a nuevos tipos, en general más complicados, más perfectos, más evolucionados.

Veríamos cómo sus restos quedaban primero engastados, luego petrificados en los sedimentos para constituir, por correlación entre la historia de

la evolución biológica y la historia de la evolución geológica, la más valiosa herramienta para la datación de las rocas sedimentarias y el establecimiento de orden y correlación por sucesión.

Por consiguiente, la historia de la Tierra es fundamentalmente dinámica, viva, es lo que una proyección cinematográfica a una proyección de diapositivas.

Los fenómenos que rigen y ordenan este dinamismo no son externos, puesto que éstos son en cierta manera accesorios, sino internos. Tienen sus causas inmediatas en las entrañas mismas del globo, y las remotas son de categoría astral. Son los fenómenos de la dinámica interna, que constituyen otra de las partes fundamentales de la ciencia geológica.

En su contribución a la conformación de la faz de la Tierra la importancia de los fenómenos de dinámica externa equilibra, incluso quizá rebasa, a la de los fenómenos de dinámica interna, porque su acción e influencia son más inmediatas; sin embargo, la dinámica interna es de superior categoría, ya que la dinámica externa está muchas veces regida por ella y es su consecuencia.

Todos estos razonamientos pueden parecer disgresiones, pero son necesarios a nuestro raciocinio y los vamos a llevar inmediatamente al terreno que nos interesa, al de la ley del actualismo geológico y sus limitaciones.

Mientras que la escala de los tiempos humanos es adecuada para la observación y estudio de gran parte de los fenómenos de la dinámica externa, es totalmente inadecuada para el de los fenómenos de la dinámica interna, la duración de cuyos procesos es infinitamente más larga, por lo que no los podemos observar ni siquiera episódicamente. Sólo fenómenos de categoría tan intrascendental, como son los sísmicos, o accesorios, como lo es el vulcanismo, son observables total o parcialmente en sus manifestaciones externas.

De modo que para la interpretación lógica de los fenómenos más trascendentales de la corteza terrestre, los de la geodinámica interna, no tenemos otra base que la inferencia.

No restemos sin embargo, demasiada categoría a esta inferencia. Lo que hacemos es comparar unos con otros una serie de estados consecutivos de la faz de la Tierra, lo más próximos posible en el tiempo, cuya datación se consigue por los métodos de superposición, o de antecendencia y mediante el registro evolutivo geológico (H. D. Hedberg, 1961) (por los fósiles), y mediante esta comparación establecemos las configuraciones sucesivas, la evolución y génesis, es decir, la cinemática y dinámica de la corteza terrestre en su constante pulsar.

De esta manera volvemos a subrayar la índole fundamentalmente histó-

rica de la geología y la índole especial de su principio fundamental, que ni tiene expresión matemática, ni formulación exacta, ni posibilidad de demostración auténticamente lógica.

Es corriente que se atribuya sólo carácter histórico a aquella parte de la geología que se ocupa de la enumeración y descripción de las vicisitudes de la historia de nuestro planeta, pero lo cierto es que por las razones mencionadas su carácter histórico queda implícito en toda su estructura e inspira el fondo de todos los principios que aceptamos como válidos y que usamos todos los geólogos.

Vemos, por consiguiente, que la limitación fundamental de la ley del actualismo consiste en que se basa en la inferencia, en que no es demostrable, y que no es por todos aceptada la universalidad de su aplicación, por lo que hemos de retirarle el tratamiento de ley que se le suele aplicar y dejarla en principio.

Veamos algunas otras limitaciones que son a modo de satélites de aquélla. Señalemos que los geólogos podemos muchas veces reconocer, en amplias regiones del globo, las edades de muchas formaciones geológicas; digamos, por ejemplo, el Siluriano, el Devoniano, el Permiano, el Triásico y aun el Oligoceno o el Mioceno, de manera inmediata por sus aparentes características externas, al primer golpe de vista y sin necesidad de examen más minucioso, en zonas desconocidas en las que somos recién llegados.

Ahora bien, el principio del actualismo, en su forma más generalizada y amplia, dice que si podemos remontarnos del presente al pasado, si tenemos, por decirlo así, la capacidad de actualizar los fenómenos del pasado deducidos por la observación de sus testimonios registrados en las rocas, es porque en el pasado geológico todo ocurrió como en los tiempos actuales.

La aplicación literal de este principio llevaría consigo que la historia y la faz misma de la Tierra resultarían de una monotonía aplastante. Y, sin embargo, acabamos de decir que los diversos periodos geológicos tienen muchas veces un sello característico que permite reconocerlos al primer golpe de vista y diferenciarlos de los restantes. Lo que quiere decir que aunque los factores geológicos hayan sido los mismos en todas las épocas no todos ellos han actuado simultáneamente en todos los tiempos, o no lo han hecho con la misma intensidad o con las mismas características.

Es evidente que falta en casos la acción de unos u otros, o que varía la intensidad de actuación, de modo que esa diferente combinación de circunstancias en las épocas geológicas del pasado conducen a efectos bien distintos y discernibles, por lo que al aspecto y condición de las rocas se refiere.

Lo que apreciamos en este rápido conocimiento, de golpe de vista, es

el dominio en amplias regiones del globo de determinadas circunstancias climáticas o ambientales, dominio de climas desérticos y ambientes continentales o, por el contrario, de gran predominio de los mares con amplias zonas de sedimentación profunda o de otras características fácilmente reconocibles, representantes de determinadas circunstancias.

Por el contrario hay situaciones geológicas incontestables, al menos sobre la base de los conocimientos actuales, que exigen explicaciones tan artificiosas que no convencen ni a los mismos que las emiten. Veamos un ejemplo tomado de las cadenas subpirenaicas: existe una extensa región subpirenaica que se extiende desde los confines de la provincia de Huesca con la de Lérida hasta muy adentro en la de Navarra. Su mejor exposición se encuentra en las sierras que se extienden desde el este del Cinca hasta más allá del Irati, por las sierras de Guara, Santo Domingo, Navascués y Leyre; pero las circunstancias que plantean la cuestión existen también en más amplios ámbitos por el norte y también por el sur, bajo el recubrimiento oligoceno del Valle del Ebro, hasta límites aún mal conocidos. En toda esta extensísima región concurren una serie de hechos de dinámica externa e interna nada singulares de por sí, considerados aisladamente, pero que cuando se tratan de interpretar conjuntamente, como lo requiere el establecimiento de la historia geológica del país, dan lugar a una situación tan compleja que, para ser leída a la luz de las leyes actuales requiere varias peticiones de principio, cada una de ellas tan exigente de por sí que resulta difícilmente verosímil; no digamos la combinación de todas ellas.

En toda esa región, el Senonense, quizá el Turonense, se apoya directamente sobre el Trías, y casi siempre sobre una facies de Keuper, con omisión de todos los potentes e importantes tramos intermedios y, sin embargo, yace en aparente concordancia. Exigiría como explicación, de acuerdo con lo que se deduce, conoce y admite de la historia geológica de la región en que enclava, una elevación en masa de toda el área a finales de la época jurásica, porque todos los indicios apuntan a una sedimentación continua y homogénea de las formaciones jurásicas en este área, pero conservando una disposición prácticamente horizontal, lo que constituye una primera petición de principio.

El alzamiento por encima del nivel de las aguas impediría la sedimentación de los materiales cretáceos hasta los del Turonense superior o Senonense y tuvo que permitir la eliminación erosiva de los sedimentos jurásicos y liásicos. Pero el fenómeno tuvo que ser de tal índole y limpieza que tuvieron que ser eliminados con absoluta uniformidad, ya que no queda rastro

de ellos, salvo en las márgenes, y este conjunto de exigencias constituye una segunda petición de principio.

Lo cierto es que desaparecieron una serie de niveles compactos o menos compactos de dolomías, calizas y margas, y el fenómeno erosivo se interrumpió precisamente cuando, desaparecidos estos materiales relativamente difíciles de arrastrar, empezaba a alcanzar la acción destructiva a los primeros niveles triásicos, tan blandos y deleznable o tan solubles, margas calíferas y yesos, de facilísima y rápida erosión, lo que evidentemente constituye una tercera petición de principio.

Luego todo ello hubo de hundirse suave y blandamente, y en disposición prácticamente horizontal, para que pudieran depositarse encima, en aparente concordancia, los sedimentos marinos del Cretáceo Superior, cuarta petición de principio. O sea, que para explicar a la luz del actualismo de acuerdo con lo que se conoce, y se conoce bastante bien, con gran base documental, de la historia de esas cadenas y regiones limítrofes, son necesarias nada menos que cuatro peticiones de principio.

El hecho de que sean de la misma índole, puesto que implican todas ellas movimientos de alzamiento y de descenso, apenas hace el conjunto más aceptable, ya que los movimientos deberían ser tan finamente acompasados y graduados como para exigir una delicada orquestación, poco congruente con la índole de los mecanismos naturales.

Cada una de esas peticiones de principio es sumamente artificiosa y exigente de condiciones poco verosímiles y cualquiera de ellas sería capaz de invalidar, en un razonamiento de lógica exigente, la explicación; no digamos el conjunto de las cuatro. Y, sin embargo, nadie, que sepamos, ha propuesto una explicación más lógica. Esto nos pone de manifiesto alguna debilidad del principio actualista.

A veces es la escala de magnitud de determinados fenómenos lo que nos desconcierta, jamás observada en los fenómenos actuales de la misma índole, pero de ingente escala, lo que ocasiona un problema de incomprensión e interpretación de las causas.

Otra probable limitación de la teoría actualista reside en que aceptamos que la composición de los océanos y de la atmósfera se hayan mantenido constantes y uniformes a lo largo de los tiempos geológicos. Esta aceptación está implícita en todo el razonamiento geológico, de modo que ni siquiera nos fijamos en ella, la damos por sentada. Pero es muy probable, como señala McKelvey (V. E. McKelvey, 1963), que la historia geológica y los cambios seculares estén posiblemente relacionados con cambios unidirec-

cionales evolutivos en la composición del océano y de la atmósfera, y que ello se refleje en la composición de las rocas sedimentarias.

Comprendida mediante estos ejemplos, la índole y limitaciones de este principio fundamental de la geología, vemos que su razonamiento básico es intuitivo, es decir (J. Maritain, 1962), que "nos elevamos a partir de los datos de los sentidos y de los hechos de la experiencia, que son la primera fuente de nuestro conocimiento y que pertenecen al orden de lo individual o de lo singular. La mente se mueve del plano de lo sensible al plano inteligible". En pura teoría lógica, dice Maritain, que un razonamiento inductivo manifiesta la verdad de una proposición en tanto constituya una enunciación universal.

Pero de lo expuesto resulta que el principio del actualismo no podría considerarse como auténticamente universal en razón de las limitaciones enunciadas, y de otras, sino que ha sido universalizado excesivamente a juicio de algunos.

Cueto y Rui-Díaz señaló algunos reparos a las teorías actualistas, pero cuida muy bien de acusar su valor como principio fundamental de la geología, ya que dice que "Sólo a falta de la enunciación de la teoría actualista por M. Lyell, a mitad del siglo XIX, se pudo comprender que se llegase a penetrar en el oscuro pasado de la Tierra sin utilizar la vía puramente especulativa".

Recordemos de paso, con Cueto, que a la teoría actualista se oponía la catastrófica, preconizada por Cuvier y d'Orbigny, según la cual eran revoluciones de tipo catastrófico (de cuya verdadera índole y alcance no podríamos tener idea, puesto que no ocurren en la actualidad), las que mudaban de tiempo en tiempo la faz de la Tierra, imprimiéndole características diferentes al estado anterior, de todos los órdenes, incluso el biológico.

Las teorías catastróficas constituían una mezcla de geología, biología y teología (Simpson en "The Fabric of geology", 1963, citando a Gillispie, 1951, y a Hooykaas, 1959), puesto que las ideas prevalentes del catastrofismo tenían dos principios de partida: 1. Intervención divina, de manera que la Historia Natural se compone de hechos naturales y supernaturales. 2. La historia de la Tierra es una sucesión de catástrofes de intervención divina.

Un comentarista reciente de las teorías actualistas ha sido L. Cayeux (L. Cayeux, 1941). Intenta subrayar algunas limitaciones de los principios actualistas señalando casos en que hay fenómenos del pasado que no se explican por los actuales, o como él expresa: "bien des causes anciennes n'ont pas leur equivalent parmi les causes actuelles". Si nos fijamos más especial-

mente en este trabajo de Cayeux es porque se refiere a fenómenos de dinámica externa, a fenómenos sedimentarios, para los que parece que la ley actualista ofrezca las mínimas dudas y también por el eco que tuvo su publicación.

Parte de la idea de que hay dos materiales sedimentarios, además de gran interés práctico y comercial, los fosfatos de cal sedimentarios y los minerales de hierro oolítico, que no sólo no se conocen entre los sedimentos en formación actual, sino que hay razones decisivas para creer que no se puedan formar actualmente en grandes masas, tales como son conocidas en el pasado, y que para su génesis fue precisa la concurrencia de una serie de fenómenos que son desconocidos en nuestros días.

Señalaremos que, de partida, esta argumentación tiene un punto débil. No ya en la época en que se escribió el trabajo, sino aun ahora, después de lo mucho que se ha trabajado en el estudio de la geología de los fondos marinos, es más lo que se ignora que lo que se sabe de ellos. La información que se posee es dispersa y fragmentaria y, ni en absoluto, ni estadísticamente, tiene valor probatorio.

No obstante tiene gran valor instructivo el estudio de Cayeux, por la calidad de su información y por el valor lógico y la claridad y método de sus razonamientos.

Por lo que se refiere a los fosfatos su argumentación se basa en que la creta fosfatada del Senonense de la cuenca de París está constituida como un depósito lenticular de carácter detrítico, que muestra retrabajamiento de sus materiales y contiene elementos arrancados al muro, el cual, a su vez, muestra efectos inconfundibles de la acción de corrientes. Todo ello característico de depósito litoral, pero aparece completamente englobada en otras cretas muy finas de tipo sedimentario demostradamente pelágico. Además, no obstante las turbulencias manifiestas de la creta fosfatada, típica de sedimentación litoral, no contienen, en manera alguna, aportación de materia sedimentaria extraña, por lo que hay que excluir la posibilidad de cercanía a zonas emergidas. Por consiguiente, nos encontramos con la paradoja de un depósito detrítico contenido y envuelto, es decir, englobado por un medio pelágico, fenómeno no observado e inexplicable en los mares actuales, según Cayeux.

Extiende esta argumentación al caso de los fosfatos norteafricanos en que perturbaciones inexplicables provocan el cambio de régimen de los fondos submarinos en forma que resulta favorable a la formación de los granos de fosfato. Sólo que en vez de producirse el fenómeno una sola vez para un solo lecho, como ocurre en la mayor parte de la cuenca de París, se repi-

te varias veces. Otra diferencia consiste en que en Marruecos hay cambios profundos en los aportes sedimentarios; pero, en el caso de la cuenca de París, los lechos fosfatados presentan un carácter mucho más detrítico, e igualmente sin que hayan cambiado las relaciones de posición con respecto a la tierra firme. Por consiguiente, la causa de la formación ha residido, en ambos casos, en rupturas de equilibrio que han creado en plena mar condiciones ambientales que por sus caracteres físicos simulan, y aparentan, la vecindad de una costa inexistente.

Sólo en detalles difiere la argumentación que emplea Cayeux para explicar la constitución de los hierros oolíticos. Con sus propias palabras "... la sedimentación que engendró los minerales de hierro oolítico es la típica de cuencas en vías de alzamiento, profundamente alteradas por rupturas de equilibrio y sometidas al influjo de corrientes, que juegan el papel de transporte y erosión submarina...". También es característica, en el caso de los hierros oolíticos (no obstante que la estratigrafía denota la proximidad de costas y de que abundan las características de intensas acciones mecánicas), la falta de aportaciones detríticas procedentes de la tierra firme, de manera que todos sus materiales han sido suministrados por la formación misma o por las formaciones en que enclavan. Incluso la metamorfosis que experimentan los minerales de hierro oolíticos y que no intervienen en el caso de la génesis del fosfato se desarrolla por completo dentro del ámbito y época constitutivos del yacimiento.

La tesis de Cayeux puede resumirse diciendo que hay transformaciones profundas en la naturaleza de los sedimentos marinos, debidas a rupturas de equilibrio causadas en general por elevaciones del fondo o por corrientes submarinas, incluso ascendentes, pero que no arrastran consigo aportes de material procedentes de tierra firme.

Otra consecuencia que deduce es que el ritmo de lapidificación de los sedimentos marinos antiguos era muy rápido y guardaba el paso con el de la sedimentación misma.

Todas las observaciones de Cayeux representan un espíritu extremadamente sagaz, de gran capacidad inductiva, basada en una inteligente selección de los elementos de observación, y es admirable el sistema y encadenamiento de los razonamientos, así como el orden de su exposición.

En lo que concretamente se refiere a nuestro objeto, Cayeux trata de demostrar, de diversas maneras, que hay fenómenos geológicos del pasado de formación o transformación de sedimentos en los fondos marinos que son inexplicables, y quedan inexplicados, por el examen de los fenómenos actuales y que algunos se han verificado a ritmos distintos.

Es cierto que Cayeux no ataca por su base la ley del actualismo, sino que únicamente señala algunas limitaciones. Pero aun esto parece poco justificado, porque, como decíamos antes, una gran parte de los fondos marinos es desconocida.

Aunque ya Heim (A. Heim, 1908) había señalado la trascendencia y consecuencias litológico-tectónicas de los deslizamientos subacuáticos de sedimentos escasamente consolidados, sólo mucho más tarde se han conocido a fondo las características e importancia de tales fenómenos. Los más recientes estudios de los fondos marinos han puesto y siguen poniendo de manifiesto fenómenos actuales, entonces poco conocidos, tales como oscilaciones profundas de los senos marinos, verdaderos oleajes submarinos, que apenas tienen reflejo, o que no se reflejan en la superficie, así como la existencia de insospechadas corrientes submarinas profundas. Son, más o menos, los fenómenos que sagazmente intuyó o dedujo Cayeux para formaciones antiguas y negó para las actuales, todavía incompletamente conocidas.

De modo que este inteligente geólogo supo adivinar o intuir fenómenos entonces no conocidos, contribuyendo de manera inconsciente a valorar en alto grado los métodos geológicos. Se equivocó al suponer que con ellos atacaba, o al menos limitaba, los alcances de los principios actualistas. En realidad los predecía y confirmaba.

Nos parece, por lo que se refiere a los fenómenos de la dinámica externa que no se podrá ni aceptar ni refutar fundamentalmente la ley de causa actuales hasta que se domine a la perfección el conocimiento de aquéllos, estamos aún muy lejos de ello, sobre todo en lo referente a los fenómenos geológicos que tienen lugar en los fondos marinos, tan desconocidos todavía.

Son muchos los intentos que se han hecho de evaluación de ritmos de los fenómenos geológicos en tiempos pasados y todos sus resultados tiene relación con los principios actualistas.

Gilluly (J. Gilluly, 1964) calcula el volumen de sedimentos triásicos, más jóvenes, acumulados en la costa oriental de Estados Unidos entre la bahía de Chesapeake y Nova Scotia, sobre la base de los mapas de isopaca de la costa, de la plataforma costera y del declive continental. Luego calcula o estima, según los casos, cuál era el área alimentadora de esta zona y evalúa cuál hubiera sido el volumen de materiales aportado a ella desde los tiempos triásicos, si la velocidad de erosión hubiera sido la misma que la actual. Compara ambos volúmenes y llega a la conclusión de que la velocidad de erosión, a lo largo de esos tiempos, debió ser como promedio  $3/4$  de la actual o quizá igual a la actual.

El estudio de los mapas de isopacas denota una constitución especial de los senos sedimentarios, separados en dos fajas por una cresta media más o menos paralela a la costa.

Llega a la conclusión de que la plataforma continental se constituyó en parte por el hundimiento isostático de la faja submarina costera bajo el peso de la carga sedimentaria acumulada por las corrientes fluviales. Pero la presencia de la cresta media indica que el mecanismo isostático no fue por sí mismo suficiente para la constitución de la flexura descendente, ni pudo serlo, porque los materiales sedimentarios acumulados tienen una densidad de menos de  $2/3$  que el material subcortical desplazado. Las cuencas interiores han tenido que hundirse mediante otro mecanismo distinto que el descenso isostático, ya que el fondo del mar se alza sensiblemente a la misma altura sobre las depresiones exteriores que sobre la cresta media.

Esta depresión diferencial exige un adelgazamiento de la corteza, y Gilluly piensa que esté originado por erosión subcortical causada por corrientes situadas bajo la discontinuidad de Mohorovicic. La cresta media, por consiguiente, debió tener su origen en las inestabilidades producidas por tales corrientes, y no en plegamientos, que exigen arrastre y fricción.

El razonamiento de Gilluly no sólo nos da una medida comprobante de los principios actualistas, sino que nos liga los fenómenos de dinámica externa con los de dinámica interna.

Las cifras calculadas o estimadas por Gilluly de valores de fenómenos geológicos de dinámica externa tienen interés, no sólo por su reflejo en la teoría actualista, sino también por su valor informativo general.

Veamos ahora algunos valores numéricos en que cristalizan esos razonamientos:

Para el desgaste medio del relieve de la zona de alimentación rechaza por excesivo el valor promedio calculado por Dole y Stabler de 0,0002 pulgadas año (B. B. Dole y M. Stabler, 1909) y calcula que es de 0,000.005 de pulgada año referido al río San Lorenzo, si bien señala que la intercalación de los Grandes Lagos, con su sedimentación intermedia, constituye un elemento de confusión.

Por lo que se refiere a la proporción general entre la carga transportada por arrastre y la que llevan en suspensión las corrientes de agua cita los valores de Corbel (J. Corbel, 1959), cuyos estudios de diversos cursos fluviales arrojan valores oscilantes entre 2 y 300 por 100 y, si se eliminan los ambientes alpinos, el arrastre constituye el 5-15 por 100 de la suspensión.

Gilluly acepta, para su problema, una proporción arrastre-suspensión de 10 por 100, que equivaldría a una denudación o rebaje medio del relieve de



0,000.02 pulgadas año. La carga transportada en disolución corresponde a un desgaste de 0,000.68 pulgadas año para el conjunto de ríos nortatlánticos y de 0,000.6 para el San Lorenzo, y acepta un valor promedio de 0,000.64 pulgadas año.

En conjunto la erosión que resulta de la aplicación de los coeficientes parciales es de 0,000.86 pulgadas año.

La denudación ocurrida para los materiales arrastrados desde el triásico sería de 390.000 millas cúbicas para una densidad de material 2.65, pero dado que el material actual, más poroso, tiene menor densidad, el volumen se estima en 450.000 millas cúbicas.

El volumen calculado mediante las isopacas de sedimentación es de 280.000 millas cúbicas de modo que la velocidad de erosión media desde los tiempos triásicos debió ser menor que la actual en un 62 por 100, es decir, de 0,000136 de pulgada año. Estima Gilluly que sus cálculos han sido excesivamente conservadores y que la velocidad de erosión debió ser muy parecida a la actual.

Aceptados los coeficientes consignados pasa a calcular la profundidad de erosión subaérea, que resulta de 16.300 pies o casi 3,1 millas en 225 millones de años, cifra calculada meramente sobre el volumen de sedimentos producidos.

Chamberlin (R. T. Chamberlin, 1910), mediante el volumen calculado por reconstrucción de cortes geológicos, llegó a establecer una denudación promedia de 3 millas para un periodo geológico parecido, con gran coincidencia con el cálculo de Gilluly.

Si se combina esta información con la mucho más precisa que resulta del estudio del Golfo de Méjico, tan conocido por infinidad de sondeos petroleros, se llega a la noción de que las actuales velocidades de erosión no solamente no son 10 veces mayores que los promedios de los tiempos geológicos pasados según calculan Barrell (J. Barrell, 1918) y Kuenen (P. M. Kuenen, 1950), sino que no son, según Gilluly, ni siquiera doble de la actual, que es el valor más conservador de entre los enunciados por Kuenen (P. M. Kuenen, 1946).

Estas consideraciones de Gilluly no sólo nos dan una medida de los valores actuales en relación con los antiguos, sino también una idea de los métodos aplicados en éste y en otros casos.

Podríamos prodigar las citas y los comentarios casi al infinito, pues el principio actualista es de lo más discutido en geología.

Nos llevaría tal análisis a una solución de compromiso, pero mucho más cercana al principio actualista que al catastrófico, según el cual la historia

de la Tierra se compone de una serie de ciclos, de fenómenos lentos, evolucionarios, que degeneran de tiempo en tiempo en unas épocas de actividad de las energías dinámicas internas y, como consecuencia, también de las externas. Estas etapas, mucho más cortas comparativamente hablando, son lo más parecido a alguno de los aspectos de las "revoluciones" o "catástrofes" de Cuvier y de d'Orbigny.

Aunque esta idea, considerada las circunstancias, fluye de por sí, ha sido Stille (H. Stille, 1924, 1940, 1944 y 1949) uno de los geólogos que más ha contribuido a darle expresión y formulación concretas. Pero exageró los conceptos de la definición de la coetaneidad y de la universalidad de los procesos acelerados (fases orogénicas) respecto a los procesos evolucionarios (fases geosinclinales) en tal manera, que pronto suscitó oposición y controversias (J. Gilluly, 1949; Struktur und Zeit, 1950), dando pie a la publicación de algunos trabajos que defienden la teoría evolucionaria a ultranza (E. M. Spieker, 1957).

Aun aceptando la teoría de Stille en todo su alcance no dejamos de apoyarnos en un concepto actualista, aunque limitado, puesto que más bien que la índole es el ritmo de las formaciones geológicas lo que experimenta variación en determinadas épocas, que Stille cree simultáneas y válidas para todo el globo, lo que daría al concepto una universalidad de ley, que evidentemente no tiene, puesto que la coetaneidad no afecta un valor estricto, sino meramente estadístico de los puntos o momentos álgidos.

Debemos subrayar el hecho de que tales momentos álgidos tienen su origen en la dinámica interna. La dinámica externa es más constante e inmutable. Por consiguiente, los principios actualistas podrán considerarse más universalmente válidos si se aplican a los fenómenos de la dinámica externa y en menor grado aplicados a la dinámica interna.

Propone entonces Simpson (G. C. Simpson, 1963) que se considere válida la ley del actualismo para lo inmanente, pero no para lo contingente o figurativo, y para prevenir a aquellos que consideren que esto es una verdad de Pero Grullo señala el ejemplo de la gravedad. La gravitación es un fenómeno inmanente, pero nadie puede demostrar que su valor no haya cambiado a lo largo de los tiempos.

Diremos, resumiendo, que no se puede mantener el principio del uniformismo o actualismo a ultranza, según el cual "los procesos que actuaron en la Tierra en el pasado son los mismos que actúan en el presente a la misma escala y al mismo ritmo". Coincido con Simpson y con otros muchos geólogos en que esta expresión es una deformación irreal y exagerada. Es cierto que los fenómenos que conocemos del presente han actuado en la

misma forma que en el pasado y de ello tenemos infinitas pruebas. Pero han podido variar las escalas, los ritmos o las combinaciones de los fenómenos actuantes. Y tampoco hay que excluir la posibilidad de que hayan tenido lugar en el pasado fenómenos que no ocurren en el presente, y el principio que admite esta posibilidad se reconoce con el nombre de "excepcionalismo" (E. Raguin, 1951). Es cierto que por el presente, y sólo por el presente, podemos conocer el pasado; pero quizá no nos dé las claves de todos sus enigmas.

### EXAMEN DEL CARACTER HISTORICO DE LA GEOLOGIA Y DE SUS IMPLICACIONES

Hay dos circunstancias que marcan indeleblemente el carácter histórico de la geología. Por un lado el rastreo, en el pasado, de los fenómenos que hubieron de intervenir para que quedaran impresas las características que observamos actualmente en las rocas de cualquier edad. Por otro lado, la reconstitución de la historia de la Tierra, fijando la época, en el tiempo, y el orden de sucesiones correlativas de fenómenos y estados de la corteza desde el momento de su creación hasta alcanzar su conformación actual.

Señalaremos de paso que nos encontramos los geólogos con una anfibología incómoda cuando empleamos la voz histórica aplicada a la geología, ya que tanto se emplea para designar la historia del pasado geológico como la reseña histórica de la evolución de las ideas geológicas o auténtica historia de la ciencia geológica.

No podemos perder de vista, además, que de todas las variadas ramas y especialidades de la geología la que expresa más netamente su carácter histórico es también la que alcanza más noble y elevada categoría, la paleogeología, es decir, la reconstitución de la faz de la Tierra en cada momento de su larga, variada y complicada historia, porque es la que exige más amplio y general caudal de conocimientos geológicos.

Señalaremos de paso que ese carácter histórico parece marcar los límites naturales de la ciencia geológica. Puesto que por razones de limitación de capacidad de observación la geología se ve constreñida sobre todo al estudio de la corteza terrestre, su límite histórico más remoto parece natural que se fije en la formación de la primera corteza de consolidación por enfriamiento. Lo que ocurrió antes, como lo que ocurre en las zonas más profundas, corresponde ya a los campos naturales de la astronomía y de la geofísica del

globo terráqueo. El otro extremo es más confuso, y el campo de la geología se superpone en él al de la historia, en el terreno de la prehistoria.

Sin embargo, los contactos de la geología con la astronomía y con la geofísica son constantes, ya que los fenómenos de dinámica interna dependen de causas geofísicas, y éstas probablemente tienen una profunda causalidad astronómica, como la tienen también algunos fenómenos importantes de geodinámica interna.

Su carácter fundamental de ciencia histórica impone a la geología unas determinadas técnicas y también unas determinadas limitaciones.

Entre las más importantes limitaciones tenemos el hecho del encadenamiento infinito de circunstancias, ya que las causas finales de cada disposición actual de materiales de la corteza terrestre, en cada localidad, en cada área, en cada región, cualquiera que sea la escala a que se considere, son la suma y consecuencia final, hasta el momento actual, de una larguísima serie o cadena de acontecimientos que se remontan hasta el origen mismo de la corteza.

Como decía en otra ocasión (Ríos, 1960), "de la misma manera que cada uno de nosotros llevamos en nuestro soma algo de la personalidad fisiológica, y aun psíquica, de la innumerable cadena de antecesores, cada situación geológica, sea roca, formación o conjunto, lleva indeleble la huella de los acontecimientos geológicos vividos". De modo que su lectura correcta y completa es muy difícil y tanto más cuanto más vieja sea la roca o situación geológica que se estudia.

Para Goguel (J. Goguel, 1951), uno de los hechos diferenciales en la parte informativa y observativa de la geología, no ya con respecto a otras ciencias físicas, sino incluso con las biológicas, es la continuidad de los fenómenos, que impide su delimitación y clasificación; como, por ejemplo, ocurre con la especie biológica; y en lo referente a la parte especulativa, en la clasificación de los hechos para la inducción de leyes, afirma que el verdadero método geológico es esencialmente un método histórico, y lo que le diferencia fundamentalmente de los de las ciencias físicas y químicas, que son sus herramientas frecuentes e inevitables, es el desinterés de éstas por el pasado.

Las rocas constituyen los documentos de que se nutre la geología como ciencia histórica, pero son documentos muchas veces maltrechos por el metamorfismo, por la acción de las fuerzas tectónicas y de los agentes atmosféricos. Son documentos registrados en la piedra viva, pero que han experimentado con frecuencia muchas fases y vicisitudes violentas y adversas a su conservación. Cada una de ellas ha borrado o destruido algo de lo existente

anteriormente y ha añadido algo nuevo. El geólogo debe saber recomponer y restaurar los efectos de estos fenómenos que han alterado sus características primarias averiguando las causas y situando los fenómenos en el tiempo, y utiliza para ello criterios del actualismo geológico: todo ocurrió en el pasado como observamos en el presente.

Afirmado este carácter histórico de la geología veamos cuál es su esencia.

Simpson (G. C. Simpson, 1963) subraya la diferencia entre lo inmanente en el universo material, es decir, las propiedades invariables de la materia y de la energía, así como los principios y procesos que son consecuencia de esas propiedades y son igualmente invariables, y lo contingente o mudable, constantemente variable, que Simpson prefiere llamar configurativo.

Para Simpson, el objeto de la ciencia natural (en su más amplia acepción) es la exploración del universo material en busca de relaciones naturales y ordenadas entre los fenómenos observados, y ha de ser susceptible de encontrar su propia comprobación. Es decir, la ciencia natural se ocupa de relaciones entre lo inmanente.

Por el contrario, una ciencia histórica tiene por objeto la determinación de secuencias configurativas (contingentes), su explicación y la comprobación, desde fuera, de tales secuencias y explicaciones.

Puesto que la geología se asienta en los dos grupos, ya que forma parte de las ciencias naturales y es fundamentalmente una ciencia histórica, debe contarse entre las más diversas de todas las ciencias. Por un lado estudia fenómenos inmanentes, no históricos, con aspectos puramente físicos, químicos y mecánicos aplicados al complejo objeto Tierra.

Cree Simpson, por consiguiente, que tiene carácter histórico todo lo que no se repite de idéntica forma, porque las circunstancias que exigen o acompañan al fenómeno no se reproducen nunca exactamente en la misma forma.

Los fenómenos físicos y químicos se estudian con condicionamiento o aislamiento de las circunstancias externas, de donde resulta una facilidad de definición y una posibilidad de formulación; son fenómenos y experimentos contenidos en sí mismos mientras que los fenómenos geológicos están siempre influenciados por circunstancias externas múltiples y complejísimas, y no son aislables, ni del ambiente actual ni de sus precedentes en el tiempo, lo que les impone un carácter especial y eminentemente histórico, ya que estas circunstancias varían constantemente. Según Simpson el físico elimina todo lo que no es inmanente, prescindiendo de lo histórico y configurativo y propone como ejemplo la teoría del péndulo, en que se busca una ley aplicable a todos los péndulos y, en objeto final, a toda la materia,

independientemente del espacio y de la época. El geólogo (y el paleontólogo) están igualmente interesados en generalizar las propiedades comunes y relaciones que sus generalizaciones se hacen sobre las propiedades configurativas, no sobre las inmanentes, y por consiguiente se ve apresado por el concepto de ciencia histórica, o como dice Simpson de otro modo: las propiedades de los objetos geológicos (y paleontológicos) no dependen solamente de sus características inmanentes, sino también de las configurativas, como creaciones que son de procesos históricos.

Concurro, con Simpson, en que en cuanto se desposee a un fenómeno geológico de su carácter histórico se le descompone en fenómenos físicos o químicos, y pierde en gran o en total medida su carácter geológico. Se le desgeologiza, si se me permite el empleo de este barbarismo.

Y, siguiendo de nuevo a Simpson, a las ciencias no históricas les concierne más el "cómo" que el "por qué". El primer paso del "cómo" de las ciencias no históricas es una descripción generalizada, y cuando consiguen llegar a la máxima perfección de expresión ésta plasma en leyes que manifiestan relaciones invariables entre variables.

Los cultivadores de las ciencias históricas no sólo se proponen el "cómo", sino además el "por qué", y entonces se añade en el razonamiento lo contingente o configurativo a lo inmanente.

Señala Simpson que en las ciencias biológicas juega un papel importante, además, el "para qué" (¿para qué son las alas de las aves?), que no tiene sentido en las ciencias físicas y químicas, ni en el aspecto puramente geológico de la geología.

La ligazón última entre los principios actualistas y la índole histórica de la ciencia geológica resulta patente de los esquemas que acabamos de exponer, pero ha sido muy bien subrayada por Brunn (J. M. Brunn, 1963), quien dice que para alcanzar los objetos que se propone la geología se parte de observaciones fragmentarias sobre la naturaleza actual, se coordinan esas observaciones para reconstituir una historia del pasado y volver de nuevo a una interpretación global y racional de la organización actual en el espacio, de los materiales terráqueos, y añade que hay en este método histórico algo muy notable e importante, ya que constituye un verdadero descubrimiento que la historia de las ciencias, y más generalmente el desarrollo del pensamiento moderno, deben a la geología.

## REPASO DE OTROS PRINCIPIOS Y OTRAS LIMITACIONES DE LAS CIENCIAS GEOLOGICAS. LA OBSERVACION. CONCEPTO DE FACIES

Por lo expuesto llegamos a la evidencia de que la fuente fundamental de conocimientos es la observación de los fenómenos actuales y su mecanismo esencial la inducción, en un proceso de reconstitución histórica del pasado, según los principios del actualismo geológico.

La geología nació de la observación (J. M. Ríos, 1960) y precisamente de las observaciones obtenidas en la práctica de la minería, así como del caudal recogido por los mineralógos y petrólogos de primera época, es decir por los geognostas.

La geología se nutre exclusivamente de la observación, en el sentido de que todos los resultados geológicos no son más que síntesis de observaciones, completadas por extrapolación. Las teorías no son más que hipótesis resultantes de una extrapolación mental por inducción extraída de la síntesis de observaciones. Nada de lo que se expresa en geología puede ir en contra de los hechos de observación, y los fallos de las teorías resultan de la colisión de sus contenidos con datos de observación desconocidos por sus enunciadores, o de la observación posterior de situaciones inéditas que resultan en contradicción de las teorías. Dice Simpson (G. C. Simpson, 1963) "El presente no sólo es una clave del pasado, sino la única de que disponemos".

Como dije entonces, en geología la observación es reina. Nada puede ir en contra de lo observado ni hay interpretación o principio que puede omitir o contradecir lo conocido por la observación. Hasta tal punto que el lema de esta ciencia podía ser: "todo mediante la observación, nada en contra de lo observado".

Mientras que las leyes físicas, químicas y mecánicas derivan sus leyes en gran medida, de la experimentación, este método tiene escasa aplicación en geología, y las razones las explicaremos más adelante.

Así es que un geólogo en el terreno, enfrentado con una situación geológica, necesita saber, observar y estimar toda clase de matices. Debe saber definir la disposición absoluta y relativa de las rocas en el espacio, y fijar por medio de medidas. Reconocer la clase de roca, por su composición, textura, color, dureza, etc. Distinguir la estructura del paquete, índole y grosor de la estratificación, calidad del afloramiento, y si forma o no parte de

un conjunto de orden mayor. Debe saber reconocer su contenido fósil y, finalmente, apreciar la edad con la máxima exactitud que le sea posible.

Porque de todo ello, y aplicando consciente o subconscientemente el método histórico, mediante el juego del principio del actualismo, tratará de definir la "facies" de la roca o conjunto de características que permite inferir, a partir de las circunstancias actuales de la roca, la máxima información acerca de las condiciones en que se formó, de dónde procedían sus materiales, qué clase de rocas constituían esas áreas de alimentación, así como su disposición y su relieve, cómo y dónde se depositaban y tratará de obtener la imagen más completa posible acerca de los ambientes climáticos, geográficos y geológicos entonces existentes.

Este concepto de facies es fundamental en geología, tanto en la teoría como en la práctica, y es de índole netamente histórica.

Si la definición de las facies es cosa complicada en el caso de las rocas dotadas solamente de características primarias, es decir, impresas en su origen o creación, mucho más lo es en el caso de las rocas que han sufrido después transformaciones trascendentales, introductoras de características secundarias, o añadidas, que se han superpuesto a las primarias. Entonces es preciso saber separar cuáles son las características primarias, aislarlas de las superpuestas y reconstituir las circunstancias del remoto pasado en que se formaron; y considerar, por otra parte, las características secundarias o superpuestas y, por su análisis e interpretación, reconstituir los procesos que las originaron, las circunstancias ambientales en que tuvieron lugar y la época o épocas en que se engendraron.

Así resulta que el concepto de facies, tan dependiente de la observación, fuente principal de la geología, es la herramienta fundamental de carácter eminentemente histórico, porque permite al geólogo remontarse al pasado.

Véase cuan íntimamente enlazados están unos con otros todos los principios geológicos, que no constituyen, como en otras ciencias, ramas independientes que enlazan sobre todo en el tronco, y que sólo ocasionalmente se cruzan, sino que en geología todos los principios están inextricablemente unidos e íntimamente entrelazados. Constituyen una trama, no un esquema.

Pero la capacidad de observación está afectada de muchas limitaciones (J. M. Ríos, 1962).

Estas limitaciones, que se ofrecen como obstáculo a las fuentes del conocimiento geológico, son de dos tipos:

1. Naturales, constituidas por obstáculos que la naturaleza opone a la observación.

2. Circunstanciales, constituidas por la calidad de las circunstancias variables bajo las cuales nos sea posible practicar la observación.

Son naturales, o de fundamento (y no mencionaré más que algunas que nos den el concepto de la idea), por ejemplo, la falta de continuidad de los afloramientos, o su escasez o su ausencia total; abundancia, escasez o falta total de fósiles; inaccesibilidad o impracticabilidad de algunas zonas de observación, tales como montañas escarpadas, interior de los volcanes en erupción, fondos marinos, que constituyen tan importante parte de la corteza terrestre y de los que se conoce tan poco, etc.

Son circunstanciales, o de ocasión, la diferente susceptibilidad de observación, cambiante con las estaciones del año, con la hora del día, con la iluminación, con el sentido de la marcha. (Véase una ampliación de estos conceptos en J. M. Ríos, 1960.)

#### EL CONCEPTO DE TIEMPO EN GEOLOGIA. MULTIPLE ASPECTO. LIMITACIONES QUE OCASIONA

La importancia del concepto de tiempo, en geología, ha constituido un motivo temático tan insistente en nuestras anteriores consideraciones que no es preciso volver sobre ese punto. Pero sí debemos examinar las diversas facetas de su intervención en el proceso geológico, así como la cuestión de su escala y las limitaciones que supone.

El factor tiempo interviene en el proceso geológico bajo dos facetas, como factor absoluto o mecánico y como factor relativo, de sucesión y cronología.

Señala Brunn (J. H. Brunn, 1963) que es la geología la que ha introducido la noción del tiempo, a escala sobrehumana, en el campo de las ciencias, como lo habían hecho los astrónomos para la noción sobrehumana del espacio, al calcular las distancias interestelares.

Esta colosal escala de tiempos es uno de los principales obstáculos para la comprensión y, aún más, para la formulación de los procesos geológicos.

Los tiempos geológicos son inmensamente largos, con un concepto y una escala profundamente distintos del concepto humano del tiempo.

La medida humana del tiempo no cuenta en geología. Sólo fenómenos efímeros y poco trascendentes como son una erupción volcánica, el desarrollo y efectos de un terremoto, el desprendimiento de rocas, el desplome de una

cornisa costera, etc., son observables en su totalidad desde su génesis aparente hasta su conclusión. De otros fenómenos no vemos más que episodios más o menos efímeros, pero que nos bastan para comprender la totalidad de su proceso. La sedimentación, por ejemplo, es un fenómeno lentísimo, hacen falta muchos miles de años para conseguir que se forme un débil espesor de sedimento y muchísimos más para que se consolide como una roca firme. Pero basta la observación que puede practicar un geólogo y muchísimo más las observaciones acumuladas por generaciones de geólogos para comprender el fenómeno, y así ocurre con la mayor parte de los fenómenos de dinámica externa, algunos de los cuales se desarrollan, en todo caso, a la escala humana de tiempos.

Pero los fenómenos de dinámica interna, sobre ser inobservable su génesis, que tiene lugar en regiones profundas de la corteza, se desarrollan a la escala sobrehumana de tiempos, que rebasa amplísimamente, incluso para los actos tectónicos, los cuales son tan rápidos para la medida geológica del tiempo (relativamente hablando) que son considerados por algunos como catastróficos o casi catastróficos, o al menos como revoluciones, como fenómenos opuestos a las evoluciones.

Por lo que se refiere a sus efectos mecánicos, las escalas de los tiempos geológicos introducen un difícil factor que sólo en los últimos tiempos llega a comprenderse e incluso busca una formulación.

Nos dice la física moderna que el concepto de rigidez es una función del tiempo. No hay material absolutamente rígido si se le da el tiempo necesario para lograr su deformación, incluso sometido a fuerzas proporcionalmente pequeñas, por ejemplo su propio peso. La deformabilidad es, por consiguiente, función de la duración del esfuerzo o, dicho de otro modo, de la velocidad de aplicación de las fuerzas (S. W. Carey, 1953).

Pero como en geología los periodos de tiempo son inmensos comparados con los de la técnica humana, factor al que se acumula el de la escala misma de dimensiones de las fuerzas, el concepto de rigidez resulta muy difícil de evaluar si se ha de deducir por comparación con el que se aplica en las técnicas o experimentos humanos.

Sin embargo, aun dentro del concepto geológico, se sigue conservando la escala de categorías, así es que en geología, como en la técnica, cabe hablar de materiales rígidos, menos rígidos, plásticos y fluidos. Se sabe que materiales que en la actualidad se comportan en sus actuales posiciones superficiales como extremadamente rígidos, se deformaron plásticamente cuando quedaron sometidos en profundidad a los esfuerzos deformantes, quizá por efecto de la velocidad de aplicación de las fuerzas, quizá por el

efecto acumulado de la temperatura (S. W. Carey, 1953). Hay casos en que los estudios microscópicos permiten separar ambos efectos, pero no siempre se llega a conclusiones claras.

En cuanto al tiempo, como factor histórico o cronológico, su función es tan clara que apenas necesita explicación.

Se trata de colocar los acontecimientos en la escala de los tiempos geológicos. El método ideal es el de tiempos absolutos, que se consigue parcialmente por los métodos radiactivos, perfectos en teoría, pero sujetos a muchas limitaciones.

El método habitual y clásico, que coincide con el propio origen de la geología, es el de datación relativa, según los criterios de superposición o antecendencia puros, o más generalmente ligados al concepto histórico, paralelo de la evolución biológica, mediante el empleo de los fósiles, también sujeto a limitaciones de índole o de circunstancia (H. D. Hedberg, 1961, y J. M. Ríos, 1962).

#### OTROS CONCEPTOS FÍSICOS. ESPACIO. PRESIONES. TEMPERATURAS. LIMITACIONES QUE OCASIONAN

Muchos de los dolores de cabeza que aquejan a los geólogos residen en la magnitud de las escalas de los factores físicos que han de manejar, y que son causa de parte de su complejo de inferioridad.

Nos referimos al alcance difícilmente imaginable de los valores de temperatura y presiones, sobre todo presiones, que intervienen en los fenómenos geológicos, y a la manera y efectos de su combinación.

Cierto es que la energía atómica ha puesto en manos del hombre la posibilidad de alcanzar valores muy elevados, probablemente muy próximos, posiblemente con exceso, de los que juegan en los fenómenos de la corteza superficial, pero sobre todo en las regiones profundas.

Pero cuando se aplica en experimentos geológicos, tales como explosiones subterráneas, nos encontramos con que no hay paridad en la escala de aplicación, ya que el desarrollo de estos últimos valores en la actividad humana se concentra en superficies muy reducidas y afecta a volúmenes muy pequeños, mientras que en la corteza terrestre cualquier fenómeno geológico trascendente atañe a volúmenes infinitamente mayores, y también son sumamente dispares las velocidades de aplicación de las fuerzas y temperaturas, instantáneas en el caso de las experimentaciones nucleares y lentísimas en los casos naturales.

De modo que ni siquiera las explosiones atómicas subterráneas, que tratan de reproducir algunos fenómenos naturales en que intervienen altos valores de presiones y temperaturas, tienen valor de ejemplaridad por muy interesantes e instructivos que sean sus resultados. Su valor es meramente indicativo. Pero la experimentación en geología es una materia muy discutida y que merece que se le dedique atención aparte.

Hay problemas físicos y químicos, con juegos de presiones y temperaturas, que pertenecen al campo especial de la petrología, ciencia muy afín a la geología, pero que, como hija en mayoría de edad, tiene autonomía y debe dilucidar sus propios problemas.

A escalas de espacios de superior categoría el geólogo se enfrenta con la imposibilidad no ya de cifrar, o medir, los esfuerzos en juego, sino de ubicarlos y juzgar sus intervenciones.

Observa y mide sus consecuencias, puede analizarlas y obtener inducciones, pero no puede llegar más que a muy esquemáticas conclusiones, que por lo general se limitan a apreciar las direcciones de los empujes, o resultantes de los campos de fuerzas.

El problema es algo menor con las temperaturas, ya que ni el concepto es tan difícil de manejar ni de expresar, ni las cifras se alejan tanto de las que manejan las técnicas, sobre todo las modernas.

Pero el problema resulta muy complicado si se tiene en cuenta que en casi todos los fenómenos geológicos ambos factores actúan y crecen conjuntamente, y los efectos del crecimiento de uno de ellos ejerce influencia sobre los resultados de la actuación del otro. Todo ello, por ahora, completamente fuera del campo experimental en que se deducen los coeficientes y fórmulas que se manejan en las técnicas físicas.

A las interacciones de estas dos variables, inasequibles a las escalas geológicas, se une la del tiempo, que interviene como dijimos antes al variar las propiedades mecánicas de resistencia de los materiales con la variación de las velocidades de aplicación de las fuerzas, y la del espacio, ya que actúa todo ello sobre volúmenes ingentes de roca que escapan a toda posibilidad imaginable de extrapolación de los resultados de la experimentación.

Como ejemplo de problema de escala en cuestión de espacios hemos dado en otro lugar (J. M. Ríos, 1960) el hecho de que en geología petrográfica, sobre todo ígnea, se halla el pasar de la escala natural del petrólogo, la de una preparación microscópica, a la del geólogo, por ejemplo las dimensiones de un batolito, es decir extrapolar del estudio de preparaciones de rocas de 2,5 × 2,5 cm. escasos, a cientos de kilómetros cuadrados de superficie y miles de kilómetros cúbicos de roca. Por mucho que se multi-

plique la extracción de muestras persiste una inadecuación básica de escalas, una falta de proporcionalidad fundamental.

Esta falta de proporcionalidad de escala entre lo técnico y experimental por un lado, y lo natural por otro, constituye una limitación natural o intrínseca, de las ciencias geológicas, tanto para su formulación principal y matemática como experimental. Es cierto que, como decíamos antes, el desarrollo de las técnicas nucleares va a permitir, o está permitiendo ya, el manejo de mucho más altas presiones y temperaturas que las que hasta ahora habían contribuido en los experimentos al establecimiento de los parámetros y coeficientes físicos, de modo que se reduce al inmenso hueco que quedaba entre lo experimental y lo real. Será preciso esperar algún tiempo para ver qué frutos aportan esos nuevos conocimientos, que pueden ser grandes, e incluso definitivos, si además consiguen salvar de alguna manera la enorme diferencia existente entre las masas y volúmenes de los objetos experimentales y reales, y la barrera de las diferencias entre las velocidades de aplicación.

También está recibiendo ya ayuda la geología de la moderna técnica de cálculo automático, y se espera que la reciba mucho mayor en lo futuro. Su papel se ve inmediato en la tabulación, memorización y capacidad casi instantánea de comparación entre los infinitos datos informativos de la observación. Tiene sus limitaciones, que por otra parte no son distintas de las que resultan de su aplicación o problemas parecidos no geológicos, y la principal reside en la falta de elemento subjetivo de estima y apreciación, es decir, en su cualificación.

Y también es grande su promesa en la capacidad que tiene de manejar y resolver problemas de muchas variables, actuando simultáneamente. Es el caso corriente en geología, y esta pluralidad de variantes constituye una de las limitaciones más serias que se oponen al progreso de las ciencias geológicas hacia la expresión exacta y cuantitativa.

Pero de ambos conceptos nos ocuparemos con más detalle en otra parte de este discurso.

#### CONCEPTOS FUNDAMENTALES PROPIOS DE LA GEOLOGIA, ISOSTASIA, GEOSINCLINAL, OROGENESIS, DERIVAS CONTINENTALES, ETC.

Hay otra serie de conceptos en geología, que, como los principios ya examinados, constituyen piezas clave del pensamiento y del mecanismo geológico, tanto en la teoría como en la práctica. Son las ideas de geosin-

clinal, isostasia y orogénesis, todas ellas íntimamente ligadas entre sí y, como colateral, la de las derivas de los continentes. Un problema ligado a todas ellas, y cuyo carácter es astronómico-geológico, o al menos geofísico-geológico, es el de si la Tierra se contrae, como han pensado hasta ahora la mayoría de los geólogos, o se dilata, como está tratando de demostrarse, tanto en el campo de la teoría pura como en la de su aplicación a las ideas recién mencionadas. (P. Pruvost, 1951.)

No podemos entrar en análisis detallados de estas ideas, ya que cada una de ellas constituye un mundo geológico y un mundo apasionante. Seguir su evolución histórica y analizar cada una de las interpretaciones pasadas y presentes requeriría volúmenes, pues estas interpretaciones, incluso las actuales, son múltiples y la literatura copiosísima.

Diremos aquí, de paso, que uno de los métodos más eficaces, y también más apasionantes, tanto para el estudio y enseñanza de la geología, como para el análisis de sus fallos y limitaciones, pero también de sus logros, es el del estudio y seguimiento de la evolución histórica de las ideas y teorías geológicas.

Resulta extremadamente instructivo y aleccionador ver cómo nace en la mente de un geólogo una idea o teoría acerca de materia trascendente, cómo se desarrolla y afianza, cómo es discutida y combatida, bien para lograr su afianzamiento o para caer; a veces para renacer de nuevo años más tarde bajo diferentes versiones o modalidades.

Tal es el caso de la mayor parte de las teorías geológicas contraccionistas, de las derivas continentales, de las causas orogénicas, de los alzamientos verticales isostáticos.

Desgraciadamente es un método tan lento y trabajoso como eficaz, y por consiguiente poco compatible con las exigencias de los vertiginosos tiempos modernos.

Vemos, con verdadero sentimiento, cómo la enseñanza de la historia de las ciencias geológicas, de la evolución de las ideas y teorías, va desapareciendo rápidamente de los textos, que necesitan dedicar sus páginas a acoger la infinidad de los modernos avances.

La misma razón nos veda aquí entrar en el estudio de la evolución de estas ideas geológicas radicales y únicamente vamos a delinear un esquema generalizadísimo del papel que desempeñan en el ideario geológico y señalar el carácter común a todas ellas: el de su indeterminación actual.

La idea de geosinclinal viene a constituir una síntesis de todos los efectos de los fenómenos de la geodinámica externa en la medida en que éstos contribuyen a suministrar y capacitar la acumulación de potentes

masas sedimentarias, y por otra parte de una serie de fenómenos de dinámica interna, más bien intuitivos que conocidos, mediante los cuales esas acumulaciones son plegadas, deformadas y llevadas a la superficie como cadenas de montañas.

Por la mera enunciación de su contenido se comprende que la doctrina del geosinclinal constituye una de las piezas fundamentales del pensamiento geológico (A. Knopf, 1948).

La doctrina de la isostasia trata de explicar, y hay explicaciones para diversos gustos, cómo está constituida y fragmentada la corteza terrestre en elementos adyacentes pero independientes, cuyo juego de desplazamientos verticales relativos permite deformaciones con constitución de grandes senos y grandes abultamientos en la superficie de la corteza, u otras deformaciones del mismo carácter, pero de menor escala.

Es una doctrina geológico-geofísica, que va íntimamente ligada a la del geosinclinal. Esta la necesita para explicar cómo pueden descender los fondos de los senos sedimentarios, al mismo tiempo que los sedimentos conservan su cota por debajo del nivel, poco variable, de la superficie de los mares. Y también es requerida por las teorías orogénicas para explicar cómo los sedimentos, una vez plegados y deformados, a gran escala y con violencia, en zonas profundas, pueden elevarse de nuevo a grandes alturas sobre el nivel de la corteza terrestre. Es decir, no es que puedan elevarse, sino que se ven obligados a elevarse por un juego de equilibrio retardado, que es el que da nombre a la doctrina de la isostasia.

La doctrina de la isostasia liga los fenómenos de la corteza superficial, teatro de la acción de la dinámica externa, con los fenómenos de la dinámica interna, que tienen su motor en la corteza profunda, fenómenos que, por ahora al menos, tienen puro carácter especulativo.

La doctrina de las derivas continentales trata de explicar la configuración actual de la corteza terrestre, mediante desplazamientos horizontales relativos de unos fragmentos de la corteza superficial rígida, con respecto a los otros, de donde le viene su nombre. Es hija también de la doctrina isostática y tiene en su apoyo numerosos argumentos geográficos, geológicos y biológicos. Ha nacido varias veces, y su versión más sonada es la de Wegener (A. Wegener, 1924). En todas sus versiones ha sido siempre muy discutida, pero estas discusiones han sido muy fructíferas. Las controversias desencadenadas por Wegener, y tan brillantemente sostenidas por él y por sus adversarios parciales o totales, han arrojado profunda luz sobre muchas cuestiones de geología, paleobiología y geofísica. Dieron pie a cantidad de estudios que han hecho avanzar en muchas direcciones a las

ciencias geológicas, tanto en detalle descriptivo como en el concepto éorico.

Actualmente se puede decir que vive en la mente de todos los geólogos es casi universalmente aceptada en versiones distintas y muy modificadas, pero derivadas de la de Wegener. Y sin embargo estas ideas habrán de ser sujetas a muy estrecho examen, ya que los estudios geofísicos más recientes o parecen confirmarla.

Su opuesta era la teoría de los continentes puente, que puede considerarse actualmente abandonada, porque exige una interpretación catastrófica y porque no acuerda con la doctrina de la isostasia, de universal aceptación bajo una u otra forma.

Las teorías orogénicas, no obstante el papel vital que desempeñan en la teoría geológica, son extremadamente diversas e inciertas. Algunas de ellas podrían designarse como epiteliales, y se refieren a efectos mecánicos del espejamiento de las capas superficiales de la corteza sobre horizontes deslizantes, como consecuencia de la creación de gradientes gravitativos. No es a ellas las que nos referimos ahora, sino a aquellas deformaciones trascendentales y violentas que se desarrollan en ámbitos más profundos de la corteza terrestre y que por tener lugar en regiones donde las presiones son muy grandes y las temperaturas elevadas, van muchas veces acompañadas de reformaciones estructurales y materia, o sea de metamorfismos. Las partes profundas de estos sistemas, además, por gravitar encima potentes paquetes de stratos y masas de rocas, se deforman bajo régimen de contención, lo que a lugar a estilos peculiares de deformación, que por otra parte facilitan su reconocimiento e interpretación.

Estas doctrinas orogénicas van ligadas a la del geosinclinal, puesto que el fenómeno orogénico no es sino la fase final, de rápida evolución, del lento secular fenómeno geosinclinal. Y también a la de la isostasia, pues estas masas comparativamente ligeras e insertas a la fuerza y deformadas en el seno y las rocas más densas de la corteza profunda, se ven obligadas a alzarse luego en el reajuste del mecanismo isostático como cadenas de montañas.

La pluralidad de opiniones acerca de las doctrinas mencionadas indica por sí sola, sin necesidad de descender al examen de su discusión, la inconsistencia de las bases.

La mayor parte de esa inconsistencia radica en que son doctrinas que implican fenómenos que se desarrollan en las zonas profundas de la corteza, completamente excluidas de la observación directa y de la que tenemos solamente la información suministrada por la geofísica, que no es disciplina comprobativa sino interpretativa.



Por consiguiente, y por ahora, no podemos hacer otra cosa que inferir y emitir hipótesis, que sólo han de evitar unos pocos escollos de observación interpretativa.

Durante casi dos siglos ha dominado la mentalidad geológica la idea de que la Tierra está en proceso de contracción. Geólogos tan modernos en el pensamiento geológico, tan distinguidos en el cuadro de la ciencia como lo es, por ejemplo, Stille (H. Stille, 1924, 1944, 1946, 1949) son decididamente contraccionistas. No obstante las objeciones de muchos órdenes, sobre todo mecánicas, que desde antiguo se han opuesto a la idea de la contracción, es ésta tan sencilla y sugestiva que se ha impuesto quizá por exceso de complacencia. Cierto es que los sistemas de plegamiento, que constituyen los aparejos geológicos de mayor categoría y más aparatosos, suponen un acortamiento del espacio que actualmente ocupan con respecto al que ocupaban antes de experimentar su deformación. Y, sin embargo, la Tierra ¿se contrae o se dilata?

A partir del descubrimiento del fenómeno de la radiactividad y, sobre todo, de la existencia de grandes masas de rocas radiactivas en la corteza externa empezó a ponerse en duda que el gradiente calórico de la Tierra fuera negativo, es decir, que la Tierra se enfriase, principal explicación de la contracción. Por el contrario, la Tierra debe caldearse como consecuencia de la radiactividad o de otros procesos. Estamos lejos aún de poder afirmarlo, pero ésta es la tendencia de las estimas y cálculos más modernos (P. Jordan, 1965).

La contracción de la Tierra permitía explicar cómodamente, aunque no sin serias objeciones, mediante arrugamiento de la corteza, el origen de las fuerzas de compresión necesarias para explicar el origen de los sistemas plegados. La isostasia permitió luego una explicación en que el principio de la contracción continuaba involucrado, pero en menor grado.

Pero la comprobación de que muchos sistemas plegados ofrecían en conjunto durante su periodo de creación no una deformación convexa hacia la superficie de la Tierra, sino convexa hacia el interior, hizo vacilar profundamente la idea contraccionista.

Entonces aparecieron las explicaciones actualmente en boga, y no faltas de determinadas pruebas geológicas y geofísicas, según las cuales en las regiones profundas de la corteza, en la de los magmas, se desarrollan corrientes de convección ocasionadas por el gradiente de temperatura. Que estas corrientes, de diferente extensión y disposición, según las diversas teorías, se oponen en su sentido, de modo que actúan como molinos de rodillos que comprimen las rocas de la capa externa y las fuerzan a penetrar hacia

las zonas profundas, originando sus extremas deformaciones y reformativas.

Inversiones del sentido de las corrientes, o restablecimientos de equilibrio exigidos por el mecanismo isostático, ocasionan la resurgencia a la superficie e los conjuntos deformados.

A este mecanismo es totalmente ajena la contracción, como lo es al de las deformaciones que he llamado epiteliales, que tienen lugar en la corteza superficial y que están causadas por la combinación de un gradiente gravitativo y de determinadas propiedades mecánicas de algunas de sus rocas, que favorecen al despegue y deslizamiento (P. Fallot, 1947).

Apoyados en la tendencia a admitir una Tierra en dilatación y liberados de la necesidad de aceptar la contracción como motor de la deformación de las rocas, los geólogos se han lanzado a una serie de investigaciones tendentes a demostrar que las deformaciones de todos los tipos pueden también ser explicadas por movimientos verticales (S. W. Carey, 1964; E. S. O'Driscoll, 1964).

## METODOLOGIA GEOLOGICA

Acabamos de pasar revista a los principios y doctrinas más salientes y fundamentales de la geología, es decir, a los que atañen a los fenómenos conceptos de índole más general y universal, y vemos que difícilmente se les podría aplicar la designación de leyes, como discutiremos más adelante.

No solamente carecen de formulación universal, sino que además no son aceptadas universalmente y quedan aquejadas de excesivas limitaciones, que también analizaremos después.

Vamos a tratar, en las páginas que siguen, de analizar cuáles son los métodos que sigue el geólogo para, no obstante sus limitaciones, llegar a conclusiones fidedignas y útiles, y llegar a la posibilidad de apreciación de cuál es la confianza que estas conclusiones pueden merecer de acuerdo con las circunstancias.

Los geólogos que dedican algo de su tiempo a la meditación de estas cosas conocen bien la flojedad de los principios generales, pero no así muchos de los geólogos practicantes de la geología de campo y de la geología aplicada a la minería, porque en general los libros de texto no insisten sobre la importancia de estas limitaciones, si es que llegan a mencionarlas.

Y existe el grandísimo peligro de la complacencia cuando se ignoran o se olvidan las limitaciones básicas a que están sujetos nuestros principios.

No sólo porque falta el estímulo de la duda, que impulsa al análisis y, por consiguiente, al avance de las cuestiones, sino porque construimos sobre terrenos movedizos sin molestarnos en adoptar las técnicas adecuadas para cada caso. También se puede construir sólidamente sobre terrenos falsos, pero es preciso tomar las precauciones necesarias.

De entre los geólogos que con más vigor y vehemencia han señalado este peligro destacamos a Haarmann (E. Haarmann, 1935), porque lo cierto es que aun con principios en parte falsos, dudosos, contradictorios o limitados se puede hacer avanzar las ciencias, como lo prueban tantos y tantos casos en las mismas ciencias físicas, de base mucho más exacta.

Son falsas e incompletas, en esos casos y en materia geológica, las circunstancias generales, ciertas y válidas las observaciones e indicaciones parciales.

En geología tenemos infinidad de inducciones a partir de observaciones que son absolutamente ciertas y válidas y que son de universal aplicación, pero que se refieren a fenómenos parciales, tales como hechos de erosión, sedimentación, metamorfismo, deformaciones, comportamiento físico de la corteza, etc., y constituyen aspectos parciales que han de ser desde luego integrados en principios generales. Y es la certidumbre de la exactitud de esos conocimientos y de las inducciones a que se llega, lo que inspira una falsa confianza de conocimiento, una complacencia, cuando se pasa a planos más generales o más elevados.

Señala Maritain (J. Maritain, 1962) que disponemos esencialmente de dos géneros de argumentación, de modo que la verdad sólo puede hacerse manifiesta a nosotros por dos vías: por argumentación deductiva o silogismo, en que nuestro espíritu se encamina hacia la verdad partiendo de los primeros principios universales, conocidos inmediatamente por la inteligencia, y enlaza después a esos principios una conclusión. La mente se mueve puramente en el plano inteligible y manifiesta la verdad de una proposición en tanto quede ésta contenida en una verdad universal, de la cual deriva. Y cita Maritain como ejemplo: Todo lo que subsiste inmaterialmente es indestructible, el alma humana subsiste inmaterialmente, luego el alma humana es indestructible. Nada más ajeno que la geología, evidentemente, a este tipo de argumentación, al menos para sus principios fundamentales.

Luego la argumentación geológica sigue, manifiestamente, el segundo camino señalado por Maritain, el inductivo, en que la mente, a partir de los datos de los sentidos (y de los hechos de la experiencia), que son la pri-

era fuente de nuestro conocimiento, se mueve del plano de lo sensible al e lo inteligible.

Bradley (W. H. Bradley, 1963) señala tres métodos fundamentales de pensamiento geológico, por inducción, por analogía, por imaginación.

Veamos algunas características de estos métodos de pensamiento.

#### ) *Razonamiento inductivo.*

Según Maritain (J. Maritain, 1962), la inducción es un razonamiento mediante el cual, a partir de datos singulares o parciales suficientemente numerados, se infiere una verdad universal.

Con un criterio más inmediatamente aplicable a la geología, tenidas en cuenta sus limitaciones, el razonamiento inductivo es aquel que se remonta el hecho a la causa, de lo implícito a lo explícito.

Aclara Maritain que la inducción va del plano sensible al plano inteligible; lo que es medio en la inducción no es un término universal, es una numeración de individuos o de partes. De modo que la inducción sube de las partes al todo y desciende del todo a las partes, procediendo en virtud de la conexión de las partes con el todo universal.

Señala Bradley que del razonamiento inductivo no puede escapar la ciencia geológica, por la necesidad de llegar al todo mediante una reconstrucción de las partes, así como por el carácter fragmentario del material informativo de que dispone, pero lleva consigo un riesgo, el riesgo que acompaña a todas las extrapolaciones.

Pero como el método geológico es esencialmente inductivo, seguiremos hablando del tema al tratar, más adelante, de la metodología geológica.

#### ) *Razonamiento por analogía. Ejercicio de la memoria. Estadística.*

Para Bradley el razonamiento por analogía es consustancial con todo el pensamiento humano, y hay filósofos como Hume y Mill para los que todo razonamiento, de cualquier clase que sea, se basa en analogías y en la capacidad de reconocerlas.

El geólogo, en la práctica de su vocación, compara constantemente situaciones, próximas y remotas. Las situaciones próximas para poder apreciar la evolución de circunstancias. Las situaciones remotas para apoyar, en el precedente o enseñanza de problemas ya resueltos, posibles soluciones para el problema con el que se enfrenta.

Debe comparar constantemente y mentalmente, o por sus notas de campo, la composición y disposición de las formaciones geológicas, sus colores,

facies, etc., lo que le permitirá situar en el tiempo y en el ambiente geológico las que tiene en su estudio.

Y lo mismo actúa pero aún con mayor intensidad y amplitud, cuando desarrolla sus observaciones sobre el tablero. Al componer sus mapas debe saber reconocer la identidad, o establecer las diferencias que resultan de sus anotaciones en el campo y de lo que la memoria le pueda aportar. De modo que el trabajo por analogías es método no ya habitual, sino consustancial, con la índole de la materia geológica.

De aquí que el ejercicio de la memoria sea no ya importante sino imprescindible en el ejercicio de la geología, como en el de las ciencias biológicas (paleontología, zoología y botánica históricas).

Subrayé en otros trabajos (J. M. Ríos, 1960) cómo la mineralogía y la petrografía, que más que ciencias auxiliares constituyen columnas básicas de la geología, son disciplinas eminentemente descriptivas y, como tales, memorísticas. Hay que recordar composición, dureza, brillo, color, grupo cristalino, etc., de los minerales, así como sus paragénesis en la composición de rocas y criaderos; gran número de detalles para los que el geólogo va a depender fundamentalmente de la memoria.

En general, y sobre todo los estudiosos que parten en su formación del campo matemático, suelen no ya manifestar, sino incluso hacer gala de un desprecio olímpico por lo memorístico. Y sin embargo la memoria, como el entendimiento y la voluntad, son potencias del alma, dones de la Providencia, en igualdad de categoría.

La memoria, en grado excepcional, puede ser innata en algunas personas, pero de igual modo que el entendimiento y la voluntad, puede ser desarrollada en grado insospechado mediante el ejercicio.

El ideal reside, por consiguiente, en desarrollar conjuntamente la memoria y el entendimiento, el raciocinio y la retención. En el caso de las Ciencias Naturales (s. str.) el ejercicio de la memoria no es optable. Hay que memorizar, hay que retener infinidad de detalles para poder establecer con la máxima amplitud y la más sólida base el razonamiento analógico, método fundamental de la geología.

La estadística es aquella disciplina que reúne gran cantidad de información sobre determinadas materias que interesan, con objeto de poder llegar a conclusiones por el método analógico.

En general, cuando se habla de valores estadísticos se da por entendido que se trata de valores promedios, pues el objeto de la mayor parte de las recopilaciones estadísticas tratan de conseguir el conocimiento de qué es

lo que desea, o cómo se comporta, o de qué se compone, una mayoría de hechos o personas.

La geología tiene una mecánica estadística en el sentido de que, siendo la observación su principal y casi exclusiva fuente de información, ha ido acumulando inmenso caudal de datos de observación en incremento geométrico, que luego valora mediante los métodos analógicos.

Y sin embargo es en esencia netamente antiestadística porque, como dijimos antes, lo que suele tener interés en estadística son los valores medios y deja caer los extremos, las excepciones, y en geología, sin embargo, las excepciones tienen, por lo menos, el mismo valor que la regla y, muchas veces, mayor importancia e interés.

No puede omitirse la información suministrada por un afloramiento inexplicable e inexplicado, o una disposición extraña de roca, incluso aparentemente inverosímil, porque constituya excepción o porque ocupe una reducida extensión.

Si en un área, donde por ejemplo todos los afloramientos son de Mioceno continental, encontramos unos pocos metros cúbicos de materiales del Keuper, o del Cretáceo inferior, o del Siluriano, desconocidos en la región, englobados o que reposan encima, no valdrá decir que como es extrañísimo, y tienen tan poca extensión, ha de hacerse caso omiso de ellos. Muy al contrario, han de ser estudiados y cartografiados con todo cuidado y ha de intentarse una explicación. Se llegará o no a una interpretación verosímil, pero lo que no se podrá, de ninguna manera, es omitir el hecho.

En geología las excepciones tienen mucha más importancia, con frecuencia, que la regla, porque manifiestan muchas veces la existencia de procesos y fenómenos complejos, generalmente trascendentes, de las que son testimonio aquéllas.

Podemos reunir estas consideraciones diciendo que la estadística, en geología, tiene valor informativo pero no normativo.

Los cerebros electrónicos se han introducido de muchas maneras en las técnicas geológicas como consecuencia de sus características memorísticas y de su método analógico.

La cantidad de información geológica reunida hoy en día es tal, y aumenta a tal velocidad, que no hay mente humana, ni la mejor dotada, que pueda seguir el paso de tal información, asimilarla y establecer comparaciones analógicas.

Así es que se ha llegado al caso de una mecanización de la geología, utilizada en muy diversos aspectos.

En otro trabajo he lamentado (J. M. Ríos, 1962), por puras razones

humanas, que haya de ser así, pero es un fenómeno arrollador e inevitable, como lo es el crecimiento de la población humana, causante remoto de estos fenómenos.

Así, por ejemplo, hoy en día los geólogos de campo, que recogen la información de observación para la geología industrializada, por ejemplo la petrolera, hacen uso de tarjetas preparadas, donde perforan las casillas correspondientes al dato pertinente observado.

Y luego los cerebros electrónicos clasifican, comparan y devuelven los datos computados de acuerdo con la información que se demandó. De este modo el geólogo de campo llega a convertirse en un verdadero operario, disgregado de toda evolución mental posterior a la observación, y la evaluación de esos datos es hecha por otro grupo de operarios que no ha pisado, que ni siquiera conoce el terreno.

### c) *Razonamiento por imaginación.*

Sería ingenuo querer negar que la geología es una ciencia altamente imaginativa. Lo que hace falta analizar es si ello constituye un detrimento o un mérito, cosa que haremos más adelante.

Señala Bradley que mucha gente considera la imaginación sólo como un medio para crear, sin base, cosas caprichosas e irreales, pero añade que la calidad fragmentaria de la información geológica obliga al geólogo a utilizar la imaginación, aunque sólo sea para reconstruir las partes que faltan y visualizar de este modo imágenes espaciales completas.

Llega incluso a designar a la tan atacada imaginación el primer lugar en el proceso mental de los geólogos.

Es cierto que la imaginación ocupa, si no el primer lugar, un papel muy importante en los mecanismos mentales del geólogo, ya que no sólo interviene en la restitución de imágenes incompletas al estado original, para lo que tiene como punto de partida informaciones muy concretas y de gran exigencia de circunstancias, sino que la emplea masivamente para tratar de elevarse de estas reconstituciones, perfectamente normales, a niveles mucho más generales y altamente especulativos, a través de hipótesis imaginativas, tratando de crear principios, ya que no puede crear leyes.

Cueto y Rui-Díaz dice: Se discute por muchos, se duda, si la geología es una ciencia o si más bien es un conjunto, sólo aparentemente sistemático, de especulaciones desprovistas de base lógica, en cuya elaboración tiene parte principalísima la imaginación, mientras que las restantes funciones del espíritu desempeñan sólo papeles secundarios. Y no sólo opinan

así gentes alejadas de la geología, que ignoran sus técnicas, o que al menos no tienen un sentido claro del objeto y métodos de la geología, sino que también entre profesionales e ingenieros de Minas existe este espíritu, no obstante que militan en una profesión cuyo principal objeto es la extracción de las riquezas minerales que atesora la corteza terrestre, y para los que la geología constituye el fundamento científico de sus actividades industriales.

Pero, sigue Cueto, no puede menospreciarse en modo alguno el papel que desempeña la imaginación en geología, ni tampoco en otras ciencias. Cita a Tyndall (1873), quien expresa que la imaginación, contenida en sus justos límites y condicionada por la razón, se convierte en el instrumento más poderoso de los descubrimientos, y para Tyndall el descubrimiento de la ley de la gravitación universal constituye un triunfo estupendo de la imaginación. Ciertamente que, como dice Cueto, la imaginación no debe trabajar nunca con independencia, sino extremadamente subordinada al entendimiento, es decir, como mero instrumento, aunque extraordinariamente importante, de otras facultades del espíritu. De modo que una imaginación científica debe ser rigurosamente dependiente de la razón, en contraste con la imaginación artística, que actúa siempre con absoluta libertad. El uso de la razón, e invierto con ello términos empleados por Cueto, no sólo es necesario sino legítimo.

La especulación geológica, especulación imaginativa (J. M. Ríos, 1960), no es libre, sino que está regida por muchos principios. No es el azar de cualquier orientación, el descenso libre por una ladera nevada, sino el slalom a través de una serie de banderines que no se pueden rebasar, aunque entre ellos se pueda elegir libremente el camino; o mejor aún el descenso, cuidadosamente meditado, por una ladera peligrosa donde hay muchos pasos difíciles, imposibles o inaccesibles que nos están vedados.

Nada de lo que exprese el geólogo puede ir en contra de lo observado, nada puede contradecir una serie de principios físicos y mecánicos, pero se mueve en cambio con frecuencia en campos que la física y la mecánica aún no han podido cubrir con sus leyes. El geólogo trata de adivinarlas o deducirlas usando su capacidad imaginativa. La tarea que constantemente desarrolla la geología es la de ampliar el número de banderines y estrechar su separación, aumentando el número de hechos positivos que no se pueden contradecir y reduciendo el uso de la imaginación.

d) *Método experimental. Experimentos artificiales y experimentos naturales.*

Es lástima que este método, de que tanto se han beneficiado las ciencias físicas y químicas, hasta poderse decir que constituye la columna vertebral de su metodología, sea de tan limitada aplicación a las ciencias geológicas.

Y no porque no se haya intentado utilizarlo con todas las fuerzas y en las más variadas direcciones, desplegando para ello extremado ingenio y habilidad, sino porque su utilidad viene literalmente acorralada por limitaciones, que en gran parte hemos señalado ya a lo largo de este texto.

Las limitaciones se refieren sobre todo a la desproporción entre las escalas naturales y las que son posibles en la experimentación. Enumeradas en grado decreciente de importancia, tenemos las que se refieren a los conceptos de tiempo, de espacio, a las presiones, a las temperaturas. Las diferencias de escalas para estos dos últimos factores se han reducido en gran medida, gracias a los progresos de la investigación profunda de la energía nuclear, pero, como subsisten las otras dos, los adelantos son pírricos para cuestiones generales, aunque interesantes para las de detalle.

Falla también una posibilidad que tan importantes aportaciones ha hecho en el campo de las ciencias físicas y químicas, la de apartar variables y dejar éstas reducidas a un mínimo comprensible y operable. Pero este mecanismo tiene escaso sentido práctico en geología, donde son siempre tantísimas las variables trascendentes que entran concatenadamente en juego.

Esta capacidad y posibilidad de simplificar el fenómeno, sin que pierda eficacia y se desvirtúe, establece una diferencia esencial en la metodología de las ciencias físicas y químicas con respecto a la de las geológicas y biológicas. La posibilidad de abstraer sin que se desvirtúe totalmente la índole del fenómeno. Al tratar de hacerlo, en geología, lo que resulta es la descomposición del fenómeno en una serie de fenómenos físicos y químicos, pero no ya puramente geológicos. Entre otras razones porque en geología cada situación es hija de otras anteriores. O sea que es el carácter histórico de la geología lo que se opone al método experimental, si de lo que hablamos es de experimento geológico puro y no de sus componentes físicos y químicos.

Por muy diversos modos se ha tratado de reproducir en el laboratorio, en mesas de experimentación, en la corteza misma, fenómenos naturales. La literatura sobre la materia es copiosísima, relativamente hablando. En general los resultados no son sino el remedo, casi caricatura del fenómeno natural, no obstante tener algún valor informativo.

En mineralogía y en petrografía los resultados son mucho más alentadores y útiles cuando se trata de espacios parciales, debido a que la desproporción de masas queda mucho más reducida y se puede forzar la de los tiempos, aparte de que muchos fenómenos petrográficos se completan en periodos que geológicamente hablando son muy breves, de modo que los resultados experimentales simulan bien los reales.

Otro es el caso de la geología, pero hay que reconocer que en los últimos tiempos se ha intentado con gran ahinco salvar el escollo.

Se eligen los materiales experimentales con gran cuidado, de modo que sus propiedades mecánicas de deformabilidad en relación con el tiempo de aplicación de esfuerzos o con la velocidad de aplicación de las fuerzas trate de guardar proporcionalidad con el caso de factores naturales. (S. W. Carey, 1953.)

Otro concepto de la geología experimental es el que ha analizado recientemente McKelvey (V. E. McKelvey, 1963). Dice que la geología ofrece la oportunidad única e insustituible de permitir la observación de los resultados de procesos naturales que no sólo implican muchas más variables y masas mucho más grandes que los experimentos de laboratorio, sino que les exceden infinitamente en la aplicación del factor tiempo, de modo que ponen de manifiesto reacciones tan lentas que no serían observables en condiciones corrientes. Hay otras ciencias naturales que permiten la observación del juego mutuo de muchas variables, pero sólo la astronomía admite un registro completo y la observación de resultados de "experimentos naturales", cuyo desarrollo completo ha requerido millones o billones de años.

Por eso, sigue McKelvey, la geología es una ciencia exploratoria, que permite el estudio de fenómenos y procesos no predictibles sobre la base de conocimientos y teorías apoyadas en las ciencias de laboratorio. Y posee el medio de resolver una gran variedad de problemas demasiado complejos para ser atacados por experimentos artificiales.

Como los experimentos artificiales, los naturales deben ser observados y evaluados cuidadosamente y examinados inquisitivamente con hipótesis imaginativas. De otro modo carecen de valor. Pero usados de esa manera han conducido al descubrimiento de fenómenos nuevos y a la formulación de principios a los que no se hubiera podido llegar de otra manera.

Parte del principio de que todas las ciencias han llegado, mediante la observación de fenómenos naturales, al descubrimiento de lo no predictable sobre la base de los conocimientos y teorías entonces prevalentes, y de que el estudio de la Tierra ha sido el que más ha contribuido a este desarrollo,

en todo el campo de las ciencias naturales consideradas en el mas amplio sentido del vocablo.

Este campo, más o menos agotado en otras ciencias, sigue siendo vivo, y muy prometedor para el futuro, en geología.

Aparte de casos particulares que cita (el estudio por Barth y Posnjak de la estructura de las espinelas, que contribuyó al descubrimiento del principio de los semiconductores, y el de Murata, de que la fluorescencia de las calcitas y de la halita naturales se debe a la coincidencia de los elementos plomo y manganeso, descubrimiento que permitió la síntesis de muchos nuevos compuestos fluorescentes), el método permite descubrimientos; además el hallazgo e investigación de fenómenos que no son singulares como en los casos citados, sino complejos.

Como ejemplo de procesos seculares, descubrimientos mediante la síntesis y análisis de muchas y diversas observaciones geológicas, cita los conceptos de evolución biológica, plegamiento de geosinclinales (M. P. Billings, 1960) e inversión periódica en la polaridad del campo terráqueo.

Pero si consideramos atentamente lo expuesto por McKelvey parece que este método de experimentos naturales no sea otra cosa que la inducción aplicada a la observación en forma gradual, es decir, elevando la categoría del razonamiento de lo local a lo general, porque el método, según dice McKelvey, exige comprobar y descartar muchas hipótesis antes de poder llegar a formular una relación empírica válida, y me parece que lo difícil es llegar a demostrar que es válida y encontrar el mecanismo lógico que permita comprobar y contrastar su validez. Ahora bien, si no se encuentra otro camino que el del razonamiento inductivo no queda otro remedio que seguirlo pese a todas sus limitaciones, siempre que tengamos la conciencia de ellas.

Precisamente es uno de los muchos alicientes de la geología, de la misma manera que los peligros y dificultades de la ascensión constituyen el principal aliciente para los escaladores de una cima de arriesgado acceso.

En una palabra, McKelvey dice que por el razonamiento inductivo geológico podemos llegar a obtener conclusiones no predictibles de gran alcance, relaciones de dependencia entre fenómenos actualmente imaginativos. Y son imaginativos, en unos casos, por la falta de clave que ponga de manifiesto la relación causal; en otros, porque la información disponible es aún muy escasa, como ocurre por ejemplo con la geología de los fondos marinos, o la distribución absoluta y relativa de los elementos mayores y menores en la corteza terrestre, longitud de onda y amplitud de los pliegues, entre otros muchos casos que cita.

Considera que la Naturaleza constituye un gran teatro experimental y que se deben examinar los fenómenos geológicos desde ese punto de vista. Los estudios de Milton (Ch. Milton, 1957) demostraron que es posible la formación, a bajas temperaturas, si se les da el tiempo necesario, de minerales que corrientemente sólo se forman a altas temperaturas; así ocurre con determinados minerales autógenos, como el basalto, la riebeckita y la leucosfenita en formaciones salinas sedimentarias. Cita otra serie de casos de carácter más o menos parecido.

Es cierto que la fuerza persuasiva de los experimentos de laboratorio, más bien diría yo su validez y su ventaja fundamental sobre los experimentos naturales, reside no solamente en la posibilidad de un apretado control, sino en que pueden ser aisladas las variables y sobre todo en que se puede comprobar por repetición indefinida la validez de sus resultados.

Para McKelvey esto ocurre en cierta medida con algunos experimentos naturales, ya que fenómenos semejantes pueden haberse repetido en circunstancias diferentes que subrayen los efectos de los diferentes factores.

Me parece que lo que trata de subrayar McKelvey no es la índole del método, que no es otro sino el mecanismo geológico inductivo, sino el espíritu de acercamiento al método, de ataque de los problemas.

Finaliza McKelvey diciendo: "Las aplicaciones prácticas de la geología justifican por sí solas su cultivo y toda clase de apoyo en alto grado de categoría. Pero, además, las oportunidades que suministra para la observación de experimentos naturales la clasifica como de importante categoría en uno de los campos exploratorios y analíticos de la ciencia, capaz, en general, no sólo de dar la pista de problemas apasionantes, sino de resolver interrogantes difíciles y complejas mucho más allá del alcance de los experimentos artificiales.

### ¿LEYES, PRINCIPIOS, GENERALIZACIONES?

Una vez que hemos razonado ampliamente acerca de los mecanismos físicos y mentales que siguen, y limitan, el pensamiento geológico, vamos a tratar de evaluar su categoría como ciencia, pero para ello necesitamos evaluar esos mecanismos. ¿Qué categoría tienen? ¿Llegan a la categoría de leyes? ¿Se quedan en meros principios rectores o son sólo la expresión de procesos generalizados?

Barnhart (C. L. Barnhart, 1948, citado por G. C. Simpson, 1963) define la ley, en su sentido filosófico y físico, como la "expresión de una rela-

ción o secuencia de fenómenos que son invariables, bajo las mismas circunstancias". Los fenómenos son variables, es su relación lo que es invariable, en el concepto de ley, aclara Simpson.

Considero que, bajo los términos de esa definición, es difícil que los procesos o mecanismos geológicos puedan ser considerados como leyes, dada su complejidad, por el número de variables inaislables que concurren y por la esencial variabilidad de las circunstancias, que nunca se repiten para los fenómenos trascendentes.

La falta de "leyes", en geología, se debe a que, aunque la expresión de muchos de los fenómenos geológicos cabría dentro del concepto de ley por su evidente formalidad, no tienen trascendencia ni universalidad, sino que se refieren a aspectos muy parciales o muy locales de la fenomenología geológica.

En puro análisis se ve que corresponden a aspectos exclusivamente físicos de la geología deshistorizada, es decir, desgeologizada, y están sujetos a "configuraciones", que varían en el espacio y en el tiempo, así es que aun siendo absolutamente vigentes por ser ciertas y auténticas en su expresión, carecen de universalidad en su aplicación.

Kitts (D. B. Kitts, 1963) ha llevado a cabo un profundo análisis de la teoría de la geología que, por su interés, voy a comentar con alguna amplitud.

El problema que se plantea Kitts es el de si existe una teoría de la geología, para lo cual examina la teoría de las teorías.

Hempel (C. G. Hempel, 1958) considera que la sistematización científica se logra en dos tramos o niveles sucesivos, la generalización científica y la constitución de la teoría. El primer nivel, o etapa, corresponde a la búsqueda de leyes universales o estadísticas, que establecen condiciones entre los aspectos directamente observables de la materia en estudio. El segundo, y más avanzado nivel de la investigación, se dirige a la expresión de leyes comprensivas, universales, expresadas en términos de entidades hipotéticas que den cuenta de las uniformidades establecidas al primer nivel.

Nagel (E. Nagel, 1961) considera útil la distinción entre "leyes teóricas" y "leyes experimentales", aun reconociendo que es difícil a veces establecer esta clasificación. La característica más saliente que separa las leyes experimentales de las teóricas es que en las primeras, pero no en las últimas, cada término constante de carácter descriptivo (es decir, no lógico) está asociado con por lo menos una acción o curso manifiesto de ligazón o especificación de rasgos determinados por observación bajo la concurrencia de determinadas circunstancias. Así es que el mecanismo o proceso ligado a un término

de una ley experimental, a diferencia de una ley teórica, posee invariablemente un determinado contenido empírico que, en principio, puede ser controlado siempre por pruebas de carácter observacional obtenidas a lo largo del proceso.

Una ley experimental queda formulada, sin excepción, en una sola afirmación; una teoría, casi sin excepción, se compone de varias afirmaciones relacionadas entre sí. Esta diferencia obvia no es sino la indicación de algo más importante y trascendente: la mayor generalidad de las teorías y su mayor capacidad de explicación.

Remacha el clavo Kitts con la opinión de Carnap (R. Carnap, 1956), que considera habitual y útil, en la metodología de la ciencia, dividir su lenguaje en dos partes, el lenguaje de la observación y el lenguaje de la teoría. El lenguaje de la observación emplea términos que designan propiedades y relaciones observables, aptas y necesarias para la descripción de cosas o acontecimientos observables. El lenguaje teórico contiene términos que pueden referirse a acontecimientos no sólo observables o a aspectos o características no observables de acontecimientos; por ejemplo, a micropartículas como electrones o átomos, a los campos magnéticos o gravitativos de la física, a estímulos o potenciales de diversas clases en psicología, etc.

Kitts rechaza, al contrario de lo que suponen o admiten muchos geólogos, que la geología del pasado, y en parte la del presente, haya sido exclusiva, ni siquiera predominantemente descriptiva: una mera enunciación de descripciones. Para Cueto, esta etapa, la de los geognostas (siglos XVI, XVII y XVIII), terminó con G. Werner, creador de la geología. A partir de Werner, esta disciplina ya no fue puramente descriptiva, ya no se limitó a la descripción de los hechos, sino que trató de relacionarlos causalmente.

Resulta interesante, desde mi punto de vista, lo que sigue en el discurso de Kitts, que estima que el mismo hecho de que durante todo el desarrollo de la ciencia geológica los geólogos hayan mantenido el punto de vista de su carácter histórico, rechaza la clasificación como ciencia meramente descriptiva, ya que la formulación de afirmaciones históricas exige procedimientos por inferencia, que van claramente más allá de una mera descripción.

Pero es cierto, sigue Kitts, que la característica que más acusadamente señala a la geología como descriptiva, y que todos reconocemos, es que la mayor parte de las expresiones geológicas o bien están enunciadas en lenguaje de observación, o bien pueden ser eliminadas de cualquier enunciación geológica de importancia y sustituidas por términos que lo están. Lo

que equivale a decir que los términos y las expresiones geológicas no son teóricas.

Para Kitts, la abundancia que encontramos en geología de términos y consideraciones de carácter (inevitablemente) histórico engendran confusión cuando se trata de distinguir entre conceptos de observación y conceptos teóricos. Todo lo que tenga carácter de "histórico" lleva consigo inferencia a cosas del pasado, y requiere para su definición referencia a cosas que no han sido observadas. Los filósofos de las ciencias denegarían la categoría de teórico a tal término o concepto, porque el acontecimiento del pasado fue descrito en lenguaje de observación, y para que alcanzase aquella categoría debería ser posible, al menos en principio, observarlo.

Pero yo creo que cualquier estado o circunstancia cuyo origen está en el pasado, pero es observable en el presente, y de estos casos parten la mayor parte de las inferencias geológicas, presenta dos situaciones: o se describe totalmente en el presente y se transfiere al pasado, por inferencia, lo que desde luego lleva consigo un grado de indeterminación, o bien se trata de definir, sólo por observación presente, cuál fue el funcionamiento del pasado, puesto que existen elementos y capacidades de observación, pero a esto no se atreven los geólogos, y quizá es una de las causas por las que dudan de la categoría de su ciencia.

Según Hempel las expresiones teóricas deben establecer, en grado considerable, un orden explicativo y predictivo entre los datos, asombrosamente completos, de nuestra experiencia, o sea de los fenómenos directamente observables por nosotros.

Se plantea Kitts la cuestión de si hay algún término o concepto geológico que cualifique plenamente como teórico y llegue a la conclusión de que no existen términos tan abstractos como las construcciones teóricas de más alto nivel de otras ciencias, y cita como ejemplo el de la mecánica cuántica.

Señala por otra parte que hay cantidad de conceptos geológicos que cualifican, como lo que llama conceptos teóricos de más bajo nivel, por ejemplo, el de geosinclinal.

Yo diría más bien que la categoría no se puede medir tanto por la altura de nivel, sino porque los conceptos teorizables se refieren sólo a aspectos parciales o a aspectos locales, y carecen, como hemos expresado anteriormente, de la necesaria universalidad, ya que cuando se aplican en diferentes casos han de matizarse con singularidades locales de alcance o de índole. Es lo que ocurre con el concepto de geosinclinal, y queda puesto de

manifiesto además por la diversidad de sus definiciones, aunque todas ellas compartan un fondo común.

Como dice Cueto, las leyes geológicas, al no apoyarse en la raíz misma de las cosas sino sólo en su observación más o menos defectuosa, no pueden ser inmutables, y deben estar sujetas a constantes revisión y evolución, o sustitución por otras que expliquen más cabalmente su raíz filosófica. Y no hay teoría, por muy alta que sea la personalidad que la enunciara, que no deba ser sujeta a tal revisión, utilizando para ello tanto la experimentación (en la medida que sea posible) como los principios de la lógica.

Volviendo a lo expresado por Nagel vemos que lo que en geología tiene carácter de ley no es en realidad sino préstamo de otras ciencias con las que aquélla está íntimamente entrelazada, y que las teorías están excesivamente teñidas de carácter parcial o local.

Todo ello puede parecer demoledor para la moral del geólogo, pero es que, a mi juicio, la categoría de un razonamiento no puede establecerse ni por la posibilidad de su expresión exacta, ya que hay muchos procesos reales en todos órdenes de cosas que por unas u otras razones no tienen formulación exacta, ni tampoco por su universalidad, sino por la lógica e intuición de su construcción.

De otro modo la única ciencia verdaderamente pura sería solamente la matemática, que tiene a su cargo el hallazgo y expresión de relaciones formulables, ya que incluso lo mucho que tiene la física y la química en este sentido lo tienen en la medida en que son matemáticas, mientras que la filosofía, disciplina puramente especulativa, carecería de la categoría de ciencia. El mecanismo mental del geólogo tiene mucha más relación con el de las ciencias filosóficas e históricas, y las ciencias exactas y físico-químicas no son sino sus herramientas. Pero no olvidemos que al escultor tan necesarios le son los cinceles como el mármol y la inspiración.

#### LA METODOLOGIA GEOLOGICA EN SI Y COMPARADA CON OTRAS METODOLOGIAS

Método (E. Cueto y Rui-Díaz, 1948) es el conjunto de reglas a que deben sujetarse las diversas facultades del alma durante el estudio de una rama del saber. Los hechos y materias que constituyen el objeto de una determinada ciencia ofrecen peculiaridades distintivas con respecto a otras que siguen su método, de modo que aunque éste tenga afinidades o directrices



comunes con los de otras ciencias, pueden hacerlo diferir notablemente. Así ocurre, dice Cueto, con la geología respecto a las ciencias físicas y químicas, que pueden reproducir los fenómenos en el laboratorio, cosa en gran medida vedada a la geología.

Vila Creus (P. Vila Creus, 1959) define el método como aquel orden o modo que debe tenerse en los actos para que obtenga su fin.

El método lógico es el orden que debe observarse en las aplicaciones del entendimiento para llegar a alcanzar la verdad de las cosas, o sea la ciencia. Y distingue dos vías de método, la analítica y la sintética.

Método analítico es el que procede por análisis y, partiendo del todo propuesto, examina las partes. Se procede analíticamente cuando se separan los elementos de una idea compleja o contenido mental complejo.

El método es sintético cuando se procede de las partes al todo.

Según Palacios (L. E. Palacios, 1962) el conocimiento teórico se debe más al análisis que a la síntesis, por lo que se le puede llamar analítico. Y el conocimiento práctico tiene mayores deudas con la síntesis que con el análisis, por lo que puede llamarse sintético.

La especulación prepara el terreno con el llamado análisis de cosas, por el que ascendemos del todo a las partes, del efecto a la causa, del fin a los medios, y se consuma plenamente en el análisis de conceptos, por el que ascendemos de lo singular a lo universal. Este proceso analítico es el ascenso de lo manifiesto a lo recóndito.

Y añade: el temperamento analítico es teórico como opuesto a lo práctico. El hombre práctico es siempre sintético.

No podría decirse que la geología es una ciencia más analítica que sintética o viceversa, puesto que es esencialmente analítica en la recogida y selección de los datos de observación, su fuente primaria del conocimiento. La aplicación de la observación (J. M. Ríos, 1960) requiere un profundo criterio geológico para la selección de lo que es verdaderamente interesante observar y anotar. De lo que puede observarse en una roca, o en un frente de rocas, hay muchas cosas que son banales o de poca trascendencia, y no siempre las más aparentes son las más importantes. Muchas veces son características de difícil apreciación las que dan la pista de un hecho trascendental. De modo que el geólogo debe saber seleccionar y escoger para su atención lo que importa, aunque no sea lo más llamativo, cualidad que es muy difícil de enseñar, y que se aprende en el terreno con la práctica y los años.

El geólogo, por consiguiente, para adquirir su material de información o partida recoge un número de observaciones adecuado en cantidad y calidad al objeto que persigue. Realiza una labor de análisis, puesto que ha de

ejercer un criterio de apreciación de las características y un criterio de separación y selección de las que son interesantes. Estos criterios no son uniformes ni constantes; lo que interesa para unos objetivos no tiene importancia para otros.

Pero con esto el geólogo no ha completado sino una parte de su tarea. Ha de expresar después de alguna manera, tanto se trate de construcción de teorías como de fines prácticos, los hechos observados. Ha recogido los materiales de observación y ahora ha de sintetizarlos, reunirlos, trabajarlos, acoplarlos, obtener una síntesis en suma. Esta labor de síntesis se lleva a cabo con ejercicio de los criterios de comparación, valoración de características y memorización de las mismas, lo que requiere amplio ejercicio de la capacidad de síntesis.

En esto consiste en resumen lo fundamental en el método geológico. Si examinamos con detalle lo que ello implica veríamos que en realidad es muy complejo por la variedad de criterios y conocimientos que ha de poner en juego, por el equilibrio que ha de mantener entre la participación del criterio personal y el rigor científico y encadenamiento lógico de sus inducciones y construcciones. Y porque como se trata de una disciplina forzosamente especulativa, hay que valorar el alcance de la exactitud y precisión de los resultados, exactitud forzosamente condicionada por una serie de factores y limitaciones naturales y subjetivas.

Parecería que en principio lo ideal sería que el geólogo pudiera proceder por vía puramente analítica. Es decir, que, enfrentado con un problema, pudiera desmenuzarlo sin necesidad de recurrir a comparaciones mentales con otros casos, que es lo que hace cuando trata de elevar sus síntesis a teorías por el proceso de generalización. No sólo porque la comparación con otros casos obliga a introducir factores o variables que pueden ser ajenos a su objetivo real de momento, sino porque supone una experiencia que muchas veces es excesivamente subjetiva. En una palabra, sería como pedir a un médico que pudiera emitir diagnóstico sin necesidad de comparar síntomas o historiales de otros casos clínicos por pura y limpia determinación y análisis del caso concretísimo, individualísimo, que tiene entre manos.

Y ya que hemos mencionado el tema de la generalización pasemos a examinar este punto de la metodología geológica. Seguiremos para ello ceñidamente a Kitts (D. D. Kitts, 1963), que llama generalización geológica a la manera que tienen los geólogos de expresar fenómenos cuya aplicación rebasa al ámbito de lo local, es decir, que son aplicables por lo menos a más de un caso, y en general a varios o muchos. Pueden ser comparados a las leyes de otras ciencias naturales, aunque en general los geólogos, salvo al-

gunos (W. H. Bucher, 1933), se resisten a llamar leyes a estas generalizaciones geológicas por carecer de universalidad en su aplicación.

La literatura geológica es profusa en el empleo de generalizaciones condicionadas por los vocablos "posibilidad" y "probabilidad". Decía en otra ocasión (J. M. Ríos, 1960) que la geología es, esencialmente, una ciencia de especulación cuajada de hipótesis y extrapolaciones (P. Pruvost, 1951). De "probables" y "posibles" están llenos los informes y estudios geológicos. El geólogo no puede llegar más allá. Es una ciencia, dentro de ciertos límites, personal, interpretativa, especulativa, lo que no quiere decir, de ninguna manera, que carezca de base. Quiere decir que tiene límites, que estos límites no son fijos, ni establecidos, sino circunstanciales y, por consiguiente, difícilmente definibles.

Volviendo a Kitts, y a sus consideraciones sobre las generalizaciones, subraya su carácter inductivo y señala que la aceptación del hecho expresado exige la de otros hechos o afirmaciones, que constituyen apoyos meramente parciales.

Cuando son susceptibles de admitir excepciones porque se basa en promedios, dispersiones o correlaciones, se las conoce como de tipo estadístico si admiten formulación numérica, y de tipo probabilístico en caso contrario. La deducción estadística se emplea en términos crecientes en la investigación geológica, pero, añadido yo, sólo para fenómenos parciales auxiliares, ya que como expresé antes las excepciones tienen muchas veces más importancia que la regla y no pueden ser omitidas. Indica, además, Kitts que este método tiene el peligro de que una falsa apariencia de exactitud, derivada de la terminología matemática que emplea, oculte el carácter realmente laxo, problemático, de las generalizaciones.

Todavía hila más delgado Scriven (M. Scriven, 1959, citado por Kitts, 1963), para quien las generalizaciones que expresan o emplean acontecimientos individuales (locales, configuracionales, parciales o temporales) no sólo carecen evidentemente de universalidad, sino que no llegan a tener el carácter de estadísticas, ni siquiera llegan a problemáticas, y las propone como una categoría especial normativa, con algunas características universales, otras estadísticas; pero que son las únicas adecuadas para que se seleccione, de entre ellas, los fundamentos justificantes para la explicación de acontecimientos individuales.

La razón es, siempre según Scriven, que las afirmaciones estadísticas expresan que las cosas a que se refieren caen dentro de una u otra categoría, mientras que las normativas dicen que todas ellas caen dentro de una determinada categoría, excepto las que cumplen con determinados requisitos es-

peciales. De este modo la afirmación estadística es menos informativa que la normativa.

Una afirmación normativa se convierte en una generalización exacta si las excepciones son escasas y de fácil formulación. Por consiguiente, las afirmaciones normativas son prácticas cuando el sistema de excepciones, aunque aprehensibles y susceptibles de comprensión y expresión, sea excesivamente complejo. Considera Scriven que las leyes físicas son de carácter normativo, pero la formación o entrenamiento mental del físico le crean un instinto implícito de reconocimiento de las inexactitudes y excepciones.

La debilidad básica de las afirmaciones estadísticas en geología, no obstante su gran utilidad práctica, informativa, ya las subrayamos antes. En fenómenos trascendentes, la excepción tiene por lo menos tanto valor como la regla, mientras que las afirmaciones normativas tienen mucho más sentido geológico, ya que reconocen implícitamente la importancia de las excepciones.

La información normativa dice exactamente qué es lo que tiene que ocurrir en un cierto caso, a menos que concurran determinadas circunstancias, y entonces se lleva a cabo la comprobación de que, en efecto, no concurrían; con lo que entra en juego el carácter histórico, inevitable en geología.

No se puede por menos en quedar de acuerdo, con Kitts, en que la mayor parte de las generalizaciones geológicas son normativas, y este adjetivo le encuadra mucho mejor que el de universales, estadísticas o probabilísticas, ya que, participando del carácter de las tres, por su raíz o por su mecanismo, lo hace de manera parcial, por las limitaciones a que están sujetas, tanto la observación como la inducción.

Señala Kitts que el objeto primario del geólogo no es el establecimiento de afirmaciones universales, sino el de afirmaciones generales, sean o no universales. Si se introdujesen en ellas condiciones limitantes, iniciales o específicas, esto permitiría el establecimiento de afirmaciones universales, pero carecerían de utilidad alguna, a menos que fuese posible determinar independientemente las condiciones específicas.

Por mi parte añadiré que si el geólogo fuese capaz de desprenderse de su complejo de inferioridad, y se liberase de la tendencia a comparar la validez o categoría de su ciencia con la de otras, quedaría exento de una obsesión incómoda y sin objeto o ventaja alguna.

La ciencia geológica es, sencillamente, distinta.

No existen las leyes universales, puesto que al tratar de buscarlas y desprenderse de los cualificantes locales o históricos de los fenómenos, lo que

hace es desvirtuarlos geológicamente y descomponerlos en fenómenos parciales correspondientes a otras ciencias.

El modo geológico de expresión no es la ley, sino la generalización.

En las leyes físicas y químicas se limitan y condicionan las variables hasta que tienen valores que recaen dentro del campo experimental comprobable. En geología, si se trata de hacer lo mismo, se recae en el campo de lo físico y lo químico, y se desgeologiza la cuestión.

Y estoy también en pleno acuerdo con Kitts en que la opinión, extendida entre los geólogos, de que la geología tiene tanto de arte como de ciencia deriva del hecho de que el sistema de excepciones asociadas a las generalizaciones geológicas, lo que yo llamaría la inevitable esclavitud con respecto a la excepción, es tan amplio y complejo que el enjuiciamiento de su significación e importancia juega un papel más importante en geología que en aquellas ciencias naturales en que el sistema de excepciones es más reducido. Es decir, la geología es, por su índole propia, inescapablemente, una disciplina muy subjetiva.

Prosigue Kitts para señalar que el empleo de tantas generalizaciones, que parecen estadísticas y probabilísticas, imparten a la geología una semejanza de indeterminación, pero resulta erróneo eucar esta indeterminación geológica, como han hecho algunos geólogos, con el "principio de indeterminación" de la física moderna, ya que esta indeterminación constituye en muchas teorías, por ejemplo en la mecánica cuántica, una parte integral consustancial de la teoría. Es, por decirlo así, aceptada, y ni siquiera se insinúa que pueda ser eliminada mediante un análisis más detallado. Mientras que en geología se admite justo lo contrario. La incertidumbre se considera como una característica que se tolera hasta que un conocimiento más perfecto de las variables permite su sustitución por la certeza. O sea hasta que las expresiones probabilísticas y normativas puedan ser sustituidas por expresiones universales.

Por consiguiente, los geólogos son fundamentalmente deterministas. El concepto de indeterminación, en el sentido estadístico que se emplea en física y en otras disciplinas, sólo entra en geología en la medida en que ésta haga uso de principios físicos que utilicen a su vez procesos estadísticos; como, por ejemplo, ocurre en los estudios y representaciones estadísticas de fenómenos climatológicos o de orientaciones preferidas y dominantes en las fracturas y deformaciones de las rocas, tan en uso en geología estructural.

O, como dije en otro trabajo (J. M. Ríos, 1960), todas las situaciones geológicas son en teoría perfecta y exactamente definibles; sólo hay incapacidad por nuestra parte para llenar los vacíos en el conocimiento del pro-

ceso. Cada acontecimiento ha dejado sus huellas en las rocas a que ha afectado. Cada situación actual es el resultado de la actuación de una serie o cadena más o menos larga y complicada de situaciones pasadas y sólo de una. El que un geólogo no sea capaz de deducirlas no quiere decir que no haya habido un proceso, y sólo uno, que haya dado lugar a tal situación. El geólogo, ante los complicadísimos procesos de la Naturaleza, sabe que hay un desarrollo auténtico, y uno sólo, para cada uno de ellos, con independencia de que pueda o no llegar a determinarlo.

De modo que los procesos intrínsecamente geológicos no son resultados de valores medios, no tienen por qué tener carácter estadístico. Y ello es debido a su índole histórica.

Por consiguiente, no hay limitaciones de origen a la precisión de las ciencias geológicas. Cada situación es perfectamente definible, puesto que es resultado de una cadena o serie de procesos y sólo de una.

Sólo hay incapacidad, por parte de los geólogos, para interpretarlos; porque estos procesos son muy complejos y porque la documentación es difícil de leer, y con frecuencia fragmentaria. Cuando el geólogo ofrece una alternativa de diferentes soluciones tentativas, expresión de una indeterminación aparente, sabe muy bien que sólo hay un proceso que ha dado origen a esa situación, y que quizá no es ninguno de los que él propone; pero al hacerlo reconoce su incapacidad de llegar más lejos, y propone las soluciones que le parecen más lógicas y acertadas y más vecinas a la verdad.

De esta manera hemos llegado al tema de las limitaciones, del que hemos hablado ya parcialmente y que analicé con algún detalle hace pocos años (J. M. Ríos, 1962), junto con una teoría de la perfectibilidad inmanente de las ciencias geológicas, precisamente como consecuencia de esas limitaciones.

En mi opinión, un trabajo geológico puede ser perfeccionado siempre, con independencia de su calidad, en forma asintótica.

Los factores que intervienen en el establecimiento, o más bien la definición de esta perfectibilidad, son de tres índoles:

A) Por limitaciones inherentes a la índole del conocimiento geológico, cuya fuente principal es la observación. A este conocimiento, o su fuente de información, se oponen dos tipos de obstáculos: 1. Naturales, constituidos por obstáculos que la naturaleza opone a la observación. 2. Circunstanciales, constituidos por las circunstancias variables, en que nos sea posible practicar la observación.

B) Por limitaciones subjetivas que están representadas, sobre todo, por el carácter gradual de la capacidad en la facultad de asimilación del conoci-

miento. Factor que, aunque variable en grado entre los distintos sujetos, es permanente en el sentido de que cada geólogo está sometido, aunque en distinto grado, a esta limitación.

C) Por limitaciones que dependen de la pura casualidad.

No ampliaremos los conceptos referentes a las limitaciones inherentes a la índole del conocimiento geológico, porque ya nos hemos ocupado de ellas en otra parte anterior de este trabajo. Las limitaciones subjetivas están constituidas por el carácter gradual de la capacidad de asimilación del conocimiento ganado por la observación.

Esta limitación se manifiesta, y está expresada, por el hecho de que cada vez que nos enfrentamos con un paisaje o accidente, o problema geológico, que creemos conocido, observamos en él facetas nuevas. Unas veces depende ello de las limitaciones antes mencionadas de índole natural, al cambiar las circunstancias de observación, pero hay siempre un fondo remanente que resulta de una auténtica limitación en la capacidad de asimilación. Así, cuando un geólogo se enfrenta por primera vez con un problema geológico, en el terreno, su atención se ve atraída hacia los rasgos más destacados, los más salientes. Estos son a veces los más importantes, pero pueden no serlo. La atención resbala sobre rasgos o características menos acusadas y a veces más trascendentes. No es este fenómeno consecuencia de un defecto en la calidad de la observación, sino una auténtica limitación en la capacidad de asimilación. Si pasado el tiempo volvemos al mismo lugar, para continuar la consideración del mismo problema, nuestra atención ya no se fijará sobre los rasgos más salientes, ya asimilados, sino que pasará automáticamente a analizar otros menos aparentes hasta ahora inadvertidos. Esto ocurrirá tantas veces volvamos, según es mi experiencia y la de muchos otros geólogos. Por eso el conocimiento geológico es, de raíz, perfectible en forma permanente, y su acercamiento a la verdad absoluta es de tipo asintótico.

Las limitaciones que dependen de la pura casualidad están en relación con el hecho de que la ciencia geológica se nutre casi exclusivamente, como material informativo, del suministrado por la observación. Y también por el hecho de que la observación no puede ser absolutamente continua y con frecuencia es no sólo discontinua, sino muy discontinua, lo cual establece el azar, o la casualidad, como factor limitante de gran categoría. El geólogo no puede, en cada caso, pisar todo el terreno. Por consiguiente ha de extrapolar, pero la extrapolación supone siempre una renuncia a determinado grado de exactitud, muy grande en unas ocasiones, más pequeño en otras. Como además ocurre que hechos fundamentales del conocimiento geológico

no tienen una ubicación general, sino que es a veces muy local, como por ejemplo ocurre en caso tan decisivo como la localización de fósiles, discordancias, restos erosivos o ventanas tectónicas, entre otros muchos ejemplos, si estos fenómenos no se encuentran sobre nuestros itinerarios la pura casualidad hará que perdamos la oportunidad de adquirir conocimientos de importancia fundamental. De igual modo un puro azar puede poner estos hechos en posesión de otro geólogo que recorra después el terreno. No es de extrañar, por consiguiente, que geólogos poco expertos rectifiquen y corrijan errores cometidos, por omisión debida al azar, por geólogos mucho mejor preparados. Por consiguiente, el azar constituye una limitación natural que es consecuencia inmediata de la imposibilidad de practicar observaciones absolutamente continuas.

Ya me doy cuenta perfecta que estos factores juegan de muy distinto modo, y en muy distinta escala, en unos y otros casos, y que algunos son incluso casi inoperantes. Pero lo que me propongo señalar aquí no es la graduación de su calidad, sino su existencia, para señalar que son limitaciones inherentes a la índole de las ciencias geológicas.

Estas limitaciones, junto con las de otra índole que hemos expuesto en un apartado anterior, prestan una indeterminación a las fuentes mismas de las ciencias geológicas o a su mecanismo. Como consecuencia resulta que los principios geológicos sólo pueden ser tentativos y aproximativos.

### LA GEOLOGIA, ¿ES CIENCIA?

A la vista de las consideraciones precedentes nos volvemos a plantear la cuestión: La geología, ¿es ciencia? ¿Qué clase de ciencia? ¿Cómo se clasifica?

Decía Cueto que la ciencia tiene por objeto la observación y conocimiento de los fenómenos tal como se ofrecen a nuestros sentidos, así como su descripción y sistematización en grandes teorías.

Con arreglo a esta denominación la geología cumple los requisitos mencionados, pero por una serie de circunstancias limitantes no llega a formular auténticas teorías, sino que sólo expresa generalizaciones; lo que en geología se conoce con el nombre de teorías no son sino generalizaciones a las que falta la necesaria universalidad para llegar a constituir verdaderas teorías, mucho menos leyes.

Bradley (W. H. Bradley, 1963) señala que los que se ocupan del estudio

de la filosofía de las ciencias están de acuerdo en que en física y en química las leyes generales son muchas y de general aceptación. Incluso muchos de entre aquéllos las consideran condición "sine qua non" de la ciencia, de modo que aquellas disciplinas que no abundan en leyes generales no entran en la categoría de auténticas ciencias, sino en un grupo más o menos amorfo, de menor categoría. Algunos dicen que la geología carece de o tiene escasas leyes generales, o quizá no se ha sabido reconocerlas y por consiguiente formularlas.

Estoy de acuerdo con Bradley (1963) en que son escasas o no llegan a la categoría de leyes las generalizaciones geológicas, pero también en que la geología, por su índole, no es apropiada a tales generalizaciones.

Dice Bradley: ¿Por qué la geología no es apropiada a tales generalizaciones? ¿Es que los geólogos no se preocupan de los aspectos universales de la geología? ¿Es por falta de madurez de las ciencias geológicas? ¿Quizá los geólogos consideran las leyes como trampas peligrosas para el pensamiento geológico? ¿Por qué las índoles de razonamiento geológico difieren del de los físicos y de los químicos?

La respuesta a muchas de estas preguntas se encuentra a lo largo de las consideraciones anteriores.

No es apropiada a las generalizaciones por el carácter de dependencia que tienen los fenómenos auténticamente geológicos con respecto a la cadena de los que le han precedido; es decir, por su carácter histórico, así como por la infinita variedad de factores y circunstancias actuantes regidas intensamente por el marco de lo local o lo regional.

Y no es que los geólogos no se preocupen de los aspectos universales de su disciplina, pero cuando se remontan a ellos, o recaen en fenómenos de orden astronómico, o en aspectos parciales físicos y químicos; es decir, en leyes astronómicas, físicas o químicas.

No cabe duda que la ciencia geológica, como disciplina muy joven, relativamente hablando, es inmadura; pero probablemente lo será siempre en mayor o en menor grado, puesto que por el principio fundamental del actualismo por el que se rige, que consiste en juzgar del pasado por el presente, se ve obligado a juzgar acerca de lo ocurrido en tres mil millones de años por lo observado en poco más de doscientos años, y la observación madura es aún mucho más restringida. Lo demás ha de ser inferido sin posibilidad de repetición ni comprobación, lo que considera de exigencia para el establecimiento de auténticas leyes.

No es de extrañar, por consiguiente, que el geólogo, si conoce bien todas estas circunstancias, tema verse aprisionado por camisas de fuerza que

limiten la necesidad natural de especulación exigida por las mismas condiciones de su disciplina. Y teme que tales circunstancias puedan ser ignoradas por muchos geólogos que obtengan una falsa idea de exactitud y una complacencia basada en la confianza, en la veracidad de sus resultados y en la de teorías no consistentes por la falta de validez de sus fundamentos.

De aquí que Harmann (1939) reclame con tanta vehemencia como insistencia, que ni los principios aparentemente más sólidos y asentados sean aceptados sin crítica y examen, sino que deban ser sometidos a constante prueba y revisión. Recordemos, aunque sólo sea, la teoría contraccionista.

Coincidiendo en el mismo espíritu, Albritton, Jr. (C. C. Albritton, 1963) señala la preocupación existente en Estados Unidos acerca de cómo se prepara a los geólogos para el estudio y ejercicio de las ciencias de la Tierra. Y la comisión encargada de examinar la situación y proponer soluciones recomendó, entre otras cosas, que sólo debían presentarse, a todos los niveles de instrucción, aquellas inferencias a cuya preparación había precedido la presentación de los datos esenciales de observación y los pasos lógicos que conducen a aquella deducción; pero que para ello era preciso revisar desde la base toda la estructura lógica de la ciencia geológica.

Es evidente que la índole del razonamiento geológico difiere, y profundamente, del que practican los físicos y químicos; cierto es que comparte con ellos una gran cantidad de actividades, mejor dicho, puesto que la física y la química son columnas fundamentales de la geología, debe conocer y utilizar mucho de sus principios; pero cuando se llega al pensamiento estrictamente geológico, entonces se hace altamente especulativo, filosófico, debido a su carácter indeclinable de ciencia histórica.

Coincido con Bradley en que los geólogos (y biólogos) tienen un sistema diferente de razonamiento disciplinado, que ofrecen a los filósofos de la ciencia.

Igual y plenamente coincido en que éstos aplican un criterio erróneo al emplear como calibre los fines y medios de las ciencias físicas y químicas, tradicionalmente rigurosas, para juzgar los fines y medios de otras disciplinas de las ciencias de la Naturaleza.

Es el mismo criterio que he expuesto en diversas ocasiones, sobre todo cuando señalaba (1960) que los estudiantes de ingeniería, cuyas mentes geológicas debía contribuir a formar, padecían de una verdadera deformación mental, debida a su preparación formativa, basada casi exclusivamente en la matemática, que creaba en ellos un verdadero fetichismo de lo formulable y expresable con exactitud matemática, que no representaba una matemática de investigación, sino que era puramente mecanicista. De modo que llega-

ban a perder toda noción de cuál fuese el ejercicio libre de la mente en campos no sujetos a las rígidas normas de la formulación matemática (D. Aragón Puig, 1952).

Todo esto es ajeno a la propia esencia de la geología y sólo se encuentra, aunque frecuentemente y con categoría de fundamento, en sus columnas básicas, la física y la química, la mecánica y la petrología, en la medida en que intervienen y rigen los fenómenos geológicos.

Mientras que la matemática aplicada es esencialmente mecanicista, y no es más que una herramienta, difícil de dominar y manejar si se quiere, la especulación geológica requiere siempre un esfuerzo creador al tratar de encontrar la solución más razonable. Ya hemos analizado antes las razones por las que la exactitud es un objetivo inalcanzable en geología.

Por consiguiente: ¿Qué es la geología? Yo diría que la geología es una actividad cuyo objetivo es el conocimiento de la Tierra y más inmediatamente de su corteza superficial, y para cuyo desarrollo es necesaria la conjunción o contribución de un gran número de disciplinas, que van desde las ciencias físicas y químicas, con su imprescindible bagaje matemático, hasta las ciencias biológicas. Y diría también que su mecanismo mental difiere mucho del que exige el desarrollo de las anteriores disciplinas por el carácter netamente histórico y altamente inductivo y especulativo que afecta. También diría que es altamente vocacional, aunque no sea por otra razón de la que de la íntima comunión que con la Naturaleza entraña, obliga al que la ejerce a una vida dura, física, moral y socialmente hablando.

Por consiguiente es una actividad que exige un bagaje de conocimientos básicos excepcionalmente amplios, que se han de afrontar con mecanismos mentales muy distintos. Por lo que la mentalidad del geólogo ha de ser de grandísima latitud y amplitud, ya que ha de pasar de razonamientos enfocados con el criterio de exactitud que exigen las ciencias físicas y químicas, así como las matemáticas, a las especulaciones más imaginativas.

Si recurrimos a nuestro diccionario oficial de la lengua vemos que la ciencia se define como conocimiento de las cosas, pero la certidumbre absoluta es difícil de confirmar salvo quizá en las matemáticas y sus aplicaciones más directas a otras disciplinas. Pero también se da otra acepción, como cuerpo de doctrina, metódicamente ordenado, que constituye un ramo particular de los conocimientos humanos, en cuya definición encaja por completo nuestra disciplina. Son siempre, según la Academia definidora de nuestro idioma, ciencias exactas las que sólo admiten hechos rigurosamente demostrados, y es evidente que la geología puede creer en la verdad de muchas de las cosas que afirma, pero no tendrá la posibilidad de demostrarlas.

Como ciencias naturales define la Academia las que tienen por objeto el conocimiento de las leyes y propiedades de los cuerpos, que es lo que intenta, y logra, en mayor o menor medida, la nuestra.

Como ley define la regla y norma constante e invariable nacida de la causa primera; pero los fenómenos constantes o invariables de que tratan los geólogos no son puramente geológicos, sino físicos o químicos, causales en geología. Como principio define el fundamento o base de un razonamiento o discurso y es patente que son principios lo que trata de definir el geólogo.

La mente del geólogo es una mente libre en su razonamiento, pero controlada por la necesidad de que se ajuste a infinidad de hechos de observación, de principios y de leyes naturales que ninguna enunciación debe contradecir. Su razonamiento debe ajustarse, además, a las rigurosas exigencias de la lógica.

Más que una ciencia en sí es una actividad dirigida a un fin altamente científico, para cuyo cumplimiento ha de justificar de los medios y conocimientos de otras muchas ciencias, de la física, de la química, de la meteorología, de la biología, etc.

Es menos que una ciencia, y más que una ciencia, es un verdadero conglomerado de partes de ciencia dirigido orgánica y armoniosamente a un fin concreto, el conocimiento de la corteza de nuestro globo terráqueo.

Vistas así las cosas parece inútil que se trate de buscar a la geología un nivel o carácter comparativo de categoría con otras ciencias.

La geología es, como dijimos antes, sencillamente diferente. Yo creo que es una de las carreras más vocacionales que existen, puesto que de partida no ofrece más que una vida dura, una economía nada brillante y un apartamiento de la vida social, y como compensación una maravillosa comunicación con la Naturaleza y un campo especulativo sin límites; es decir, dos de los atractivos más brillantes para una juventud física y mentalmente sana.

No es lógico aceptar que haya una repartición orientada de mentes privilegiadas hacia unas u otras ciencias, ni que las ciencias de expresión matemática y exacta atraigan a las más claras inteligencias más que los campos del arte, de la medicina, de las leyes, de la biología o de cualquier otra actividad mental.

Desechemos por consiguiente todo pensamiento de inferioridad. Estoy seguro de que las limitaciones de la ciencia geológica no derivan de una limitación en la capacidad de los que se dedican a ella, sino de la índole misma de la geología. El campo de la geología es esencialmente vocacional y creo que la vocación es el elemento selectivo de los geólogos.

Por otra parte no se piense que otras ciencias, incluso las consideradas como mucho más exactas, estén exentas también de muchas limitaciones. Véase a este respecto lo que decía recientemente Bush (V. Bush, 1965) uno de los más distinguidos científicos y técnicos de los tiempos actuales.

Si examinamos en qué consiste el rigor científico de la física y de la química, veremos que en la expresión matemática y evaluación numérica de una serie de relaciones fijas entre los valores y magnitudes que existen en determinados fenómenos naturales. Estos fenómenos naturales por lo general conservan tal relación natural con independencia del espacio y del tiempo y de otros factores.

Pero en geología esto no es viable, cada conjunto de fenómenos va ligado a una serie de circunstancias de lugar, modo y época que son absolutamente inevitables; porque, eliminada alguna de esas circunstancias en el razonamiento, se desvirtúa por completo el carácter del fenómeno, y tiene lugar su descomposición en fenómenos físicos, químicos, meteorológicos o de otra índole, pero no ya puramente geológicos.

Si el complejo de los geólogos resulta de la incapacidad de formular leyes hay que pensar que las leyes no son sino expresión de la uniformidad de los fenómenos que expresan. Si no existe esta uniformidad, ¿cómo pueden surgir las leyes? La geología es una ciencia de hechos individuales, las ciencias físicas y químicas lo son de fenómenos colectivos. Alegrémonos y estemos orgullosos de haber sido llamados por nuestra vocación a cultivar uno de los campos más singulares del saber humano.

Por otra parte su amplitud es tan grande que ya no hay capacidad mental que la pueda abarcar por entero. Esta realidad, y la diversidad fundamental del carácter de sus diversas actividades, han hecho que desde tiempo atrás se ramifique en muchas ramas y especialidades.

El próximo paso parece que debe ser, por consiguiente, el estudio de su enlace y unión con otras ciencias y de su subdivisión en diversas ramas.

#### RELACION DE LA GEOLOGIA CON OTRAS CIENCIAS

El edificio de la geología se apoya en varias columnas fundamentales, que son la física, la química, la petrología y la paleontología o paleobiología. Como consecuencia exige una sólida base matemática como elemento necesario para la comprensión de la mayor parte de esas columnas fundamentales.

La física y la química son bagaje indispensable de la petrografía y ade-

más participan en una serie de principios y fenómenos meteorológicos y mecánicos que rigen los procesos más trascendentales de la geología, tanto en dinámica externa como en interna.

La conexión con las ciencias biológicas es íntima, y no me refiero al hecho de que la evolución biológica constituya un elemento fundamental de la estratigrafía, y de la que la paleontología esté entrelazada en apretada trama con la geología, sino a que los fundamentos lógicos de ambas ciencias tienen mucho en común y de que compartamos con los biólogos muchos problemas a que son ajenos los mecanismos mentales de otros grupos de ciencias.

Es grande su relación con la astronomía no sólo para explicar el origen mismo de la Tierra y el de muchos fenómenos meteorológicos dependientes de aquélla, sino para explicar las trascendentes y remotas causas de las reformaciones profundas, el origen mismo de su dinámica interna y de sus alteraciones, quizá rítmicas y periódicas en relación con conjunciones astrales. Y, además, al salir el ser humano de la órbita terrestre se va a ocupar de la composición y naturaleza de otros astros. Esto, que hubiera parecido un sueño juliovernesco, o una utopía, hace pocos años, va a ser en breve realidad y ha dado origen a una nueva rama de la geología, la geología astral.

Señalé tiempo atrás (J. M. Ríos, 1960) que la geología comparte con la medicina la capacidad del diagnóstico, o sea el reconocimiento intuitivo y subconsciente de analogías, por comparación instintiva y rapidísima, del hecho actual con los casos almacenados en nuestra memoria. Es cosa que se comienza a ensayar ahora mediante las memorias electrónicas de manera objetiva, y que el geólogo lleva a cabo de manera subjetiva, matizando de forma igualmente intuitiva y subconsciente, las situaciones.

De aquí su relación, cada vez más estrecha, con la cibernética, que realiza mecánica o electrónicamente unas comparaciones mucho más completas y extensas que lo pueda hacer la mente del geólogo, aunque ésta las lleve a cabo de manera más perfecta, puesto que permite introducir un juicio a que es ajeno el automatismo de las máquinas.

La relación con las matemáticas se lleva a cabo a través de las ciencias físico-químicas y también de la estadística.

De la misma manera que una mentalidad exclusiva o exclusivamente matemática, como dije antes, constituye un impedimento para el desarrollo especulativo e imaginativo que exige la mente del geólogo, me parece igualmente peligroso que el geólogo pierda, en sus especulaciones, la noción del rigor y la exactitud científica.

Por eso yo pediría una profunda formación matemática para los geólogos. No sólo porque esa es la única manera posible de llegar a la compren-

sión y aprehensión de los complejos fenómenos físicos y químicos que rige a los geológicos, sino porque constituyen la mejor disciplina de formación rigurosa, y acostumbra a la mente a exigirse a sí misma el máximo rigor, con un control igualmente riguroso de los resultados. Es el balance que da el equilibrio necesario entre el rigor y la especulación, permitiéndole obtener el máximo provecho de ambos.

La relación de la geología con las ciencias históricas es grande no sólo porque enlaza con ellas a través del puente de la prehistoria, sino sobre todo porque su índole y mecanismo son los de una ciencia fundamentalmente histórica.

Con la filosofía, finalmente, suma de todas las ciencias; porque las limitaciones de todo orden a las que está sometida la impone un carácter alto y noblemente especulativo, de neto cuño filosófico.

Los enlaces de la geología con estas ciencias no son de carácter fortuito no son tangenciales, sino profundas interpenetraciones de conceptos y principios.

#### RAMAS JOVENES Y TENDENCIAS MODERNAS EN GEOLOGIA

La geología no sólo es una disciplina que requiere una base muy amplia y variada de conocimientos, sino que además ella misma se resuelve en una gran variedad de facetas o especialidades.

Algunas son antiguas, otras son más modernas o muy jóvenes. Nos vamos a ocupar aquí solamente de las tendencias modernas en las jóvenes ramas de la geología.

Por ello nada especial diremos de la petrología ni de la paleontología. Son partes componentes de las ciencias geológicas y columnas básicas tan viejas como ella misma. No habrá petrólogo ni mineralogo que no se sienta geólogo, ni geólogo sin un conocimiento básico de ambas disciplinas. Recordemos que la petrología implica consigo la mineralogía y conocimientos profundos de física y de química, y la paleontología constituye un enlace con las ciencias biológicas y aun las filosóficas (W. H. Bucher, 1941).

Las ramas de la geología han nacido por diversas causas y a veces en concurrencia de varias. En primer lugar porque con su gran diversidad la geología abarca actividades muy distintas no sólo como técnicas muy diferentes, sino con mecanismos mentales y puntos de vista muy divergentes.

En segundo lugar porque la acumulación, terriblemente incrementada de información observativa y de estudios impide que una mente, por pr

vilegiada que sea, abarque en detalle, en conocimiento profundo, ni siquiera un pequeño sector del campo geológico.

En tercer lugar porque el legítimo afán de destacar y distinguirse que anima a muchos geólogos, sobre todo a los jóvenes, les hace explorar nuevos caminos que muchas veces no conducen a nada, otras veces se convierten en campos muy fructíferos de apasionante trabajo.

Emancipadas la petrología y la paleontología como ciencias hermanas o más bien como socios comanditarios de esa empresa intelectual, queda siempre una división neta de la geología en varias especialidades de categoría superior y cuando hablamos de especialidades no hablamos de exclusividad, ya que el geólogo necesita conocer los principios básicos y técnicos de todas ellas para merecer ese nombre, sino de una atención y dedicación especial, a ese campo, de cuyos progresos procura estar siempre al tanto.

Los fenómenos de dinámica externa y los de dinámica interna difieren mucho, tanto por el tipo de conocimientos básicos que dominan como por el campo observatorio de donde procede su información. El enlace entre ambos lo constituye la tectónica cinemática o descripción figurativa de las deformaciones de las rocas.

La dinámica externa se ocupa sobre todo de problemas de meteorología, acciones destructivas sobre las rocas, morfología de la corteza visible, formación de las rocas de acarreo y sedimentarias, y configuración de las deformaciones tectónicas de las rocas. Se relaciona con fenómenos físicos y químicos que se desarrollan en campos de temperaturas y presiones normales, dentro de la escala asequible en el laboratorio, y con fenómenos biológicos, y tanto para explicar formaciones y destrucciones de rocas como para definir, mediante los fósiles, sus sucesiones. Los conocimientos de mineralogía y petrografía que exige su tratamiento son más ligeros, al menos para las rocas ígneas.

Sus enlaces con la biología histórica resultan más indirectos, y los estudios útiles se referirán sobre todo sus actividades, a petróleos, carbones, materiales salinos y más rara vez a menas metálicas, como no sean de origen sedimentario.

Otra derivación natural de sus actividades será la cartografía geológica en que, naturalmente, preferirá aquellas zonas en que dominan las rocas sedimentarias.

Los fenómenos de dinámica interna se desarrollan en regiones más profundas de la corteza. Es la zona de las rocas ígneas y de los fenómenos de metamorfismo. Sus conocimientos petrológicos serán mucho más exigentes, sobre todo para el extenso y complejo grupo de las rocas ígneas y metamór-



ficas. Su campo de acción ha sido el teatro de profundas reformaciones, y también de deformaciones peculiares, debidas a que las rocas están sujetas en esas zonas profundas a presiones de contención. Todo ello se desarrolla a altas o muy altas presiones y temperaturas, fuera del campo de lo experimental la mayor parte de las veces, y nunca en regiones directamente accesibles a la observación, de modo que sólo podemos inferir las causas por observación de los efectos, una vez que esas rocas han sido llevadas a la superficie o que las ha alcanzado una profunda denudación.

Su enlace más lógico es con la geología histórica y, si trata de materia-blecimientos en su campo de la relación de edades se rigen por el principio de antecendencia, y más modernamente, pero con muchas dificultades y limitaciones, por las determinaciones de edades absolutas por el método radiactivo.

En esa zona se crean la mayor parte de los criaderos metalíferos, bien sean de segregación, neumatóliticos o de sustitución; campo este último en el que enlaza ya con los fenómenos de la corteza superficial, dominada por la dinámica externa.

De modo que enlaza con la especialidad de los criaderos mediante los profundos conocimientos mineralógicos, petrográficos y de las paragénesis minerales que exige la especialidad.

Es natural que su atención se dirija a la cartografía de las regiones donde predominan las rocas ígneas y metamórficas para cuyo difícil reconocimiento y comprensión tienen la exigente preparación adecuada. Todo ello requiere un profundo dominio de la técnica microscópica.

Existe una actividad geológica que exige un dominio general de ambos campos, el de la dinámica externa y el de la dinámica interna; es decir, de los fenómenos que se desarrollan en la parte más superficial de la corteza y los que se gestan en la parte más profunda, que es la de la cartografía geológica.

Para mi gusto personal es la actividad geológica más bella y más completa. Requiere un conocimiento amplio y extenso de ambos dominios sin que sea necesario que en cada caso descienda al nivel del especialista, cuya ayuda requerirá en el caso de que las dificultades del problema rebasen la capacidad de su propia preparación.

La mera enunciación señala su objetivo, su alcance y su misión, así como sus exigencias. Es a la geología lo que el médico general a la medicina, y sus recursos mentales han de ser muy amplios. La diversidad de casos que va a encontrar es tan grande que sólo la experiencia le podrá hacer maestro de su especialidad; pero si llega a dominarla podrá considerarse como un geó-

logo muy completo y su opinión será oída con interés y con respeto en todos los campos de la actividad geológica.

Señala Hoover Mackin (J. Hoover Mackin, 1963) que existe una tendencia a considerar la cartografía geológica, no como investigación, sino como una operación de rutina, algo así como la topografía desde el punto de vista del ingeniero.

Pero yo insisto en la altísima categoría geológica del trabajo de cartografía, al menos tal como se lleva a cabo en Europa. Ciertamente es que en Estados Unidos, al mecanizar o intentar mecanizar este trabajo, al menos por las compañías petroleras, se le ha despersonalizado; el recogedor de observaciones, que ya apenas merece el nombre de geólogo, no es sino un apreciador y reseñador de características, que no evalúa. No es paleontólogo, sino que solamente recoge las muestras. No es interpretador de sus apreciaciones, sino que las pasa a un gabinete, cuando no a una máquina, que las clasifica, y luego otro grupo de personas, muchas veces completamente ajeno al conocimiento del terreno, las evalúa y obtiene las conclusiones. Llevada a cabo de este modo, no cabe duda de que la cartografía geológica pierde casi toda su categoría. Entonces el operador en el campo es realmente un mecanicista que literalmente se dedica a aplicar una técnica sin más contribución personal, exactamente lo que hace un topógrafo.

Ciertamente que no hay separación neta entre las tres especialidades que acabamos de señalar, sino que se funden una con otra como los colores del espectro lumínico.

La misión del geólogo cartógrafo es primero el desbroce, luego el afino del conocimiento de la estructura geológica de una región o de un país, para lo cual irá elevando la minuciosidad y precisión de las grandes a las pequeñas escalas. Ha de dominar hasta cierto grado, cuanto más alto mejor, los fenómenos de la dinámica externa e interna y sus técnicas y conocimientos básicos, y se apoyará además en otras técnicas modernas, como son la fotogeología y la sedimentología. Propondrá problemas a los especialistas y el material que produce será la base de las aplicaciones técnicas, mineras, agrícolas y de obras públicas de la geología. Sus actividades constituyen la base de las ciencias geológicas de un país, y su nivel servirá de orgullo o de descrédito al mismo, puesto que los frutos de su trabajo tendrán que ser integrados en las cartografías internacionales o mundiales y serán objeto de minucioso contraste y profunda crítica. En una palabra, constituiría quizá no la representación más distinguida, pero sí la más frecuente y conocida de la actividad geológica de un país fuera de sus fronteras.

Añadamos que la labor de la realización de la cartografía geológica de

un país es una tarea "per se" y de elevadísima categoría, que no puede ni debe ser supeditada a ningún otro fin, con lo que no haría sino padecer y resentirse.

Los planes de esta realización dependen de la ordenación de las circunstancias naturales y de la historia geológica del país, y exige, en primer lugar, su consideración como un gran conjunto, y después su desmembramiento en unidades naturales.

Su realización completa suministrará, para lo futuro, la base sólida para todas las aplicaciones utilitarias. Pero si por una razón de necesidad urgente fuera preciso realizar estudios de zonas restringidas con fines utilitarios, esta tarea debería ser llevada a cabo independientemente, sin interferencia con los planes de la cartografía nacional, puesto que tanto el planteamiento de partida como los fines que se persiguen, son muy distintos. Considero esto tan importante que debo insistir. El conocimiento de la estructura geológica de un país, explicada por medio de su cartografía, es lo básico, lo fundamental. Lo demás es lo transiente, lo contingente, y no debe pensarse nunca en sostener el árbol por las ramas, sino por su raíz y tronco.

Además, la cartografía geológica suministrará la mayor parte del material que necesita la especialidad más extensa de la geología, la del paleogeólogo o definidor de la historia geológica de un país o de una gran unidad geológica, es decir, la del sistematizador.

Este, podríamos decir supergeólogo, es el que estudia las informaciones y trabajos procedentes de todas las fuentes posibles y trata de reconstruir la faz de la Tierra en las sucesivas épocas pasadas para esa región o país o conjunto de países, o a la escala del globo. Su capacidad de síntesis ha de ser inmensa y profundísimo el conocimiento del concepto de facies, de manera que sepa extraer de cada información la mayor cantidad posible de conclusiones. Nada de esto será posible si primero no ha adquirido una profunda experiencia en la construcción de trabajos de la índole de los que ha de sintetizar. Es el último y más elevado escalón en la graduación de actividades, y sólo llegan a él los que tienen un largo y brillante historial de experiencia de campo y además una mente privilegiada. Porque además pasará de la reconstitución de la faz de la Tierra, de la que más o menos parcialmente es su historiador, a la reconstitución de teorías generales que traten de explicar de manera lógica y coherente, y sin chocar nunca con la información observativa, los grandes procesos creadores de las situaciones geológicas del presente y del pasado.

Lo que requiere un conocimiento lo más completo posible, por ahora todavía muy incompleto de la constitución de la Tierra como astro y así

enlaza con la astronomía, no sólo para poder inducir acerca de la constitución interna de la Tierra sino para poder interpretar una larga serie de fenómenos, algunos de ellos muy trascendentales, indudablemente ligados a influencias astrales.

De esta manera ligamos con la geofísica, pero ésta es una disciplina tan peculiar y tan autónoma que no nos ocuparemos de ella con detalle.

Existen dos disciplinas geofísicas realmente independientes porque, aunque tienen mucho en común, sobre todo en los fundamentos de sus técnicas, sus escalas y sus objetivos son muy distintos.

Por un lado tenemos la geofísica de la corteza superficial, cuyo alcance casi nunca llega a la discontinuidad de Mohorovicic y generalmente queda muy por encima.

Más que una disciplina es una técnica, que se vale de medios físicos por el reconocimiento mecánico o eléctrico, o de otras propiedades de los materiales de la corteza superficial, para obtener una serie de datos de información en zonas profundas que escapan a la observación directa. Se expresa matemáticamente, pero sus expresiones están afectadas de una serie de coeficientes que representan o tratan de representar constantes físicas de determinados materiales. Dada la enorme y a veces rapidísima variabilidad de los materiales que constituyen la corteza terrestre, se comprende que sus resultados exijan una fuerte dosis interpretativa.

En los últimos tiempos ha recibido un gran apoyo de la mecánica electrónica, lo que le ha permitido no solamente simplificar y acelerar enormemente los procesos de cálculo, que en algunos métodos quedan eliminados, sino incluso ofrecer imágenes gráficas directas de la disposición de los materiales (no de su definición). De todos modos, incluso estas imágenes gráficas suelen estar, excepto en los casos más sencillos de claridad extrema, sujetas a un alto grado de interpretación en la misma imagen. Son bastante variados y muy distintos unos de otros los fundamentos y métodos de las distintas técnicas geofísicas, por lo que resulta difícil resumirlos para llegar a conclusiones en un denominador común.

No obstante, es preciso señalar que lo que suministran los estudios geofísicos son valores gráficos o numéricos que han de ser identificados como correspondientes a determinados tipos y situaciones de rocas, lo que lleva consigo una dosis interpretativa siempre variable, a veces muy grande. Pero es que, además, el geofísico no hace más que suministrar información que luego ha de ser interpretada geológicamente por geólogos, con criterios puramente geológicos.

El campo de la geofísica de la corteza superficial es sobre todo el de la

geología aplicada a la minería, o a la construcción. Sus resultados pasa desde los logros más brillantes hasta los fracasos más rotundos. Estos fracasos son debidos unas veces a limitaciones naturales de los métodos, a cuya características no responden las rocas que el problema implica; otras veces a la excesiva complejidad de los problemas. En general se busca emplear dos o más métodos geofísicos de distinta base, con objeto de poder eliminar con un sistema los obstáculos o variables que se oponen al empleo del otro.

Empleada sincera y honradamente la geofísica, puede constituir un gran ayuda interpretativa, a veces incluso la única fuente posible de información; pero por sus especiales características y su fin eminentemente industrial propende a una comercialización peligrosa.

En cuanto a la geofísica del globo, es una pura disciplina científica cuyo máximos contactos son con la física y con la astronomía, pero suministra información indispensable y contraste imprescindible para el teorizador de la geología.

La geoquímica constituye la contrapartida de la geofísica respecto de las ciencias químicas, pero en realidad pugna ahora por desprenderse de la petrología, a la que aún permanece íntimamente ligada, y por establecerse con un sistema independiente.

Se apoya en técnicas largas, complicadas y costosas en lo que se refiere a su aspecto científico, y deberá constituir, cuando alcance su mayoría de edad, un auxiliar muy valioso tanto de la petrogénesis como de la mineralogénesis, y por consiguiente de la disciplina que se ocupa de los criaderos o yacimientos minerales, de tan inmediato interés para la minería.

Existe un intento de geoquímica aplicada, basada sobre todo en determinaciones de trazas de elementos y de su densidad de distribución, que trata de afianzarse como método práctico para la determinación de la presencia de elementos útiles, por ejemplo de hidrocarburos; pero es necesario que una aplicación más intensa y más extensa demuestre su eficacia. Mucha se obtiene ya, y aún más espera de la geoquímica por estudio de isótopos radiactivos o no, cuya presencia va ligada a determinadas condiciones primarias o circunstancias de origen.

La vulcanología ha atraído la atención de brillantes personalidades, hay repartidos por diversas regiones volcánicas centros o grupos de estudio dedicados a promover el avance de tan parcial, pero también tan interesante aspecto de la geología. Aparte de la utilidad práctica para el anuncio de previsión y activación de erupciones y fenómenos satélites, con objeto de evitar los riesgos de catástrofes, estos estudios suministran muy interesantes

información acerca de la composición y naturaleza de los magmas, y para lograrla, los observadores ponen a veces en grave riesgo sus vidas.

Una actividad geológica muy importante e interesante es la que se ocupa de la génesis y disposición de los yacimientos y depósitos minerales, es decir, lo que en nuestro idioma se conoce con la expresión peculiar y tradicional, pero no muy apropiada, de criaderos minerales.

Plantea el problema de que abarca dos cosas que exigen preparaciones y mentalidades distintas. Por un lado, como dijimos antes, tenemos los depósitos sedimentarios, de origen gravitativo, químico o biológico cuyo ciclo de preparación se completa a temperaturas y presiones normales. Pueden ser de formación directa o proceder de materiales de la destrucción de depósitos del segundo grupo. Sus técnicas corresponden a la estratigrafía y a la sedimentología. Enlazan con el segundo grupo a través de los depósitos metamórficos, creados por sustituciones y aportes. Los depósitos sedimentarios deberían segregarse del estudio general de criaderos como materia propia de la sedimentología.

En el segundo grupo tenemos los complicados problemas de los depósitos creados en las rocas ígneas y metamórficas o por la intervención directa o remota de estas rocas en otras. Sus técnicas son petrológicas, geoquímicas y tienen además estrecha relación con la tectónica.

Su estudio se enfoca de dos maneras: una clásica, que se trata de registrar como anticuada y que es fundamentalmente descriptiva. Según sus métodos, la clasificación y ordenación de los tipos de criaderos se logra por analogías, que se basan, según los casos y los autores, en unas u otras características y propiedades, bien sean de materiales, de edades, o más corrientemente de condiciones de yacimiento.

La segunda manera, más moderna y más científica, hace uso de las experiencias y avances más modernos de la físico-química y de la geoquímica, apoyadas sobre todo en las reglas de fases y en la observación estadística y experimental de las paragénesis minerales.

Pese al gran despliegue de entusiasmo, actividad e inteligencia que se invierten en este campo, no parece que se haya avanzado muy lejos, ya que los resultados de los estudios siguen siendo muy subjetivos, y hay falta absoluta de unidad de criterio en la apreciación de las génesis de la mayor parte de los criaderos. Tantos autores, tantas opiniones. Desde luego la materia es muy difícil, pero sería insensato no buscar el apoyo de esta herramienta, cuyo uso sin duda perfeccionará, y quizá muy rápidamente.

La enseñanza de la geología es una de las tareas más nobles y elevadas del geólogo, pero sus problemas y características no son específicos de la

geología, sino genéricos de cualquier enseñanza, por lo que no nos detendremos en su examen. Señalaremos únicamente un escollo: con material tan sugestivo entre las manos le es fácil al profesor inflamar la imaginación de sus alumnos engendrando una vocación. Esta vocación ha de ser puesta a prueba luego sobre el terreno, porque tiene unas exigencias de energía física y moral que no todos llevan dentro. Además, el campo de actividad remunerativa es limitado y constituye una gran responsabilidad para el profesor lanzar a gentes en direcciones económicamente inviables.

La geología es hija de la minería y cumple con una obligación filial de volviéndole con creces lo mucho que recibió de ella, el ser.

No se concibe estudio minero que no vaya precedido de un profundo conocimiento geológico.

Decía Cueto (E. Cueto y Rui-Díaz, 1948) que para los ingenieros de Minas que dedican su atención a la extracción de las riquezas mineral que atesora la corteza terrestre, la geología constituye el fundamento científico de sus actividades industriales.

La geología es madre de muchos descubrimientos mineros, y lo será de muchos más si esta idea entrase en la cabeza de los gobernantes, de los hombres de negocios y de los mismos mineros.

Citemos un solo ejemplo genérico: la fantástica industria del petróleo tiene su punto de partida y su base fundamental en la geología, y más concretamente en la cartografía geológica de detalle. Y un ejemplo específico el hallazgo de la zona rica de los yacimientos de fosfato en la provincia de Sahara es el fruto del desarrollo de razonamientos y mecanismos de investigación puramente geológicos, aunque aplicados a la prospección minera.

Hay dos métodos clásicos de encontrar minas: buscando al azar y encontrándolas por casualidad, o empleando para ello la inteligencia y los métodos y las herramientas de la geología.

El primer método ha dominado hasta tiempos muy recientes, y ha sido pastores, leñadores y labradores o busca-minas sin preparación científica los que por pura casualidad o por un instinto que no es más que expresión de una experiencia subconsciente, hija de la práctica, han encontrado infinidad de minas valiosísimas. Luego, con una mayor base científica y profesional, se ha extendido el reconocimiento a partir de este hallazgo, casual o semi-casual, a las zonas contiguas, cuando formaban parte de distritos metalíferos naturales.

En el caso de los materiales sedimentarios, sales, carbonos, petróleos, técnica ha intervenido mucho más activamente en los hallazgos o en extensión de los frutos de los hallazgos.

Pero de aquella manera casual sólo pueden encontrarse los minerales aflorantes. Y poco a poco se han ido agotando, sobre todo en los países de vieja cultura y gran desarrollo industrial, las posibilidades de nuevos descubrimientos.

Entonces han tenido que entrar en juego forzosamente las técnicas geológicas de todas clases.

Los que solían hallarse por azar eran en primer lugar los minerales ricos de alta ley, cuya presencia se denunciaba fácilmente por su peso, brillo, color, etc. Pasaban inadvertidos los minerales térreos de baja ley y débil concentración, en que sólo un ojo muy experto, y sobre todo el análisis químico, ponen de manifiesto la presencia de una sustancia útil.

Pero aquellos minerales ricos, aflorantes, están virtualmente agotados en muchos países, recorridos y super-recorridos en todas direcciones. Quedan, sin embargo, con toda probabilidad, grandes masas de minerales de baja ley que antes ni se podían reconocer, ni explotar económicamente, ni beneficiar industrialmente. Ahora, por el contrario, las modernas maquinarias de remoción económica de grandes masas de rocas y los actuales procedimientos de beneficio mineralúrgico y metalúrgico hacen de estas masas objetivos muy sustanciosos y cotizados de la explotación minera.

Son los estudios geológicos y paleogeológicos, los estudios de petrogénesis y mineralogénesis, la geofísica terrestre y aerotransportada, la fotogeología y la geoquímica las que los ponen de manifiesto, estén o no estén en afloramiento.

El desarrollo de la técnica de sondeos es otro de los factores que ha hecho posible el avance de la investigación geológica y minera, al hacer factible la comprobación de las predicciones y el reconocimiento en profundidad de las zonas inaccesibles a la observación directa. Toda la industria del petróleo y la mayor parte de las investigaciones mineras modernas giran alrededor de la posibilidad de reconocer mediante sondeos.

La geoestadística, a su vez, ha suministrado la técnica matemática necesaria para hacer posible la obtención de la correcta valoración de los desmuestres, abandonando los rudimentarios procedimientos de las medias aritméticas y demás cálculos elementales que han presidido la valoración de los depósitos durante generaciones. Ahora se utilizan los más refinados recursos de las expresiones matemáticas de las leyes de influencias mutuas entre los puntos de desmuestra. Una vez calculada la densidad de información que exigen las características del depósito, se obtienen las muestras y se valoran rigurosamente de acuerdo con los cálculos de influencias mutuas y covarianzas. De esta manera se llega a obtener, mediante estos métodos geo-

estadísticos, una imagen exacta de las zonas de distribución de los minerales de diferentes leyes, y de sus relaciones con respecto al recubrimiento u otros factores que convenga poner en juego. Las predicciones económicas de rentabilidad se hacen así sobre una base sólida.

Pero la geología y disciplinas afines y auxiliares no solamente guían el descubrimiento de estos depósitos, sino que son indispensables para su racional explotación.

He insistido en varias ocasiones acerca de este punto. Decía, en 1960 (J. M. Ríos, 1960), que los minerales arman la corteza terrestre y forman parte de ella. Puede decirse que la geología es la anatomía de la mina. De la misma manera que un enfermo no pondría su problema clínico en manos de un cirujano poco experto en anatomía ningún jefe de empresa debe poner su mina en manos de un ingeniero poco experto en geología. Un ingeniero de Minas que no conoce la disposición de los minerales que explota, o que la va conociendo a medida que los explota, no dirige la mina a remolque de ella.

La geología del petróleo ofrece más bien carácter de aplicación de técnicas geológicas generales que de especialidad; pero, dada la importancia que tiene por su importantísimo objetivo, merece la pena de que se distinga especialmente esta actividad. El único conocimiento verdaderamente específico que requiere es el de las condiciones de formación del petróleo, decir, las facies de las formaciones petrolíferas y el de mecánica de fluidos para sus condiciones de migración.

No sólo la industria del petróleo constituye hoy en día la organización industrial más poderosa del mundo, sino que es la actividad que emplea, con mucha diferencia, mayor cantidad de geólogos, muchos miles o decenas de miles en algunos países.

Toda esa industria, incluido el transporte y refino, gira alrededor de un punto crucial e insustituible, el suministro de petróleo crudo y, a su vez, el suministro de crudos depende de las investigaciones, que son pura técnica geológica.

Aunque esté ramificada en diversas especialidades y aunque emplee muchos especialistas, en realidad lo esencial de la investigación de petróleo es la cartografía geológica pura y su interpretación desde un punto de vista geológico. De modo que reúne en sí las dos acepciones más altas del término geológico.

La producción de un campo petrolífero descubierto por los anteriores procedimientos está regida, como la de cualquier otra explotación min

por un profundo conocimiento geológico y, además, por una serie de principios físicos y de dinámica de los fluidos.

Otra actividad o especialidad geológica muy importante, y lo será más cada día, es la de investigación hidrogeológica. Incluso los países que mejor dotados están de recursos hidráulicos, de los que se pensaría que nunca iban a tener problemas de esta índole, están amenazados de grandes crisis producidas tanto por el fantástico progreso industrial como por el crecimiento desmesurado de las grandes aglomeraciones urbanas, y en parte también por la contaminación de las aguas que estos mismos fenómenos engendran. Por consiguiente, incluso los países mejor dotados sienten una gran preocupación por esta grave amenaza y desarrollan sus investigaciones de aguas subterráneas y caudales ocultos. No digamos cuál será la necesidad e importancia de estos estudios en los países esencialmente secos y áridos, francamente deficitarios de por sí o que, como el nuestro, poseen extensas regiones de estas características en sus territorios nacionales.

La hidrogeología se parece, en muchas de sus características, a la investigación del petróleo y utiliza técnicas parecidas, si bien por lo general sus estudios tienen carácter menos regional en la mayor parte de los casos. Igualmente se basa en la cartografía geológica y necesita un conocimiento profundo de las leyes de dinámica de los fluidos. Aun suponiendo que se avance mucho, y que se avance rápidamente en las técnicas de desalinización, la hidrogeología desempeñará siempre un papel preponderante en las actividades geológicas de cada país.

Y lo mismo puede decirse de otras aplicaciones de la geología como, por ejemplo, para las obras públicas. Es por desgracia frecuente el caso de enormes gastos sin fruto, o de fruto limitado, por un desconocimiento de las circunstancias geológicas, que han inutilizado parcial o totalmente la obra, perdiéndose la inversión. Grandes catástrofes con dolorosísimas pérdidas de vidas y bienes pudieran haberse evitado si hubiera precedido el indispensable estudio geológico.

La agricultura moderna exige un conocimiento de la índole de los suelos, que depende inmediatamente de su estructura y composición geológica, de modo que hay una especialidad, predominantemente petrológica y geoquímica, la edafología o pedología, que cubre estos fines.

Por eso los mineros, los industriales, los economistas y los ingenieros de obras civiles hacen y harán caso de las enseñanzas de la geología para resolver los tipos de problemas relacionados con ellas, y los estadistas deberán prever los medios y vías necesarios para dotar al país de servicios sanos de promoción y desarrollo de geólogos y de estudios geológicos.

No hay geología aplicada sin cartografía geológica. No hay geología industrial o minera sin un conocimiento previo de la geología del país. No hay geología práctica sin geología teórica. La geología aplicada necesita a la geología pura, como el hijo lactante a la madre.

Algunas de las ramas clásicas de la geología han alcanzado tal grado de evolución y desarrollo que forzosamente han necesitado ramificar en diversas direcciones.

Así, por ejemplo, de la estratigrafía clásica, que consistía y sigue consistiendo en el estudio de un conjunto de fenómenos y actividades externas destructoras y constructoras de rocas, ordenados cronológicamente mediante criterios diversos, pero sobre todo paleontológicos (paleobiológicos), hasta formar un registro histórico de estas actividades desde la constitución de la corteza terrestre, han derivado diversas disciplinas.

Una de las más interesantes es la sedimentología, no ya tan joven, pero que en los últimos años ha conocido un desarrollo tremendo, haciendo uso de muchas técnicas originales y muy depuradas, basadas en criterios estadísticos, físicos, químicos, biológicos y de experimentación, tanto natural como de observación de fenómenos naturales, o sea de lo que denomina McKelvey (V. E. McKelvey, 1963) experimentos naturales. La incrementada capacidad de conocimientos de los fondos marinos suministrada por los batiscafos, sondas modernas, estaciones semipermanentes de observación submarina y la actividad desarrollada en el último decenio sobre todo, que tanto ha hecho adelantar el conocimiento de los fondos marinos, ha suministrado abundante material informativo para el impulso tan notable experimentado por esta interesantísima actividad.

Pero es el estudio mismo de los sedimentos, consolidados como rocas o en gestación todavía, lo que más ha hecho avanzar esta joven y pujante rama de la ciencia. Sus técnicas y modalidades son tan variadas que ni siquiera su reseña cabe aquí. Se inicia por el estudio estadístico de composición, características, procedencias y direcciones de procedencia de los materiales. Los computadores electrónicos han constituido una ayuda considerable para ahorrar tiempo y esfuerzo en la obtención de resultados preparatorios de las conclusiones.

La índole y velocidad de sedimentación en todos tipos de ambientes es ahora mucho mejor conocida merced al desarrollo de la sedimentología. Igualmente lo es la distribución de los sedimentos en los fondos marinos y las causas que rigen esta distribución. Se ha dedicado y se sigue dedicando mucha atención a aquellos fenómenos de deformación de sedimentos no consolidados y fractura y mezcla de otros ya consolidados o a medio petri-

ficar, por deslizamientos subacuáticos, que tanta confusión introdujeron hasta que se llegó a intuir su verdadera causa.

Ultimamente se ha desarrollado una verdadera y compleja técnica para la interpretación y estudio de la sedimentología de las rocas carbonatadas.

Y todos estos estudios no sólo enriquecen el caudal general de conocimientos geológicos, sino que además tienen aplicaciones inmediatas y muy importantes en las investigaciones industriales, sobre todo de petróleos, hidrogeológicas y de materiales sedimentarios en general.

No solamente constituyen una ayuda eficazísima para la determinación de la paleogeología, sino que permiten predecir o reconocer las rocas de mayor viabilidad para las circulaciones de fluidos, incluso orientar a la determinación de las rocas madre y rocas depósito.

Los estudios físicos de los sedimentos arcillosos y sus ciclos y ritmo de sedimentación se aplican con gran éxito para la identificación, incluso la localización de los lechos carbonosos o carboníferos. Para estos fines recibe importante ayuda de las propiedades radiactivas, pues predichos sedimentológicamente los lechos más ricos en detritus de rocas radiactivas es más fácil su localización mediante prospecciones geofísicas. Igualmente se aprovechan estas propiedades radiactivas para la localización de materiales carbonosos y fosfáticos.

También la geodinámica interna pugna constantemente por ensanchar sus límites, así como por profundizar sus cimientos. Su expansión es más difícil, pues al perder en gran medida la capacidad de observación directa de los fenómenos con el incremento de la profundidad tiene forzosamente que adquirir un carácter mucho más especulativo.

Por consiguiente es campo abonado para la creación de teorías. Pocas cosas tan apasionantes en geología como el estudio sistemático de las deformaciones de las rocas, el análisis de sus causas dinámicas y la especulación acerca del origen de las fuerzas. Pero sería imposible no ya hacer historia, sino tratar de reseñar la evolución de las ideas en tan extenso, complejo y movido campo. (E. W. Wegmann, 1951.)

Diremos solamente que la tendencia a considerar que la corteza se dilata, en vez de contraerse por enfriamiento, gana cada vez más adeptos. Esto arrastra consigo la reconsideración de los mecanismos deformativos que exigen una explicación por componentes verticales en lugar de horizontales; siguen en pie las teorías de los mantos de corrimiento, y aun esta tendencia moderna ayuda a remover algunos de los obstáculos que se oponían a la explicación de los orígenes de las fuerzas causantes de los gradientes gravitativos.

Como causa motora profunda ganan terreno y se consolidan las ideas acerca de las corrientes de convección en diferentes versiones.

Permanece en pie lo básico de la idea de las derivas continentales, pero también en diferentes versiones.

El interés por el estudio del paleomagnetismo, actividad muy en incremento, arroja luz sobre este problema tectónico y otros problemas de paleogeología.

Se ha dedicado mucha atención al estudio mecánico de las deformaciones de las rocas y ha dado origen a una rama de la dinámica interna que es la geología estructural, o tectónica especial de la mecánica de las deformaciones, la cual intenta integrarse como una disciplina autónoma de la geología que sustituya con ventaja, según el enfoque, o complemento a la tectónica clásica.

Pero, en mi opinión al menos, la geología estructural se ofrece todavía como una disciplina extremadamente cruda en su estado actual, por falta de unidad de campo, de criterio, de pensamiento y de estructura. Por lo pronto aparece como una amalgama de dos campos muy distintos, aunque tengan puntos comunes, y difícilmente asociables en una unidad de concepto. Por un lado, los principios mecánicos que rigen la deformación de las rocas, en sus distintas escalas de magnitudes, hasta componer los diversos tipos deformativos de las mismas. Por otro, la descripción de los grandes estilos y unidades que integran actualmente la corteza terrestre. No tiene demasiado sentido fundamental ni práctico unir ambas disciplinas. La última encaja por completo en la geología general, en la tectónica clásica, y es sobre todo descriptiva. En la parte que no lo es va ligada, sobre todo, a los principios generales de geología y a la constitución misma de la corteza terrestre. Es cierto que requiere un conocimiento previo de la mecánica deformativa, pero no más allá de la medida general que otros conocimientos previos no especialistas. Sus conclusiones generales se enuncian en forma de teorías.

Por lo que se refiere a los principios mecánicos de la deformación de las rocas, es preciso señalar que se trata de materia muy compleja, pero si no somos sinceros con nosotros mismos y no reconocemos lo mal organizado que está y lo desordenado y confuso de las doctrinas tal como aparecen expresadas en los textos actualmente al uso, no se podrá avanzar mucho por ese camino tan fundamental y tan importante. Su principal defecto, a mi juicio, es la mezcla desordenada de conceptos de muy diversos órdenes y categorías. Hay confusión en todo. Es confusa, ambigua y heterogénea la nomenclatura. Hay unos principios, llamados de la mecánica, que se em-

plean demasiado directamente, sin la elaboración que requieren, al aplicarse a otros tipos de materiales y de escalas de espacio y tiempo. Por lo que se refiere al sistema de exposición y elección de las materias y principios, se reúnen a modo de un cajón de sastre reglas y principios de orden muy diverso, tan pronto teóricos como prácticos, de observación y experimentales, estadísticos y prácticos, pero yuxtapuestos, sin la necesaria y lógica coordinación.

Por ahora es una disciplina desarticulada, completamente pragmática, pero no puede minimizarse su importancia e interés ni debe perderse de vista su gran utilidad práctica y teórica, que ha permitido y permitirá aún mayores avances en el conocimiento de los procesos de deformación, ni tampoco su gran dificultad, así como su apasionante interés.

Una especialidad tangente es la de la mecánica de las rocas, que trata de aplicar de manera inmediata los principios de la resistencia de los materiales a los de las deformaciones y trastornos de las rocas, según se deducen de la geología estructural. De modo que reúnen los principios de la mecánica y de la geología estructural para aplicarlos ingenierilmente al estudio de obras civiles. Su base es esencialmente matemática y realiza ahora grandes esfuerzos para organizarse como una disciplina seria y, al mismo tiempo, práctica.

Tanto la geofísica del globo como el conocimiento de la dinámica interna esperan mucho de los resultados de las investigaciones mediante sondeos profundos (Proyecto Mohole y contrapartidas rusas) que tratan de rebasar la discontinuidad de Mohorovicic allí donde las condiciones de la corteza parecen más propicias para que pueda ser alcanzada.

Finalmente, empieza a crearse una verdadera especialidad para un futuro, quizás un futuro más inmediato de lo que pensamos, la de la geología astral. Esto puede parecer un poco fantástico, pero proyectos que parecían aún más fantásticos se van llevando a cabo con gran regularidad. De tiempo atrás ha preocupado la composición geológica de otros astros, de por sí y para su comparación con la de nuestro globo, para tratar de deducir enseñanzas (A. A. Looms, 1965). Por el estudio de los meteoritos, por el análisis espectroscópico de otros astros mediante las fotografías obtenidas por los satélites artificiales, y consideraciones y cálculos astronómico-gravitativos se ha tratado de deducir sus estados, composiciones, temperaturas, existencia de atmósfera, etc. Ahora, gracias a los medios actuales de información, se persigue ya un fin práctico. Se fotografía al detalle la Luna y se obtienen las primeras imágenes de Marte para tratar de elegir los puntos óptimos de descenso. Se intenta saber también si la superficie es pulverulenta y falsa

o tiene la suficiente resistencia mecánica para soportar el peso de los vehículos espaciales y de los astronautas mismos. En una palabra, se está sobrecargando por ser los primeros en recoger y estudiar muestras de los materiales que constituyen otros astros y conocer su disposición, y no cabe duda que entre los primeros especialistas que se puedan transportar a otros astrógrafos habrá geólogos, por lo que se está ya preparando un grupo de expertos que está creando una verdadera y apasionante especialidad, la de astrogeología.

Además de las diversas orientaciones, especialidades y tendencias que hemos señalado y de otras que existen, pero de carácter menos acusadas hay una serie de técnicas comunes a varias o muchas de estas especialidades, de origen más o menos moderno y que conviene recordar por los grandes servicios que han prestado y prestan a la geología y los muchos métodos que prometen prestarle.

No mencionaremos aportaciones hechas por la física y la química, a través de la petrología y petrogénesis, o más directamente, tales como el estudio de estructuras minerales mediante rayos X, o difracción de electrones o la aplicación del ultramicroscopio, sobre todo al campo de las arcillas, empleo de la radiactividad a la determinación de edades absolutas, o a la prospección, o a la mecánica de los fluidos mediante el seguimiento de trazas radiactivas.

Hablaremos de aquellas técnicas de aplicación más universal y de carácter más estrictamente geológico.

Una de ellas es la micropaleontología, una rama de la paleontología dedicada al estudio de las formas de pequeño tamaño, en general difícilmente perceptibles o invisibles a ojo desnudo. Su gran ventaja con respecto a los microfósiles reside en la gran dispersión y mucha mayor universalidad de difusión que tienen sus formas. No quiere esto decir, por otra parte, que sean omnipresentes. Unas están ligadas a determinadas facies y ambientes pero, si se presentan, su difusión es por lo general mucho mayor que la de los microfósiles y por ende mucho mayor la probabilidad de ser encontradas en la prospección. Su recogida y estudio requiere técnicas especiales, desde luego, tarea de especialistas. Su desarrollo ha ido ligado últimamente a la industria del petróleo, por la razón de que era necesario reemplazar, en las columnas de testigos y muestras de sondeos, los microfósiles por algún otro criterio. Puesto que el diámetro del sondeo es tan reducido, a la improbabilidad habitual que tiene el hallazgo de microfósiles en cualquier formación, debido a la irregularidad de su distribución, se añade la de casualidad de que la vertical del sondeo recaiga sobre estos nidos o acumulaciones de fósiles. En cambio por el tamaño muchísimo más pequeño

los microfósiles y, sobre todo, por su mucha mayor universalidad de distribución, la probabilidad de su encuentro es mucho mayor. De modo que muy pronto se puso el énfasis paleontológico de los sondeos en el grupo de los microfóraminíferos, con magníficos resultados, y los microfósiles quedaron relegados a un segundo plano, como comprobadores y correctores, si es que se tenía la suerte de encontrarlos.

De esto nació una estratigrafía fina, que permitió las correlaciones entre sondeos, y pronto saltó su empleo a la clásica estratigrafía de afloramientos superficiales con objeto de poder preparar la programación geológico-estratigráfica de los sondeos de exploración, y luego a la geología cartográfica general, no sin que se llegase a peligrosas exageraciones en la apreciación de su capacidad de empleo. (J. M. Ríos, 1962.)

Pronto se pasó del grupo de foraminíferos, limitado a formaciones mesozoicas y terciarias, a otros grupos, por ejemplo al de los conodontos, de gran utilidad sobre todo para las formaciones paleozoicas.

Y, por una parte, estimulados por la necesidad de aprovechar estas ventajas de los microfósiles en ambientes y facies de las que quedaban excluidos los grupos antes citados, por otra parte por una legítima ambición de los investigadores de hacerse un nombre en campos nuevos, se fue ampliando el área de estudios a los pólenes y las esporas y, actualmente, a los briozoarios. En todos los casos se trata de grupos difíciles, ricos en formas mal conocidas hasta ahora y con clasificaciones poco asentadas, y cuyas técnicas de trabajo son más complicadas que las de la paleontología clásica, pero sus aportaciones a la geología cartográfica y a la geología industrial son de grandísimo valor actual y muy prometedoras para el futuro.

De otro orden muy distinto, pero por lo menos tan trascendente para las aplicaciones cartográficas de la geología, es la fotogeología, o sea el estudio de las características geológicas del terreno sobre fotografías. El estudio se lleva a cabo en general sobre fotografías aéreas, en pares estereoscópicos, a diferentes escalas, de orden parecido a las de los mapas topográficos que suelen utilizar los geólogos, cincuenta mil, veinte o veinticinco mil, diez mil, etc. La visión del relieve es de incomparable ayuda, de modo que el uso de pares estereoscópicos más que corriente es insustituible.

Con mosaicos aéreos no solamente se tiene una visión conjunta inalcanzable de otro modo, sino un punto de vista original e inédito de extremada utilidad. Pone de manifiesto no sólo la continuidad o discontinuidad de elementos y accidentes geológicos, sino que lo hace con unas disposiciones de proyección e iluminación y sombras que no son las normales. Algunos accidentes tectónicos de difícil percepción muchas veces en la observación



directa del terreno, como fallas y diaclasas, la fotografía aérea los pone de manifiesto al primer golpe de vista, individualmente y por sistemas.

Permite observar lo existente por debajo y a través de recubrimientos neutros, tales como cuaternarios, capas de arena, terrenos de labor, lo que no podría hacer nunca el geólogo por observación directa, y esta propiedad es muy utilizada por los arqueólogos para localizar restos de antiguas civilizaciones.

La utilidad de la fotogeología es siempre grande, pero variable e incluso muy variable de acuerdo con las características de los terrenos. Hay regiones en que cualquier geólogo con un poco de práctica e instinto geológico puede interpretar la fotografía aérea, siempre que obre con precaución y conozca y sepa evitar sus múltiples engaños y limitaciones. En otras, para sacar algún provecho, se requiere la operación de un verdadero especialista, por ejemplo en las regiones cubiertas de selvas, bien sean boreales o tropicales. Y desde luego es siempre necesario un especialista cuando se haya de hacer un trabajo delicado con restituciones exactas y medidas de espesores y pendientes.

Su complemento más eficaz es el de la fotografía aérea estereoscópica en color, pero su precio es, por ahora al menos, muy elevado.

De todos modos no es más que una herramienta, un elemento auxiliar de la geología sobre el terreno, a la que no puede nunca reemplazar por sus muchas limitaciones y por lo engañoso de sus interpretaciones, así como por lo incompleto de la información que suministra. De todo ello me ocupé hace pocos años. (J. M. Ríos, 1962.)

En general se usa como preparación desbrozadora de los estudios de campo y, una vez realizados éstos, para perfeccionar las representaciones. Otras veces se cartografía el terreno mismo anotando directamente sobre la cartografía aérea, incluso aplicando allí mismo el examen estereoscópico.

Ha prestado enormes servicios en la investigación petrolífera de extensísimas regiones desérticas o despobladas, desconocidas geológicamente, porque determinadas sobre las fotografías aéreas las zonas estructuralmente interesantes, ha dirigido a ellas directamente a los geólogos, con ahorro de esfuerzos y de dinero.

Pero no debe nunca olvidarse que es un complemento, una herramienta más de la geología del terreno, nunca un sustituto.

El complejo de inferioridad tantas veces mencionado impulsa a muchos geólogos, que no llegan a comprender bien el verdadero espíritu y carácter de la nobilísima actividad a que se dedican, a tratar de buscar una formulación, una expresión matemática, una calificación, sobre todo, de los fenómenos geológicos.

Lejos de mi ánimo y de mi intención tratar de criticar esta tendencia, cuando se aplica a fenómenos cuantificables y cuando no se pierde de vista el verdadero carácter de la actividad geológica, pero sí cuando se exageran y cuando se trata de imponer una cuantificación a todo fenómeno geológico, negando validez a lo que no esté cuantificado.

En ese sentido coincido plenamente con Hoover Mackin (J. Hoover Mackin, 1963), que ha dedicado recientemente atención a esa tendencia y a cuyas consideraciones me voy a referir comentándolas.

Para este autor, el bandazo a lo cuantitativo ha sido exagerado, y exageradamente rápido, y el empleo superficial o la manipulación poco consciente de datos numéricos ha llevado a resultados intrascendentes, falsos y, en casos, hasta risibles. Sin embargo, la tendencia expresa una preocupación que compartimos muchos geólogos, sobre todo si consideramos que las ciencias físicas y químicas, tan adelantadas en la expresión cuantitativa de sus fenómenos, han hecho gracias a ella los espectacularísimos avances que todos conocemos.

Recuerda que Lord Kelvin decía que lo que no puede expresarse en números no es ciencia, pero aun sin considerar de que esto es una opinión particular, por muy distinguido que sea su origen, no deja de ser una cuestión muy discutible y muy discutida (G. Holton, 1952), y acerca de este concepto ya he expresado mi opinión y las de otros en páginas anteriores.

También dijo Lord Kelvin (E. Cueto y Rui-Díaz, 1948) que en el estudio progresivo del mundo externo el primer trabajo es el de observación y clasificación de los hechos, al que sigue la sistematización inductiva de los mismos, cuyo objeto es la investigación de los hechos naturales, y consideraba la filosofía como la segunda de esas fases.

Hoover Mackin señala, sin embargo, que prevalece ahora la opinión entre muchos físicos de que la mera preocupación acerca de las relaciones causa-efecto introduce confusión respecto a los problemas reales de la ciencia. Los espectaculares avances logrados por las ciencias físicas y químicas son los que hacen que nos preguntemos si no estarán realmente pasados de moda nuestros métodos y caminos mentales y si no deberíamos cambiar radicalmente nuestros métodos de raciocinio.

Señala tendencias actuales, de índole muy diferente, pero profundamente interpretadas, que se están desarrollando simultáneamente y que se confunden en las mentes de los geólogos.

Una de ellas consiste en un incremento en el ritmo de infusión de nuevas ideas y técnicas procedentes de otras ciencias, así como de la ingeniería,

con el correspondiente incremento en el grado de precisión conseguido (o pretendido al menos) en la valoración cuantitativa de las características geológicas y procesos de todas clases, así como en el empleo de métodos estadísticos y mecánicos para el análisis y elaboración de éstos.

Por mi parte he comentado ya en páginas anteriores estos hechos y tendencias. Añado ahora que es evidente el enorme paso adelante dado en algunos sectores en la precisión cuantitativa de la expresión de los hechos y fenómenos geológicos, pero siempre en fenómenos no cien por cien geológicos, sino en aspectos parciales de la geología dominados por fenómenos físicos y químicos.

Pero llega a plantearse en nuestro ánimo la duda: ¿Es suficiente lo logrado? ¿No habrá, en efecto, que cambiar por completo el método? ¿Tendrán, verdaderamente, expresión matemática hechos geológicos de los que no se ha pensado nunca que la tuvieron? ¿No estaremos defendiendo posturas falsas, o al menos anticuadas, por pereza mental?

La otra tendencia que señala Hoover Mackin consiste en la introducción o empleo de un método de enfrentamiento muy diferente del habitual con respecto a los problemas, y cuyo carácter es esencialmente empírico. En su forma más pura este método depende escasamente del raciocinio, del razonamiento y, cuando funciona como método exclusivo o independiente, sustituye el proceso de raciocinio por operaciones que son en alto grado mecánicas. Solemos desconfiar de él, porque en éste y en otros aspectos es extraño a los habituales métodos mentales de los geólogos.

Para que se comprenda mejor el carácter de la evolución traza Hoover Mackin un breve esbozo del método clásico o racional, según opinan tres clásicos americanos acerca del método científico (G. E. Gilbert, 1886; T. C. Chamberlin, 1897; D. Johnson, 1933). El así denominado método racional entraña un juego mutuo de observación y razonamiento, en el que las primeras observaciones sugieren una o más explicaciones, las hipótesis de trabajo, cuyo análisis conduce a una predicción de la observación o experimentación que, a su vez, permite el descarte de algunas de las hipótesis y el afino de otras. Como consecuencia se descartan datos que ahora resultan insignificantes para la materia que se trata de investigar y se llega a un agudizamiento del enfoque en busca de nuevos datos, menos aparentes, más difíciles de obtener; pero que son de especial valor diagnóstico, y así sucesivamente.

El método sigue en uso; pero, en general, no en esa forma u orden, sino que se cotejan razonamientos contra razonamientos, pruebas contra otra clase de pruebas, razonamientos contra pruebas y pruebas contra razo-

namientos. Es decir, se comprueban mutuamente, tanto las pruebas como los razonamientos a cada paso de la investigación. El objetivo del método denominado racional o científico es llegar a la comprensión del sistema investigado y conseguirlo de la manera más completa y perfecta posible.

Para la mayor parte de los geólogos esto significa la comprensión de relaciones de causas a efectos, dentro del sistema, y es frecuente que más pronto o más tarde queden implicados datos cuantificables y relaciones con expresión matemática, según la índole del problema. Pero cuanto más importante sea éste, es decir, cuantos más aspectos generales abarca, tanta más implicaciones colaterales supone, más difícil resulta lograr y coordinar las pruebas y se acentúa, por consiguiente, la necesidad esencial de que el sistema sea comprendido, previamente, en términos cualitativos. Sólo de esta manera es posible orientar correcta y adecuadamente la recolección y comprensión de los términos cuantitativos.

Y—sigue Hoover Mackin—en cualquier problema que se plantee lo primero es definirlo, traerlo a foco, averiguar cuáles son los fenómenos que requieren explicación, lo que parece que debe llevarse a cabo mediante raciocinio. Colateralmente señala un hecho, que yo mismo he señalado en otras ocasiones y repetido en este mismo texto: el valor e importancia de las excepciones en el razonamiento geológico. Esta idea la trae a colación Hoover Mackin al hablar de la selección y sopesamiento cuidadoso del valor y exactitud de los datos informativos que sirven de base al raciocinio. Los supone expresados, por ejemplo, por puntos en una información gráfica de concentración de alguna característica, digamos rumbos de estratos o cortejos de fracturas. Dice que cuando un elemento de información (observación), tras cuidadoso estudio de su validez, haya sido admitido al gráfico, ya no puede ser desestimado o despreciado, y los datos que yacen fuera de las agrupaciones de puntos son, por lo menos, tan importantes y en general más interesantes que los que yacen en las agrupaciones. Es precisamente del estudio de las razones de esta dispersión, de esta anomalía, de por qué están donde aparentemente no deben estar, de donde parte el desarrollo de las nuevas iniciativas.

Los fines que se propone el método racional es llegar a respuestas completas, desde el principio, que constituyen las hipótesis de trabajo orientadoras después de la búsqueda y verificación de las pruebas. Pero nunca se lanza, antes del proceso de comprobación de datos, a una generalización que pueda llegar a considerarse como una conclusión. Y no es que haya nada éticamente malo en las generalizaciones rápidas, sino que la experiencia enseña que las teorías así creadas caen por falta de base.

Veamos ahora cómo analiza Hoover Mackin el método empírico, ingenieril o tecnológico. Este método, que atrae intensamente a las jóvenes generaciones por su, en parte, engañosa exactitud, maneja casi exclusivamente desde el principio, datos cuantitativos, y procede directamente a una contestación cuantitativa que constituye el término de la investigación. El método reduce a un mínimo, o elimina totalmente, el juego de razonamiento, inductivo o deductivo, por medio del cual se elaboran los datos en el método científico. El sistema arrastra como consecuencia que no haya capacidad crítica de los datos conforme se van recogiendo. Son analizados primariamente por métodos matemáticos, que no distinguen entre la causa y el efecto, ya que según los que practican el sistema la comprensión de relaciones de causa a efecto puede tener algún interés, pero no es esencial.

Las operaciones de raciocinio, que caracterizan el método racional, dependen de un fondo de conocimientos y de un enjuiciamiento basado en la experiencia. Por consiguiente, en igualdad de circunstancias, el experto (por viejo) se desenvolverá mejor, mucho mejor, que el novato.

Las operaciones del método ingenieril dependen en mucho menos grado del enjuiciamiento, es decir, si aplica este método un joven aún no experimentado puede funcionar mejor y, sobre todo, más rápidamente que el experto. Por esta razón y por la calidad rápida, positiva y cuantitativa de las respuestas es por lo que el método ofrece un gran atractivo a la joven generación.

Hoover Mackin estudia varios ejemplos de aplicación del método empírico, todos ellos referentes a la función geológica llevada a cabo por los cursos fluviales, tales como erosión, transporte, etc. El material de partida está constituido en cada caso por información estadística, en general obtenida con otros fines distintos. Y aun cuando éste no sea el caso, encuentra que la aplicación del método omite las limitaciones o condiciones que imponen los principios geológicos.

Para Hoover Mackin la diferencia fundamental entre los métodos racionales y los empíricos reside en las relaciones causa-efecto, que algunos científicos, y gran parte de los filósofos, consideran como de gran ingenuidad. El motivo es que al ascender de efecto a causa encuentran que cada causa es a su vez efecto de otra causa, lo que obliga a remontar siempre a las causas finales. Pero el investigador ha de limitar forzosamente su atención a las causas más o menos mediatas, ya que las más remotas suelen recaer en otros campos o esferas de actividad.

Por lo que se refiere a la cuestión concreta de la cuantificación, Hoover Mackin llega a la conclusión de que en cada campo el paso a lo cuantitativo,

y el grado de cuantificación, dependen en gran medida de la materia en cuestión: número y complejidad de las componentes interdependientes involucradas en los sistemas, facilidad o dificultad relativa en la obtención de datos básicos, susceptibilidad de éstos a la expresión numérica y medida en que el tiempo sea dimensión esencial.

Y, añadido yo, en conjunto y por aislado, estas condiciones son poco favorables para la cuantificación en geología, salvo para aquellos campos parciales en que quedan involucrados principios físicos, químicos y mecánicos en materia geológica, lo que en general ocurre cuando las escalas de tiempo implicadas son muy reducidas, es decir, cuando se elimina el factor histórico en geología. Porque, como ya expresé antes, la base de posibilidad de cuantificación reside en la posibilidad de la eliminación de gran cantidad de variables sin que cambie la validez de los resultados como consecuencia de la limitación del campo de acción. Es de esta manera, en el campo de lo físico y de lo técnico, reduciendo a dos, lo más a tres, incluso a cuatro, las variables, como se llega a conceptos manejables numéricamente y experimentalmente, mentalmente comprensibles y descriptibles gráficamente, sin desvirtuar en nada la validez del experimento y sin otro efecto que la reducción del ámbito. Luego se puede ampliar éste combinando las variantes de otra manera. Pero en geología no se pueden eliminar variables sin afectar fundamentalmente a la validez y significado del razonamiento.

Señala Hoover Mackin que antes de que Bucher (W. H. Bucher, 1933) pudiera formular unas leyes generativas del proceso de deformación de la corteza tuvo que realizar una inmensa labor descriptiva, que sigue incrementando. Fue preciso conocer los efectos de los movimientos antes de que fuera posible anticipar sus causas. Pero el conocimiento de la geometría de una sola cadena de montañas requiere por lo menos lo mejor de las vidas de dos generaciones de geólogos de diferentes especialidades, activos en el campo y en los laboratorios. Y como no hay dos sistemas montañosos iguales hemos de conocerlos todos, incluso los que existieron y de los que sólo quedan restos. Pero, además, sus ritmos de crecimiento y las relaciones mutuas entre las cadenas antiguas y las actuales son conocimientos necesarios, tan importantes como el de su geometría. Por consiguiente, el que estudie la mecánica de las deformaciones de la corteza terrestre debe tener la mentalidad del físico y del historiador, tan diferentes y difíciles de compaginar.

Entran en juego limitaciones de muchos órdenes, y el apoyo de la experimentación es muy limitado. Lo mismo ocurre para cualquier tema geológico de altura (o sea intrínsecamente geológico), tales como lo son el emplazamiento de batolitos, los orígenes de fluidos mineralizantes, la morfología

de los terrenos, etc. De aquí que los geólogos hayan sido particularistas más que generalistas, incluso cualitativamente. Y como consecuencia de que la mayor parte de la evidencia geológica no puede expresarse en números y de que la mayor parte de los sistemas geológicos sean tan complejos, los geólogos están muy poco predispuestos a la generalización cuantitativa.

Finaliza Hoover Mackin diciendo que no se trata tanto de oponer la geología clásica a la cuantificación, ya que la geología es en gran medida (en muchos de sus aspectos parciales) cuantitativa por propia índole, sino el método racional al empírico, ya que, si de lo que se trata no es tanto de la expresión, sino de la comprensión del fenómeno, y si el fenómeno es complejo, el método empírico tiende a ser menos eficiente que el racional.

El cerebro de los geólogos debe ponerse al servicio de las relaciones causa-efecto en los sistemas geológicos, si bien con todas las ayudas numéricas y mecánicas, etc., que puedan derivar de otros campos.

Ya mencioné antes la tendencia que se manifiesta, inevitable por otra parte, a utilizar la inmensa ayuda que pueden prestar las memorias electrónicas y los modernos sistemas de cálculo, comparación y selección (W. C. Krumbein, 1962).

Hablábamos allí de su empleo en el registro y clasificación de observaciones de campo para operaciones de cartografía geológica; en geofísica, donde los analogizadores suministran imágenes gráficas directas; en geostatística y en valoración de criaderos, así como en la evaluación de mercados de minerales y cálculo de márgenes de beneficio.

No voy a negar las numerosas ventajas de esta moderna herramienta de trabajo puesta al servicio de la mente humana. No sólo hace posibles cálculos con muchas más variables que las que puede utilizar la mente humana y a fantástica velocidad; no solamente permite la resolución de problema matemáticos complejos inasequibles a la mente humana, sino que su campo de aplicación parece ilimitado y se seguirán descubriendo infinitas aplicaciones. Pero tan peligroso como menospreciar sus evidentes ventajas será olvidar sus manifiestas limitaciones.

Veamos primero el aspecto puramente científico de la materia. Hemos dicho que en geología el diagnóstico existe y es una función tan importante como la que desempeña en medicina. Dijimos que era la capacidad de recordar y comparar, instintiva y subconscientemente, experiencias pasadas y cotejarlas con el problema actual para señalar analogías y discrepancias y señalar soluciones. Pero ésta es precisamente una de las capacidades más acusadas de la cibernética, la de las memorias electrónicas, tan veloces y con una capacidad limitada solamente por la alimentación de información.

Se emplea el sistema en la recogida y sistematización de datos cartográficos e ignoro si se emplea ya en paleontología, pero parece que allí su utilidad debería ser grande, sobre todo en micropaleontología.

Su gama de empleo en sistematización de todas clases de información es casi infinita empezando por la sedimentología y acabando por los accidentes tectónicos mayores y menores.

El inconveniente es que desaparece todo matiz de apreciación fuera de las características programadas, y para los fines de la geología esto constituye un grave inconveniente. También prefieren estos sistemas los valores medios o estadísticos y es mucho más difícil seleccionar las excepciones lo que en geología, como hemos señalado en diversas ocasiones, tiene valor fundamental.

En fin, esta materia ha sido tratada al detalle por personas mucho mejor informadas, y para todos los campos de la ciencia, de modo que no tiene objeto profundizar aquí en ella.

Pero sí quería insistir en el aspecto que podríamos llamar sociológico, y sobre el que atraje la atención hace poco tiempo (J. M. Ríos, 1962).

Esta tendencia a la mecanización, como la tendencia a la subdivisión de trabajo en grupo muy especializado y en general la aplicación de muchas técnicas modernas, trae como implicación forzosa la despersonalización de la geología. Es un proceso, absolutamente inevitable, como lo fue el desplazamiento de la fuerza muscular por la máquina de vapor, primero, y luego por el motor de combustión interna. Como lo es el crecimiento arrollador de la población humana, fenómeno de que todo esto es consecuencia en gran medida. Pero aquellos avances, aunque implicaban profundas evoluciones e incluso revoluciones sociales, no afectaban a la índole misma del saber, porque no llegaba a atacar a la esencia de su mecanismo.

La despersonalización de la geología resulta de muchas causas, todas ellas en relación con las técnicas modernas. La primera y más inmediata, y quizá la más acusada, resulta de que cada vez se distancian más las conclusiones de la observación. Las nuevas técnicas utilizan criterios que no son, como lo eran antes, de determinación inmediata.

Es preciso que intervengan especialistas que no han estado en contacto con el terreno. Por consiguiente, el geólogo de campo no es ya, como lo era antaño en mucha mayor medida, el autor y el interpretador total de sus observaciones, sino que ha de admitir o requerir colaboraciones intermedias de carácter impersonal. Pero el grado se acentúa en el caso de las organizaciones complejas, y muy complejas, que exige el desarrollo de las técnicas actuales. En ese caso los datos ya no vuelven a los observadores, sino que

pasan a manos de múltiples especialistas y, finalmente, de interpretador e integradores. Entonces la despersonalización es completa; el observador actúa de manera puramente mecánica y lo más probable es que nunca llegará a conocer el fruto de sus observaciones, ni participará en su interpretación y aprovechamiento. Los especialistas actúan igualmente de manera mecánica, pues son meros catalogadores y clasificadores de características, puesto que no conocen por sí mismos el terreno sobre cuyos datos trabajan; los integradores y resumidores viven a veces a miles de kilómetros del terreno que no han visto y no verán nunca. Y este sistema se irá completando, o sustituyendo, por una realización mecánica aún más fría e impersonal, verdaderamente gélida. De esta manera se llega no ya a una despersonalización sino a una deshumanización de la tarea geológica.

Es el final, por otra parte insoslayable, de un proceso llevado a su extremo, que resulta inevitable consecuencia de la aplicación de las modernas técnicas, con su cortejo de especialistas, y de la complicación que arrastra en las organizaciones que han de ejecutarlos, lo que, unido a factores económicos, lleva a la máxima mecanización y deshumanización.

El proceso me parece no sólo inevitable, sino legítimo y provechoso se restringe a las materias cuantificables, pero no si se aplica a los procesos que forzosamente han de ser mentales e inductivos, como consecuencia del carácter histórico de la disciplina geológica, como repetidamente hemos tratado de justificar a lo largo de este texto.

## BIBLIOGRAFIA

- ALBRITTON JR., C. C.: "The Fabric of Geology".—Prefacio. 75 Aniversario Geol. Soc. of America. Washington, 1963.
- ARAGONÉS PUIG, A.: "El humanismo clásico y el científico en la formación del Ingeniero".—E. E. de Ing. Ind. Madrid, 1952.
- BARNHART, C. L.: "The American College Dictionary".—Harper Ed. N. Y. y Londres, 1948. 1.432 p.
- BARRELL, J.: "Rythmus and the measurement of Geologic Time".—G. S. of America Bull. Vol. 28. Pt. 3. 1917. 159 p.
- BIRINGER C., C.: "Geschichte der Geologie und des Geologischen Weltbildes".—F. Enke Ed. Stuttgart, 1954.
- BILLINGS, M. P.: "Cronología de las orogénesis y naturaleza de la Escala de los Tiempos Geológicos".—N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España, núm. 45. Madrid, 1957, 92 p., y Bull. of the Am. Assoc. of Petr. Geol. n.º 8. Vol. 40. 1956.
- BRADLEY, W. H.: "Geological Laws", en The Fabric of Geology, Geol. Sc. of America. 75 Aniversario. 1963, 11 p.
- BRUNN, J. H.: "La methode historique et la geologie".—Rev. de Geogr. Phys. et de Geol. Dyn. (2). Vol. V, fasc. 3. Paris, 1963, 5 p.
- BUCHER, W. H.: The deformation of the earth's crust; an inductive approach to the problems of diastrophism".—Princeton University Press. 1933, 518 p.
- "The nature of geological inquiry and the training required for it".—Inst. Min. and Met. Eng. Tech. Publ. 1.377. 1941.
- "Role of gravity in orogenesis".—Geol. Soc. of America Bulletin. Vol. 67. Baltimore, 1956. 23 p.

- BUSH, V.: "The limitations of Science".—Citado en *Time*, 7 de mayo 1965.
- CAILLEUX, A.: *Histoire de la Geologie*.—Presses Universitaires de France. Pa 1961.
- CAREY, S. W.: "The Rheid Concept in Geotectonics".—*Journ. Geol. Soc. Austral* Vol. 1, núm. 1, p. 67-117. Adelaide, 1953. 50 p.
- "Escala de los fenómenos geotectónicos".—*N. y C. del Inst. Geol. Minero de España*, núm. 72. Madrid, 1963, 11 p.
- "Plegamiento".—*N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España*, núm. Madrid, 1964, 67 p.
- CARNAP, R.: "The methodological character of theoretical concepts".—*Minne Press. Minneapolis*, 1956, 38 p.
- CAYEUX, L.: "Causes anciennes et causes actuelles en Geologie".—*Masson et C Ed.* 1941. París, 80 p.
- CLOUD, P. E.: "Is geology a Science?".—*Geotime*. Vol. 1, núm. 6. Dic. 1956. Washington. Trad. esp. J. M. Ríos.—*N. y C. del I. G. y M. de España*, núm. 1957, 4 p.
- CORBEL, J.: "Vitesse de l'érosion".—*Zeit. Geomorphologie N. F. T.* 3, H. 1. 1928 p.
- CORNELIUS, H. P.: "Fundamentos de Geología General".—*Ed. Alhambra*, 19 Madrid, 403 p.
- CUETO Y RUI-DÍAZ, E.: "Fundamentos lógicos de la Geología".—*Bol. I. G. y M. España*. Tomo LX, 1948. Madrid, 68 p.
- CHAMBERLIN, T. C.: "Method of Multiple Working Hypothesis".—*Journ. Geolo* Vol. 5, 1897.
- "The Appalachian folds of Central Pennsylvania".—*Journ. Geolo* Vol. 18, 1910, 23 p.
- DAWSON ADAMS, F.: "The birth and development of the geological sciences".—*Ed. Dover*. New York.
- DEMACY, A.: "Observation, interpretation et theorie en geologie".—*XXI Congrès ternational de Philosophie des Sciences. Sección Sciences de la Terre*. Hermann et Cie., Ed. París, 1951.
- DOLE, R. B., y STABLER, H.: "Denudation".—*U. S. Geol. Survey Water Suply P* 234. Washington, 1909.
- EDDINGTON, A.: "The Nature of the Physical World".—*Cambridge Univers Press*. 1928.
- EGYED, L.: "La theorie dynamique de la Terre".—*Rev. Geographie Physique et Geologie Dynamique*. Vol. V, fasc. 3. Masson et Cie., Ed. París, 1963.
- FALLOT, P.: "Las últimas teorías orogénicas".—*N. y C. del Inst. Geol. y Min. España*, núm. 17. Madrid, 1947, 47 p.
- GILBERT, G. K.: "Inculcation of the Scientific Method by example".—*Am. Jo Science*. Vol. 31, 1886.

- GILLISPIE, C. C.: "Genesis and geology; a study in the relations of scientific thought, natural theology and social opinion in Great Britain. 1790-1850".—*Harvard University Press*, 1951. Cambridge. Mass.
- GILLULY, J.: "Atlantic Sediments, Erosion rates, and the Evolution of the Continental Shelf. Some speculations".—*G. S. of America Bulletin*. Vol. 75, número 6, junio 1964. New York, 9 p.
- "Distribution of mountain building in geologic time".—*Bull. Geol Soc. Am.*, n.º 69, 1949.
- GLANGEAUD, L.: "L'experience et la recherche operationelle dans les Sciences de la Terre et de la Nature".—*Revue de Synthèse* n.º 29-31. A. Michel, Ed. París, 1963.
- GOGUEL, J.: "La Geologie, Science Naturelle ou Science Physique?".—*XXI Congrès International de Philosophie des Sciences. Sciences de la Terre*. Hermann et Cie., Ed. París, 1951, 4 p.
- GOULD, S. J.: "Is uniformitarianism necessary?".—*Am. Journ. of Sc.* Vol. 263. Marzo 1965.
- HAARMANN, E.: "Um das Geologische Weltbild. Malleo et Mente".—*Ferdinand Enke, Ed. Stuttgart*, 1935, 98 p.
- HEDBERG, H. D.: "El Panorama Estratigráfico".—*N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España*, núm. 64. Madrid, 1961, 36 p., y *Geol. Soc. of America Bulletin*. Vol. 72. Baltimore, 1961.
- HEIM, A.: "Uber rezente und fossile subaquatische Rutschungen und deren lithologische Bedeutung".—*Neues Jahrb. G. Min. Geol. und Pal.*, 1908.
- HEMPEL, G. G.: "The Theoretician's dilemma; a study in the logic of theory construction".—*Studies in the Philosophy of Science*. Vol. 2. Univer. Minnesota Press, 1958, 61 p.
- HOLTON, G.: "Introduction to concepts and theories in physical science".—*Addison Welley, Ed. Reading Mass.*, 1952.
- HOOVER MACKIN, J.: "Rational and empirical methods of investigation in geology".—*The Fabric of Geology. Geol. of America, 75 Aniversario*. 1963, 29 p.
- HOOYKASS, R.: "Natural law and divine miracle; a historical critic study of the principle of uniformity in geology, biology and theology".—*E. J. Brill., Ed.*, 1959. Leyden.
- JOHNSON, D.: "Role of analysis in Scientific Investigation".—*Geol. Soc. of America. Bull.* Vol. 44, 1933.
- JORDÁN, J.: "La expansión de la Tierra".—*Rev. de Occidente*, año III, 3.ª ép., n.º 22. Madrid, enero 1965.
- KITTS, D. B.: "The theory of geology".—*The Fabric of Geology. Geol. Soc. of America. 75 Aniversario*, 1963, 20 p.
- "Historical explanation in geology".—*Jour. Geol.* Vol. 71, 1963, 16 p.
- KNOPF, A.: "La teoría del geosinclinal".—*N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España*,

- número 27. Madrid, 1952, 45 p., y Geol. Soc. of America. Bulletin vol. 59, 1948.
- KRUMBEIN, W. C.: "The computer in geology. Quantification and the advent of the computer open new vistas in a science traditionally qualitative".—Liverpool and Manchester. Geol. Journ. Vol. 2, 1962, 27 p.
- KUENEN, P. M.: "Marine Geology".—John Wiley and Sons, Ed. 1950, 568 p.
- "Rate and mass of deep sea sedimentation".—Am. Journ. Sc. Vol. 244, 1946, 9 p.
- LEET, L. D., y JUDSON, S.: "Physical Geology".—Prentice Hall, Ed. New York, 1954, 466 p.
- LEGAZ LACAMBRA, L.: "El espíritu científico y las humanidades".—Las Ciencias. Tomo XXIX, núm. 5. Madrid, 1964.
- LONGWELL, C. R., y FLINT, R. F.: "Introduction to physical geology".—John Wiley, Ed. New York, 1955.
- LOOMS, A. A.: "Some geologic problems of Mars".—Geol. Soc. of America Bull. Vol. 76, núm. 10, 1965, 29 p.
- MARITAIN, J.: "El orden de los conceptos".—Biblioteca Argentina de Filosofía. Buenos Aires, 1962.
- MCKELVEY, V. E.: "Geology as the study of Complex Natural Experiments".—The Fabric of Geology. Geol. Soc. of America. 75 Aniversario, 1963, 8 p.
- MILTON, CH.: "Authigenic minerals of the Green River formation of the Uinta Basin, Utah".—Intermountain Assoc. Petr. Geol. 8th Ann. Field. Conf. 1957.
- NAGEL, E.: "The structure of science".—Harcourt Brace and World, Ed. New York y Burlingame, 618 p.
- O'DRISCOLL, E. S.: "Esquemas experimentales en plegamientos similares superimpuestos".—N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España, núm. 73. Madrid, 1964.
- PALACIOS, L. E.: "Filosofía del saber".—Editorial Gredos. Madrid, 1962.
- PRUVOST, P.: "Les refuges de l'hypothèse en géologie".—XXI Congrès International de Philosophie des Sciences. Sección Sciences de la Terre. Hermann et Cie., Ed. París, 1951.
- RÍOS, J. M.: "Esto es la Geología".—N. y C. del Inst. Geol. y Min. de España, número 19. Madrid, 1949, 119 p.
- Introducción del traductor a "Fundamentos de Geología General", de H. P. Cornelius.—Ed. Alhambra. Madrid, 1955, 401 p.
- "Indole y criterios de la Ciencia Geológica".—N. y C. del Inst. Geol. Minero de España, núm. 58, 119 p.
- "Limitaciones y perfectibilidad permanente en la cartografía geológica. Problemas que plantean las técnicas modernas".—N. y C. del Inst. Geol. Minero de España, núm. 65. Madrid, 1962, 11 p.
- SCRIVEN, M.: "Truism as the grounds for historical explanations".—Theories of history. The Free Press. Glencoe. Illinois, 1959.

- SIMPSON, C. G.: "Historical Science".—The Fabric of Geology. Geol. Soc. of America. 75 Aniversario. 1963, 25 p.
- SPIEKER, E. M.: "Cronología de las orogénesis y naturaleza de la escala de los tiempos geológicos".—Trad. esp. por J. M. Ríos. N. y C. del Inst. Geol. y Minero de España, 1957. Madrid, 92 p.
- STILLE, H.: "Mudanzas en el magmatismo de nuestro Globo".—Estudios Geológicos. Inst. Lucas Mallada de Geol., núm. 4. Madrid, 16 p., 1946. Publ. original en 1940.
- "Grundfragen der vergleichenden Tektonik".—Ed. Gebr. Borntraeger, 1924. Beren, 399 p.
- "Werden und Vergehen der Kontinente und Meere".—Die Erde. Zeitsch der Ges. für Erdkunde, 1944. Berlín.
- "Das Leitmotiv der Geotektonischen Entwicklung".—Deut. Akad. der Wiss, 1949. Berlín.
- STRUKTUR UND ZEIT: Geologische Rundschau.—Vol. 38, 1950.
- SULLIVAN, J. W. N.: "The limitations of Science".—Viking Press, Ed. New York, 1933.
- VILA CREUS, P.: "Nociones de Filosofía".—Ed. Lumen. Barcelona, 1954.
- WEGENER, A.: "The origin of Continents and Oceans".—Methuen and Co., 1924. London, 206 p.
- WEGMANN, E.: "L'Analyse structural en géologie".—XXI Congrès International de Philosophie des Sciences. Sección Sciences de la Terre. Hermann et Cie., Ed. París, 1951.

**Estudio geológico del extremo  
Nordeste de la provincia de Granada**

POR

MANUEL M. ALVARADO y JOSE L. SAAVEDRA



## RESUMEN

M. Alvarado estudia el Subbético del extremo NE. de la provincia de Granada y su frente de contacto con el Prebético en una longitud de casi 40 kilómetros. Los principales fenómenos observados son descritos en cada "unidad tectónica" y representados en un mapa a escala 1:50.000 (reducido a 1:100.000 para su publicación). El autor trata ante todo de dar una interpretación estructural de conjunto, para lo que omite representar afloramientos demasiado pequeños, a menos que ellos sirvan para mejor comprender la estructura regional.

Lo mismo desde el punto de vista estratigráfico que tectónico se van estudiando las cuatro hojas geológicas (números 929, 930, 950 y 951) que comprende este trabajo. Son claros los movimientos larámicos del Paleoceno, los staíricos del Mioceno medio (responsables de la complicación tectónica) y los post-oligocenos, que todavía están actuando.

Ilustran el trabajo, además del mapa geológico, seis cortes estratigráficos, que dan una interpretación de las estructuras más notables, y varias fotografías.

J. L. Saavedra escribe el capítulo de Paleontología, en el que se hace el estudio de 240 de las muestras recogidas en esta zona, cuya posición está señalada en el mapa de situación.

Estas muestras forman una serie de facies subbética desde el Trías superior al Paleoceno y otra de facies prebética desde el Aptense al Senoniense. Hay margas y calizas del Eoceno al Mioceno formando parte de ambas formaciones prebética y subbética.

Se describen los caracteres que definen cada piso, desde el punto de vista microscópico, con 55 figuras, que incluyen fotografías de las microfacies más características y dibujos de algunos restos obtenidos por levigación.

## SUMMARY

M. Alvarado studies the Subbetic region in the NE. limit of the province of Grenada and its contact front with the Prebetic region along 40 Km. The main observed phenomena are described for each tectonic unit and represented on a 1:50.000 scale map (reduced to 1:100.000 for publication). The main purpose of the author is to give an overall interpretation of the geological structure neglecting the very small outcrops, unless they are useful for a better comprehension of the regional structure.

From the stratigraphical point of view the three prebetic, subbetic and horizontal post-tectonic units are distinguished. Each geological period is described in the prebetic and subbetic formations, showing the scarce or null differences that the most of the levels have in both units.

In the tectonic chapter the most important phenomena are described separately for each of the four geological charts, Nr. 929, 930, 950 and 951. Laramic movements in Paleocene, stairic ones in Middle Miocene and post-tectonic ones still acting nowadays are comprobated.

Besides the geological map, six stratigraphical cuts, giving an interpretation of the most remarkable structures and several photographs, illustrate this work.

J. L. Saavedra writes the paleontological chapter with the study made on 240 of the samples collected in this zone, whose position is located in the general map. These samples constitute a series in subbetic facies from Upper Triassic to Paleocene and another of prebetic facies from the Aptian to Senonian. There are eocene-miocene limestones and marls participating in both the prebetic and subbetic formations.

The characters defining each stratigraphical level are described from the microscopic view, with 55 figures, including photographs of the most characteristics microfacies and drawings of several levigated remains.

## I. INTRODUCCION

No cabe duda que, dentro de la complicada geología de nuestro país, aquella región, al sur de la falla del Guadalquivir, conocida con el nombre de las "Béticas", ocupa un lugar muy destacado. Es, desde luego, en lo que se refiere a las formaciones sedimentarias, la zona más complicada de la península, y prueba de ello es la escasa cartografía existente, a pesar de los numerosos geólogos extranjeros y españoles que le han dedicado su atención.

Ya de antiguo existen síntesis, como las famosas de Staub y de Blumenthal, intentando explicar la historia de las diversas unidades geológicas, pero a nuestro juicio ha faltado una suficiente cartografía que permitiera obtener una certera visión de conjunto de los problemas fundamentales.

Como pequeña contribución a dicha labor, hemos realizado este estudio del Subbético del extremo NE. de la provincia de Granada, y de su frente de contacto con el Prebético en una longitud aproximada de unos 40 kilómetros. En él hemos pretendido hacer una síntesis, que creemos es lo principal de la labor de un geólogo, de los numerosos fenómenos observados. Hemos trabajado a escala 1:50.000, suficientemente representativa de los sucesos geológicos más importantes acaecidos en la zona, aunque luego dificultades de publicación han reducido el mapa a escala 1:100.000.

Es decir, que queremos subrayar dos hechos: el primero, la escala a que se ha trabajado, y el segundo, la interpretación estructural de conjunto, que ha sido nuestro principal objetivo. Debido al primero de estos hechos, es evidente que hemos visto numerosos afloramientos que no han sido representados en el mapa final, ya que sus dimensiones de cinco o diez metros no lo permitían. No obstante, en algún caso en que dichos asomos tenían importancia para la mejor comprensión de la historia geológica de la zona, los hemos exagerado para señalarlos. Con respecto al segundo de estos he-

chos, diremos que ha sido la causa de que la cartografía geológica, aun teniendo presente su escala de trabajo 1:50.000, no sea ni mucho menos de extremada exactitud, de manera que cuando dibujamos una mancha de un determinado color, correspondiente a un tramo geológico, muchas veces sobre todo en el frente subbético, porque el prebético es mucho más regular, únicamente queremos expresar el predominio de los estratos de ese tramo sobre los de otro u otros, sin meternos en más separaciones.

De lo dicho anteriormente se deduce que un mapa de la misma zona a escala 1:5.000, y realizado por un equipo de geólogos, con miles de observaciones y de análisis, diferiría grandemente del nuestro, pero, con ser mucho más exacto, arrojaría probablemente menos luz sobre los problemas fundamentales de la región, y, en todo caso, estamos seguros es conveniente que haya sido precedido por éste. En geología es fundamental atacar los problemas por etapas, de mayor a menor, sin perder nunca la visión de conjunto y sin que el exceso de detalles ofusque nuestra mente.

Llegamos a esta región con bastante experiencia en cartografía, geología de campo y fotogeología; arma esta última sin la cual hubiera sido imposible este trabajo, pero sin haber realizado nunca un estudio de envergadura en las Béticas, y, de intento, no consultamos la bibliografía regional hasta tener muy avanzado el estudio y haber sacado nuestras propias conclusiones y ahora, considerando dicha bibliografía, nos alegramos de ello, no por creer que las grandes síntesis presentadas por famosos geólogos extranjeros, caídas todas ellas sumamente ingeniosas, sean erróneas, sino por juzgar, eso sí, que fueron prematuras. Para opinar que ciertas unidades geológicas provinieron del Mediterráneo, pasaron Sierra Nevada y corrieron hacia el norte, ha que tener más pruebas.

Este trabajo pretende pues, únicamente, presentar unos hechos interpretados hasta un grado razonable, sin dejar volar libremente la fantasía, que en unión de otros muchos presentados por otros geólogos, dan lugar a un conocimiento geológico de las Béticas, permitiendo, por fin, elaborar una síntesis de la historia geológica de la región que, suficientemente apoyada en pruebas, convenza a todos.

Ciñiéndonos al extremo NE. de la provincia de Granada, que limita al NO. con la provincia de Jaén, al NE. con las de Albacete y Murcia, al E. con la de Almería, varios prestigiosos geólogos franceses, que no nos braremos para no omitir a nadie, realizaron observaciones; pero no queremos dejar de expresar nuestra admiración hacia P. Fallot por su certera visión de conjunto en los breves recorridos realizados, y hacia A. Foncault por sus modernas y valiosas descripciones publicadas en los Boletines de la Sociedad

Geológica de Francia y en el tomo homenaje a P. Fallot. Por lo demás, no existe ninguna cartografía geológica publicada de la zona.

Finalmente, queremos dar las gracias a la señorita Asunción Linares, de la Universidad de Granada, por su contribución al estudio micropaleontológico de una serie de láminas, y al ingeniero de Minas Sr. López Herrero, que nos acompañó en las primeras expediciones de campo.

## II. ESTRATIGRAFIA

Si definimos como "unidad geológica" un concepto de formaciones que ha tenido más o menos el mismo ámbito de sedimentación, y que luego sufrió análogas vicisitudes geológicas, ya se comprende que, en una zona tan complicada como ésta y pródiga en acontecimientos, el criterio de división de unidades es bastante subjetivo.

Sin embargo, en nuestro deseo de sintetizar y simplificar las cosas hasta donde sea posible, nosotros hemos reducido estas unidades a tres fundamentales: la serie subbética, la serie prebética y la constituida por un conjunto de formaciones modernas y postorogénicas. Lo cual creemos coincide con la primitiva idea de Fallot.

Esta división difiere notablemente de la presentada por Foncault, que distingue, aparte de los estratos recientes postorogénicos, cinco unidades, a saber: Prebético propiamente dicho, unidad intermedia de Sierra Seca, unidad intermedia de La Sagra, Subbético propiamente dicho y unidad de Marmolance.

Aunque esta última clasificación fuera más exacta o afinada que la nuestra, la cual será siempre discutible, porque tropezamos con una pregunta teórica y que sólo la experiencia en geología de campo puede contestar en cada caso: ¿hasta qué punto ciertas diferencias litológicas o de fauna hace lícito la creación de una unidad geológica distinta?, estamos, sin embargo, convencidos que esta distinción de cinco unidades es muy local, y que con este criterio resultarían cientos de unidades diferentes en las Béticas, cuya correlación sería inabordable y, por lo tanto, la síntesis que tanto perseguimos, imposible. Esto no obstante, las observaciones y las series descritas por A. Foncault son de un valor positivo, que nadie, y nosotros aún menos, podemos negar, tanto en esta etapa del conocimiento geológico de la región como en otras posteriores más avanzadas.

Por tanto, la denominada por Foncault unidad intermedia de Sierra Seca, nosotros la hemos asimilado al Prebético, aunque no negamos las diferencias señaladas por el geólogo francés, excepto quizá la que se refiere a la presencia de un Eoceno casi completo en esta unidad intermedia. Ello es cierto, desde luego, en la parte norte de nuestro mapa, pero no así a la altura del pueblo de San Clemente o más al SO., donde casi podemos asegurar que no existe Eoceno, estando en contacto normal el flysch cretáceo superior con el Oligoceno.

En cuanto a la unidad intermedia de La Sagra, no vemos diferencias esenciales, ni de fauna ni litológicas, para separarla del flysch cretáceo de Sierra Seca, que nosotros denominamos prebético. Opinamos, con Foncault, que las capas de la Ermita de las Santas pertenecen efectivamente a esta unidad, y en lo que se refiere a los problemas estructurales que plantea su presencia, tanto en dicha ermita como debajo de La Sagra y encima del Terciario de Sierra Seca, creemos que pueden ser razonablemente solucionadas, como intentaremos hacer en el capítulo de Tectónica.

Respecto a la unidad de Marmolance, no la observamos muy distinta del Eoceno prebético de Sierra Seca, aunque la hemos señalado en el mapa con color diferente por caer plenamente dentro del ámbito subbético. En lo referente a la aloctonía de dicha formación con respecto a los estratos subyacentes, no la negamos en redondo, puesto que, efectivamente, existe una fuerte discordancia, pero los argumentos aportados por Foncault nos parecen insuficientes. En efecto, el que el mogote eoceno situado a la derecha de la carretera Huéscar-Santiago de la Espada, hacia el Km. 11,500, flote sobre el Trías, puede ser explicado por la emersión y erosión de toda la región durante el Paleoceno, y también por los violentos trastornos tectónicos producidos en el Mioceno medio que dieron lugar al gran cabalgamiento del Subbético sobre el Prebético, de cuyo frente de cabalgamiento el citado mogote está cerca. En cuanto a que en el Collado Moril se encuentre un fragmento de la unidad de Marmolance (¿o del Eoceno prebético?) sobre estratos miocenos, tampoco nos parece prueba decisiva de aloctonía, ya que se trata de un lugar por donde ha pasado el macizo subbético de La Sagra deslizándose sobre el Prebético en dirección NO. Pero sobre esto hablaremos con más detalle en el capítulo de Tectónica.

Vamos a describir ahora, brevemente, los terrenos encontrados en orden de antigüedad decreciente.

### Trías

Su aspecto es típicamente germánico; con arcillas abigarradas, y, a veces, yesos y jacintos de compostela. Es, como siempre ocurre con el Trías germánico en España, muy fácil de reconocer en el campo, aunque en ocasiones, al hallarse revuelto con otras formaciones más modernas, presenta problemas de cartografía. Por ejemplo, en la gran mancha que hemos pintado al sur de Castril, en ambas orillas del río del mismo nombre, existen numerosos afloramientos cretáceos y terciarios.

Estas capas, por su plasticidad y poder lubricante, forman una buena superficie de deslizamiento para las formaciones más modernas, y los empujes orogénicos han aprovechado generosamente esta propiedad.

Es frecuente encontrar también carniolas del Suprakeuper: marrones oquerosas con aspecto de grandes esponjas.

### Lías

El Lías da lugar en el ámbito subbético a casi todas las alineaciones montañosas. Estas alineaciones, como Sierra Duda, Sierra de Montilla, etc., contienen también capas del Jurásico más alto, pero no las hemos separado por ser labor muy trabajosa y, además, porque la preponderancia del Lías en la serie jurásica subbética es muy grande.

La ausencia de microfósiles en las calizas del Lías es patente, y cuando dichas calizas están recristalizadas, presentando granos romboédricos, su identificación al microscopio es difícil, pero en general su aspecto macroscópico es típico. Se trata de calizas finas o incluso litográficas, la mayor parte de las veces grises, y con unas inclusiones silíceas muy típicas que a veces adoptan la forma de un huevo perfecto (fot. P).

### Dogger

En algunos lugares, siempre en pequeños afloramientos, porque el espesor de este tramo es pequeño, aparece casi exclusivamente el Dogger, y como tal lo hemos dibujado en el mapa. Esto sucede, por ejemplo, en una alineación paralela a la Sierra de Montilla y situada al NO. de ella, y también

puede observarse cómodamente esta formación en la carretera Huéscar-Castril, un momento antes de atravesar el puente sobre el río Guardal.

Unos seis kilómetros antes de Castril existe un afloramiento bastante extenso de capas del Jurásico superior subbético que, después de bastantes dudas, nos hemos decidido a atribuir al Dogger, aunque hay bastante Malm incluido en él.

Lo más característico de este piso son unos estratos de calizas duras con intercalaciones fajeadas de sílex, y también se encuentran en él tramos margosos.

#### Malm

El Malm subbético está constituido por calizas y margas pálidas, y algunas capas de calizas nodulosas blancas y rojas pertenecientes al Titónico, que pueden observarse muy bien junto a la ermita de la Virgen de la Cabeza, hacia el Km. 6,700 de la carretera Huéscar-Santiago de la Espada. Un poco antes de llegar al Km. 11 de la citada carretera (fot. F) pueden verse las calizas y margas blancuzcas tremendamente plegadas y rotas, y a menos de un kilómetro al NE. de la misma carretera, en la trinchera realizada para el antiguo canal de Carlos III, seguimos de este a oeste una serie con bastantes fósiles y compuesta: primero, por unas calizas pálidas alternando con margas; debajo, unas calizas intercaladas con margas vinosas; debajo, unas calizas pálidas nodulosas entre margas, y, por último, gran cantidad de calizas finas y claras. En total un paquete de algo menos de 100 metros buzando al ESE.

Antes de terminar con el Jurásico quisiéramos hablar de una formación sobre la cual estamos llenos de dudas. En el mapa hemos puesto Jurásico prebético con interrogación, basándonos exclusivamente en su posición. Se trata de esos montecillos que aparecen en la fotografía S encima de la casa de la izquierda. Como puede verse en dicha fotografía, y mucho mejor en fotografía aérea y en el campo, la citada alineación parece meterse, a la altura de la casa situada a la derecha, por debajo de un anticlinal cuyas capas pertenecen al Cretáceo inferior prebético.

El tipo de roca, sin fósiles de ninguna clase, es el de una caliza dolomítica de grano grueso muy recristalizada, de aspecto sacaroideo, que da lugar al descomponerse a unos suelos de arenas blancas muy brillantes.

Geográficamente esta mancha está a unos dos o tres kilómetros al norte

del Km. 4 de la carretera Castril-Huéscar y ha sido el único sitio donde hemos podido sospechar la existencia de un Jurásico prebético.

A partir de aquí distinguiremos la serie subbética de la prebética.

#### Cretáceo subbético

Por tratarse de una formación en general más bien blanda, bastante erosionada y tectonizada, es difícil encontrar la serie completa y hacer divisiones dentro de ella. Por ello, y por existir una descripción muy bien hecha por A. Foncault de este piso (*L'unité du río Guardal*. Bull. Soc. Géol. de France, 7.<sup>a</sup> serie, tomo IV, núm. 3), nosotros nos limitaremos a adoptar el criterio simplista, pero práctico, de distinguir un Cretáceo inferior y medio compuesto principalmente por margas blandas con Ammonites piritosos y algunas calizas, y después un Cretáceo indiferenciado de análogas características litológicas en conjunto.

#### Cretáceo prebético

En cambio, en el Cretáceo prebético el distinguir "grosso modo" las diferentes unidades litológicas es bastante fácil.

Del Cretáceo inferior y medio sólo hemos visto la parte alta, perteneciente al Aptense, en los núcleos de los anticlinales de la zona NE. de Sierra Seca y también bastante más al sur (fot. F). Este paquete consta de algunas calizas y unas areniscas de colores pardos, amarillentos, y rojizos muy llamativos, que a veces son algo nodulares y contienen restos de Terebrátulas, como sucede medio kilómetro al NO. del Cortijo del Corralón.

El tramo que hemos denominado Cretáceo medio calizo detrítico prebético es muy fácil de distinguir en fotografía aérea en toda Sierra Seca por constituir un paquete más resistente a la erosión que el suprayacente y el infrayacente, y, por tanto, gracias a él se detectan rápidamente las estructuras.

En realidad, este conjunto es bastante diferente, según lo observamos en Sierra Seca propiamente dicho, o en sus terminaciones meridionales; por ejemplo, en el puente que cruza el río Castril, aproximadamente un kilómetro al NO. del pueblo de Castril (fot. U). En estas terminaciones meridionales de Sierra Seca el paquete es menos potente y mucho más detrítico.

A veces, bastantes, se encuentran Orbitolinas, pudiendo datarse esta unidad como Aptense-Cenomanense.

Aunque está roto y plegado, en el citado puente sobre el río Castril el crestón tendrá unos 30 metros de potencia, y está formado por calizas pardas muy bastas con fragmentos de conchas, tallos de Crinoides y numerosos restos.

Por el contrario, en la vertiente oriental de Sierra Seca, al norte del pueblo de San Clemente, el conjunto rocoso es más potente y predominan las calizas finas de color beige.

Por último, llegamos al flysch cretáceo prebético que forma un tramo blando y poco resistente a la erosión y cuya litología de detalle es tremendamente variada, lo cual hace que sea difícilmente identificable en el campo.

En efecto, alternan en él capas de calizas finas, o incluso litográficas, de color generalmente beige, a veces grises, con calizas margosas blandas o de otros colores, nodulares, apizarradas. También se encuentran calizas arenosas pardas detríticas y pizarras vinosas, y arcillas verdosas y azuladas, etc.

Así pues, aparte de la fauna, que se encuentra o no se encuentra, este paquete en la vertiente E. de Sierra Seca es relativamente fácil de atribuir al Cretáceo superior por yacer encima y concordante a lo anteriormente descrito; pero cuando aflora al pie de La Sagra, e incluso por detrás del frente de corrimiento subbético, en la Ermita de las Santas, o en el Cortijo Jerquera, se presentan graves problemas cartográficos que es preciso resolver conjugando los datos paleontológicos con una razonable interpretación estructural, ya que la litología no nos dará la certeza.

A finales del Secundario parece bastante claro que hubo una emersión de toda la región, no habiéndose encontrado estratos del Paleoceno en ninguna parte.

#### Terciario subbético

Poco ha respetado la erosión del Terciario en el ámbito subbético. Como puede observarse en el mapa, aparte de algunos isleos sueltos, únicamente la Sierra de Marmolance (fot. D y E), fuertemente discordante sobre los estratos infrayacentes, ofrece la posibilidad de estudiar el Eoceno y el Oligoceno.

Sintetizando, este paquete es simple. En la base tenemos unas margas lutecienses y después un paredón rocoso de buzamientos en general suaves que abarca el resto del Eoceno y el Oligoceno. Este paredón está constituido por calizas de diversos tipos, en muchas de las cuales se observan, a simple

vista, buenos foraminíferos, y entre las cuales predomina una caliza muy blanca de aspecto marmóreo.

Al E. de Orce, en Venta Micena, y en las cercanías del Cortijo de Piedra, aparecen, en formaciones modernas (¿postorogénicas?), unas estructuras que, por su litología y su fauna, hemos atribuido al Terciario prebético, pero que también pudieran muy bien pertenecer al Terciario subbético.

#### Terciario prebético

El Eoceno prebético, dado su carácter arrecifal, presenta en pocos kilómetros grandes variaciones.

En efecto, en la vertiente oriental de Sierra Seca, que es donde, por la relativa tranquilidad de las capas, hemos podido estudiar la secuencia prebética, observamos que, aproximadamente hacia el Cortijo de Longueras (a unos dos kilómetros al O. del Km. 16 de la carretera Huéscar-Santiago de la Espada), el Eoceno, compuesto por margas blancas, empieza a adquirir cierta importancia. A medida que proseguimos en dirección NNO., la formación va aumentando en importancia hasta llegar al extremo septentrional del mapa, donde la carretera sube fuertemente en pronunciadas curvas. En este lugar el Eoceno tiene un considerable espesor, empezando en su parte baja por margas blancuzcas y presentando después una serie dura de bancos de calizas, areniscas y grados intermedios, cuajados de preciosos ejemplares de pequeños y grandes foraminíferos.

Al S. del Cortijo Longueras, es decir, en el Cortijo de los Cánovas, opinamos que ya apenas existe Eoceno, y que en la serie prebética se pasa de una manera casi concordante del flysch cretáceo superior a unas margas claras del Oligoceno medio. Al principio atribuimos estas margas blancas del Oligoceno medio y superior prebético al Eoceno, con lo cual el esquema general era muy simple, pero los estudios micropaleontológicos rebatieron tal interpretación.

En dirección SO. continúan las citadas margas blancas, y justamente encima de ellas, en la zona de que estamos hablando, se destaca un crestón muy uniforme de roca dura de 20 ó 30 metros de potencia, en general formado por una caliza arenosa parda por fuera y gris acerada al corte, que hemos atribuido al Oligoceno alto, y que separa la facies de margas blancas antes descrita de otra análoga, pero más potente, "moronitoide", perteneciente al Mioceno inferior. Esta última unidad stratigráfica, constituida esencialmente por margas blancas y azuladas, aflora formando el tramo más



moderno del sinclinal volcado del río Raigada, cuya importancia para la comprensión de la tectónica de la zona es fundamental, como veremos más adelante.

También al NO. del puerto de Castril aflora abundantemente esta facies de margas apizarradas, cuya erosión astillosa en los taludes es a veces muy típica (fot. V). Otras veces están manchadas de óxidos de hierro.

\* \* \*

Con esto terminamos la distinción entre las unidades subbética y prebética, puesto que lo que vamos a describir a continuación son formaciones que llamamos postorogénicas, aunque propiamente no lo sean.

Ello nos mueve a hacer algunas consideraciones sobre las diferencias entre ambas unidades. Su separación, en cuanto se refiere a criterios morfológicos y tectónicos, es evidente. En estos aspectos no se parecen en nada. Existe una gran depresión: la del río Raigadas, entre ellas, y su comportamiento ante los empujes orogénicos ha sido también bien distinto. Mientras la serie prebética se ha plegado en estructuras relativamente suaves con pocas fallas de gran importancia, la serie subbética ha sido tremendamente dislocada, trastornada y corrida, cabalgando y deslizándose por encima de la otra.

Por el contrario, en lo que se refiere a diferencias litológicas o de fauna, es decir, las que definen los ámbitos de sedimentación, no nos parecen grandes. Únicamente durante el Cretáceo, que en el Prebético es muy detrítico, especialmente en el Cretáceo medio, donde en la serie prebética existe un potente paredón rocoso aptense-cenomanense que no existe en el Subbético, hay una neta diferencia. En el Eoceno, de carácter arrecifal, y con rápidos cambios laterales de facies, podríamos perfectamente haber dibujado en el mapa los Subbéticos y los Prebéticos con los mismos colores, ya que las faunas son semejantes.

Así pues, rechazamos de plano la teoría, sustentada por algunos famosos geólogos, de un Subbético venido de centenares de kilómetros al sur y formado en un ámbito de sedimentación totalmente distinto. Hay, sí, corrimientos en algunos sitios del orden de los 10 ó 15 kilómetros, pero no mayores.

### Terciario postorogénico

Incluimos aquí un Mioceno superior posterior a los principales movimientos acaecidos en la región, teniendo en cuenta que es evidente la existencia de pequeños empujes postpliocenos, y también una cuenca pliocena. Los terrenos miocenos pueden observarse caminando hacia el sur, desde el extremo SO. de la Sierra de Marmolance, y están compuestos por capas horizontales de conglomerados y arcillas blancas, a veces verdosas, amarillentas al corte, o de otros colores.

La cuenca pliocena es de una gran monotonía (fot. W y X) y está compuesta casi exclusivamente por arcillas y "silts" blancuzcos y yesos pálidos, pardos o negruzcos en gran abundancia. Las capas son en general subhorizontales, y la cuenca se extiende mucho más al sur de la zona estudiada por nosotros.

### Villafranquiense

Fallot, Solé, Colom y Birot, en una nota sobre la edad de las capas de Baza y de la formación de Guadix, señalan la existencia, en los alrededores de Cortes de Baza, de molares de *Elephas meridionalis* perteneciente al Villafranquiense. El pueblo de Cortes de Baza se encuentra aproximadamente un kilómetro al sur del extremo SO. de nuestro mapa, y nosotros estuvimos en el sitio donde nos dijeron que se produjo el hallazgo, que se encuentra a unos dos kilómetros al SO. del pueblo, hacia la cota 740.

En la estación 236 A, que está situada a unos cuatro kilómetros al SO. de Huéscar, en el barranco de las Cañadas según el mapa, y de San Antón según los nativos (ver mapa situación de muestras), hemos encontrado también restos de grandes mamíferos. Este yacimiento quizá mereciera la pena de ser visitado por especialistas.

Basándose en estos hechos, hemos distinguido como posible Villafranquiense una formación horizontal de muy poca potencia que recubre la cuenca pliocena de yesos. En este paquete hay una capa de caliza lacustre parda con gasterópodos, bastante característica; por lo demás, existen también algunos "silts", arenas y yesos. La separación entre esta formación y el llamado Cuaternario indiferenciado es, en general, muy subjetiva.

Repetimos que estas formaciones dadas en el mapa como postorogénicas han sufrido empujes postpliocenos.

### Cuaternario indiferenciado

Dada la complejidad de los problemas estratigráficos y estructurales que presentaba la zona estudiada, no hemos dedicado ningún tiempo a la separación de las distintas formaciones modernas. Esta labor, sumamente vistosa y fácil para cualquier geólogo con algo de experiencia, y más aún para un fotogeólogo, no la hemos abordado.

Así pues, en el mapa aparecen sin distinción dispositivos geológicos de origen y morfología tan diferentes como son: aluviales de los ríos, coluviales de ladera, suelos, conos de deyección, costras travertínicas y de conglomerados recientes, "pediments", terrazas, etc.

\* \* \*

Finalmente, y a propósito del plano de situación de muestras, queremos indicar que, en algún caso, la edad de la muestra, paleontológicamente estudiada, no corresponderá con el color de la región del mapa geológico en la que está enclavada. Aparte de algún error, que desde luego existirá, no debe olvidarse lo que decíamos páginas atrás, de nuestro criterio de predominio al llevar a cabo la cartografía, es decir, que el pintar una zona de un determinado color no quiere decir que no existan pequeños asomos o isleos de otra formación, sino simplemente que predomina aquella que corresponde al color dibujado.

### III. TECTONICA

Vamos a hablar de la tectónica de la región objeto de nuestro estudio, dividiéndola según las hojas del mapa topográfico nacional escala 1:50.000, es decir: Puebla de Don Fadrique, San Clemente, Huéscar y Orce.

#### PUEBLA DE DON FADRIQUE.

En la hoja de La Puebla es donde, a nuestro juicio, se producen los máximos desplazamientos del Subbético sobre el Prebético.

En el meridiano del pueblo de Almaciles, teniendo en cuenta la brusca desaparición del frente liásico montañoso de corrimiento, y considerando la gran mancha de Trías que corta a la carretera Puebla de Don Fadrique-María, entre los Km. 15 y 18, no es aventurado suponer un deslizamiento del frente subbético en dirección norte del orden de los 10 ó 15 kilómetros.

Es una lástima que los estratos modernos del Campo de La Puebla nos oculten la mayor parte de los hechos, pero algo podemos imaginarnos por los afloramientos existentes y por el sondeo mecánico de 600 metros de profundidad que hicimos al E. del Km. 16 de la carretera La Puebla-Huéscar.

Evidentemente, el Lías subbético, trastornándose y fragmentándose, pasó por encima del Prebético, como lo atestiguan los cerretes situados dos kilómetros al NE. y cuatro al SO., respectivamente, del Km. 14 de la carretera La Puebla-María, y el sondeo, en el cual se encontró Terciario y cretáceo prebéticos.

Tratando de sintetizar los resultados obtenidos en dicho sondeo (ver corte I), tenemos: hasta los 60 metros, unas capas de conglomerados con rocas de todas las edades formando un depósito lacustre moderno. De los 60 a los 140 metros, un Jurásico subbético probablemente invertido. De los 140 a los 215 metros, Terciario y Cretáceo prebéticos. De 215 a 400 me-

la rama E. del sinclinal va siendo invadida poco a poco por el cabalgamiento de Sierra Duda, hasta desaparecer por completo (ver corte IV).

En esta zona, la inexistencia de afloramientos prebéticos a retaguardia del frente de cabalgamiento, así como la relativa tranquilidad de las montañas calizas subbéticas situadas en segundo término, como la Sierra de la Loma del Perro, y El Cubo, nos hacen pensar que el desplazamiento del Subbético sobre el Prebético ha sido muy pequeño. Por tanto, creemos que, siguiendo el sentido de giro de las agujas de un reloj, a partir de aquí los corrimientos del Subbético van aumentando hasta llegar a Almaciles, en la hoja de La Puebla, donde son máximos.

La llanura comprendida entre la Sierra Bermeja y la Sierra de Montilla, al SE., y el frente de cabalgamiento al NO., está casi toda ella recubierta por suelos modernos, pero allí donde afloran estratos antiguos incompetentes, como, por ejemplo, en la fotografía F, se les ve enormemente trastornados.

Tanto el Eoceno del ámbito subbético: Sierra de Marmolance, como el de ámbito prebético: norte de Sierra Seca, entre los cuales ya dijimos que no observábamos gran diferencia, yacen en clara discordancia sobre el Cretáceo. Ello, y la ausencia de sedimentos paleocenos en toda la región, hacen suponer la existencia de movimientos pertenecientes a la fase larámica.

#### HUÉSCAR.

En la hoja de Huéscar, al desaparecer las alineaciones de montañas calizas del Lías subbético, el contacto entre Prebético y Subbético queda bastante impreciso. Suponemos que queda a unos dos o tres kilómetros a levante del pueblo de Castril, y que luego se prolonga en dirección SO., según la franja de Trías que hemos dibujado en el mapa. Desde esta línea hipotética, hacia poniente, hasta llegar al macizo del Tornajuelo, las estructuras prebéticas son sumamente complicadas.

En el corte V queda representada, de una manera muy esquemática y simplificada, esta complejidad. Comenzando por el oeste, nos encontramos con el macizo del Tornajuelo, cuyas capas más altas, pertenecientes al flysch cretáceo, se introducen debajo de las margas blancas pizarrosas astillosas del Mioceno inferior sin que aflore el Eoceno, que unos tres kilómetros al SO. está muy bien representado. Dentro del Mioceno inferior tenemos, sintetizando, primero un sinclinal y luego un anticlinal, en el cual está a punto de aparecer el Eoceno, que, de hecho, aflora unos metros al SO. A conti-

nuación aparece un flysch cretáceo cabalgando en dirección NO. al Mioceno en forma de un anticlinal volcado. En el contacto entre el Cretáceo y el Mioceno antedichos se encuentra frecuentemente una brecha que hemos denominado "milonita terciaria de la región de Castril", y de la cual hallamos isleos en otros lugares de la zona.

Estábamos, pues, en un anticlinal volcado cretáceo, así que, continuando en dirección E., debemos ver capas más antiguas, y así sucede en efecto, pasado el río Castril tropezamos con un paredón de caliza muy detrítica, perteneciente al Cretáceo medio prebético, que un poquito más al sur, cerca del puente sobre el río, quiere cerrarse para formar el núcleo del anticlinal (fotografía U), y, siguiendo la secuencia, hay una pequeña depresión recubierta de suelos formados probablemente a expensas de Cretáceo más bajo, pero en seguida aparecen fracturas en varias direcciones que rompen por completo la estructura, y tenemos: un Cretáceo superior, un trozo de Cretáceo medio encima de una gran extensión de Cretáceo superior y, finalmente, un Terciario.

Volvemos a repetir que la ausencia de las alineaciones de calizas subbéticas complica grandemente la interpretación estructural de esta región de Castril, ya que se mezclan formaciones blandas de distintas edades.

El corte VI es también, por tanto, sumamente esquemático, ya que dentro de las dos estructuras marcadas: sinclinal en el borde NO., y anticlinal un poco más al SE., existen otras muchas pequeñas estructuras y fallas.

El resto de la hoja de Huéscar no presenta complicaciones tectónicas, y creemos que la simple inspección del mapa es suficiente. No obstante, es de destacar que, llegando al pueblo de Galera desde el sur, en plena cuenca de arcillas y yesos pliocenos, se encuentran unas capas con considerable componente norte de buzamiento, pero de esto hablaremos a continuación en el epígrafe siguiente.

#### ORCE.

Hace algunos meses, durante nuestra última estancia en Huéscar, tuvo lugar un movimiento sísmico en la región, de cierta intensidad, que produjo daños materiales en el pueblo de Galera y, sobre todo, en el de Orce.

Es interesante destacar que ambos pueblos se hallan asentados sobre las formaciones pliocenas poco estables ante cualquier empuje tectónico, regional, y que, además, Orce, que sufrió mayores destrozos, se encuentra en un meridiano próximo al de La Puebla de Don Fadrique, donde el corrimiento del frente subbético ha sido muy grande.

Lo que no cabe duda, según lo expuesto, es que existen movimientos postpliocenos y aun actuales.

Corroborando esta teoría, tenemos también una gran falla de dirección E.-O. a la altura del paralelo  $37^{\circ}47'$  con apreciable componente vertical de desplazamiento, en virtud de la cual el bloque sur ha descendido con respecto al bloque norte.

En el borde occidental del mapa, junto al Cortijo de la Piedra, nos encontramos con un anticlinal muy agudo, que se sumerge en dirección NO. en las formaciones pliocenas, y que está compuesto por estratos oligocenos y miocenos. No sabemos si esta estructura tiene o no algún carácter diapírico favorecido por los yesos pliocenos o un Triás próximo en profundidad.

Por lo demás, sólo nos queda por decir que las alineaciones montañosas del Jurásico calizo dolomítico, de la parte meridional de la hoja, están sumamente trastornadas y fracturadas.

\* \* \*

De todo lo dicho se desprende la existencia de unos movimientos larámicos durante el Paleoceno; de otros, los principales en esta región, de fase staírica, que tuvieron lugar durante el Mioceno medio y que originaron el gran corrimiento del Subbético; y, finalmente, de otros postpliocenos que aún están actuando.

En cuanto al hecho de la diferencia de sedimentación entre el Prebético y el Subbético, especialmente durante el Cretáceo, reflejado indudablemente por el carácter más detrítico del primero, puede interpretarse en un mismo ámbito de sedimentación funcionando el Prebético como antepaís y el Subbético como geosinclinal, que luego se elevaría y se derramaría sobre el Prebético.

Todo ello, claro está, en líneas muy generales, porque, por ejemplo, las margas blancas con Ammonites piritosos del Cretáceo bajo, que se han considerado de mar profundo, han sido vistos recientemente en otros lugares de las Béticas, formando parte de la serie prebética y alternando con capas muy detríticas.

#### IV. HIDROLOGIA SUBTERRANEA

Desde el punto de vista hidrogeológico, inmediatamente la atención del geólogo se ve atraída por las grandes masas montañosas del Jurásico subbético. Evidentemente estas formaciones de calizas, en general muy fracturadas y diaclasadas, son capaces de almacenar grandes cantidades de agua, aunque la pluviometría de la región es pequeña.

Como no es lo mismo alumbrar agua en un sitio que en otro para fines de riego, desde el primer momento las autoridades de la provincia de Granada, comenzando por el Gobernador, nos indicaron lo provechoso que sería poder regar el Campo de la Puebla, donde en años buenos se pueden recoger cosechas que valen muchos millones de pesetas.

Por lo que llevamos visto en capítulos anteriores, es difícil de encontrar un sitio que pueda proporcionar mayores sorpresas al geólogo al efectuar un sondeo que el Campo de la Puebla. Sin embargo, había que intentarlo, y, por otra parte, también era ese nuestro deseo, ya que, si no sacábamos agua, como efectivamente sucedió, al menos podía servir como sondeo de investigación, aspecto este último que nos interesaba muchísimo.

Aunque ya sabíamos que el Subbético situado al sur de La Puebla estaba corrido, no era nada ilógico pensar que las diversas unidades deslizadas se unieran en profundidad, constituyendo un conjunto más o menos homogéneo capaz de albergar una cuenca hidráulica subterránea importante.

Con objeto de captar la citada cuenca, emplazamos un sondeo a unos 400 metros al E. del Km. 16 de la carretera Huéscar-La Puebla, en un lugar casi completamente rodeado de afloramientos jurásicos, y emboquillado a una cota más baja que la de cualquiera de estos afloramientos. Por otra parte, aunque gran parte de la sierra situada al oeste debe estar drenada por la Fuente de Fuencaliente, que se halla a dos kilómetros al SE. de Huéscar y produce un caudal del orden de los 200 l/s., siendo la cota del

sondeo 100 metros más alta que la de Fuencaliente, y dado el gradiente de circulación, si hubiera existido una cuenca continua, el agua hubiera quedado en el sondeo a menos de 100 metros de la superficie, la cual, en esta zona, si se trata de importantes caudales, es rentable.

Resumiendo; se hizo el sondeo hasta una profundidad de 600 metros (para más detalles, ver el capítulo de Tectónica), y los dos grandes paquetes del Jurásico que se cortaron pertenecían a escamas de corrimiento independientes de los afloramientos de la zona, y así, al no estar alimentados, no tenían agua. Por tanto, en el corte I, al norte del sondeo, habrá que suponer una o varias fallas, que no hemos pintado porque no sabemos dónde están, que independicen el paquete inferior jurásico cortado en el sondeo de los afloramientos jurásicos existentes.

La Sagra, unidad también sin raíces, desagua por la acequia de la Virgen, y Sierra Bermeja y Sierra Montilla lo hacen en gran parte por la fuente de Parpacén, situada a 2,500 Km. al OSO. de Huéscar, con un caudal de más de 100 l/s.

También pensamos que en el subálveo del río Bravatas, a dos o tres kilómetros al NE. de Huéscar, podrían hacerse algunas obras de captación interesantes para los regadíos de agua abajo, pero dado el proyecto, que se tiene intención de convertir pronto en realidad, de construir una presa en el Rincón del Obispo, es decir, más al norte, en el mismo río, la mencionada obra sería superflua.

## V. PALEONTOLOGIA (\*)

Los datos que vamos a exponer son el resultado del estudio en el Laboratorio de numerosas muestras recogidas en esta zona por el Sr. Alvarado.

En su conjunto cubren todos los tramos de la escala estratigráfica, desde el Triás al Plioceno. Para la localización de cada muestra remitimos al lector al trabajo de M. Alvarado.

### Triásico subbético

#### 1. KEUPER (muestras 518 A, 203 A, 627 A, 629 A, 646 A).

Aunque es muy frecuente en esta zona, y probablemente forma el substrato de toda ella, sólo hemos examinado cinco muestras de esta formación, porque su facies la hace más fácilmente reconocible sin necesidad de estudio microscópico.

Se trata de arcilla de aspecto triturado y de colores diversos: chocolate-rojizo, gris y blanquecino.

Por levigación nos da abundante cuarzo, jacintos rosados e incoloros y algunos restos en forma de tubos que deben ser de origen vegetal y formación reciente, pero no hay fósiles clasificables (fig. 1).

La muestra 629 A incluye, con los jacintos, algunas Globotruncanas del Senoniense, y la 646 A incluye restos miocenos, lo que indica que la margen triásica encierra fragmentos de rocas de estas edades.

Por su localización, todas estas muestras forman parte de la formación subbética.

(\*) J. L. Saavedra. Laboratorio de Micropaleontología del Instituto Geológico y Minero.

### Liásico subbético

En posición superior al Keuper hay una serie de muestras con microfacies del Liás y otras sin fósiles, muy recristalizadas; a estas últimas les atribuiremos la edad de Liás inferior por su posición en el terreno.

#### 2. LIÁS INFERIOR.

Desde el punto de vista microscópico, son muy difíciles de distinguir las calizas dolomíticas del Liás inferior subbético de las del Aptiense-Genomanense prebético, y sólo su lugar de yacimiento nos puede dar seguridad en la atribución.

Las muestras 15 LH, 73 A, 253 A, 298 A, 331 A, 333 A, 357 A, 390 A, 392 A, 393 A, 458 A y 519 A son calizas dolomíticas grises, blanquecinas o rojizas, muy rotas (fig. 2).

Las muestras 5 LH, 16 LH, 44 LH, 45 LH, 30 A, 141 A, 297 A, 380 A y 393 A son calizas recristalizadas ocreas, blanquecinas o rojizas, muy rotas, con aspecto microscópico variable, pero siempre estériles (fig. 3).

Un poco diferentes a las precedentes son las muestras 365 A, con grumos arcillosos repartidos por una matriz caliza fina; la 370 A, cuya matriz, también caliza y fina, presenta muchas oquedades finas, y la 135 A, de grano finísimo y con partículas de pirita. Todas ellas deben pertenecer al Infraliás.

Las muestras 13 LH, 43 LH, 143 A, 271 A, 238 A, 377 A y 394 A corresponden a una misma caliza dolomítica brechoide, que muchas veces hemos encontrado en el Infraliás andaluz y que suponemos Hettangiense o Sinemuriense (fig. 4).

#### 3. LIÁS MEDIO.

Son los primeros niveles claramente fosilíferos que encontramos en la serie subbética, que ya no dejará de tener fósiles en el resto del Secundario. Comprende calizas recristalizadas muy compactas, que llamamos "calizas marmóreas"; suelen estar muy rotas, pero con las fracturas perfectamente soldadas por calcita, y con frecuencia contienen oolitos dispersos, nunca muy abundantes, y nódulos margosos muy pequeños.

Dentro del Liás medio puede ser la más baja la muestra 514 A, de caliza dolomítica pardo-castaña, muy fina (fig. 5).

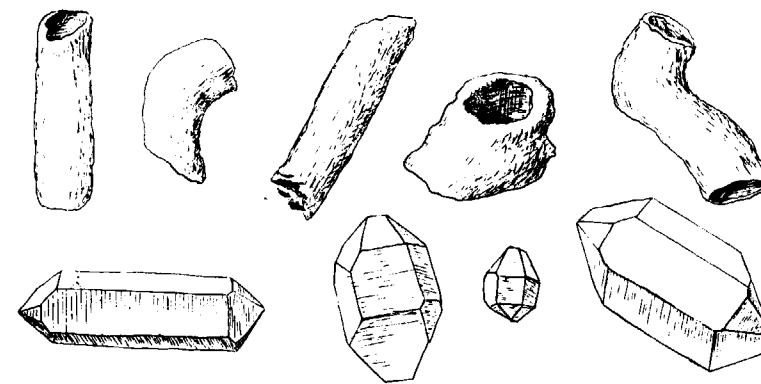


Fig. 1, × 40.—Cuarzo y tubos margosos, obtenidos por levigación.—KEUPER.

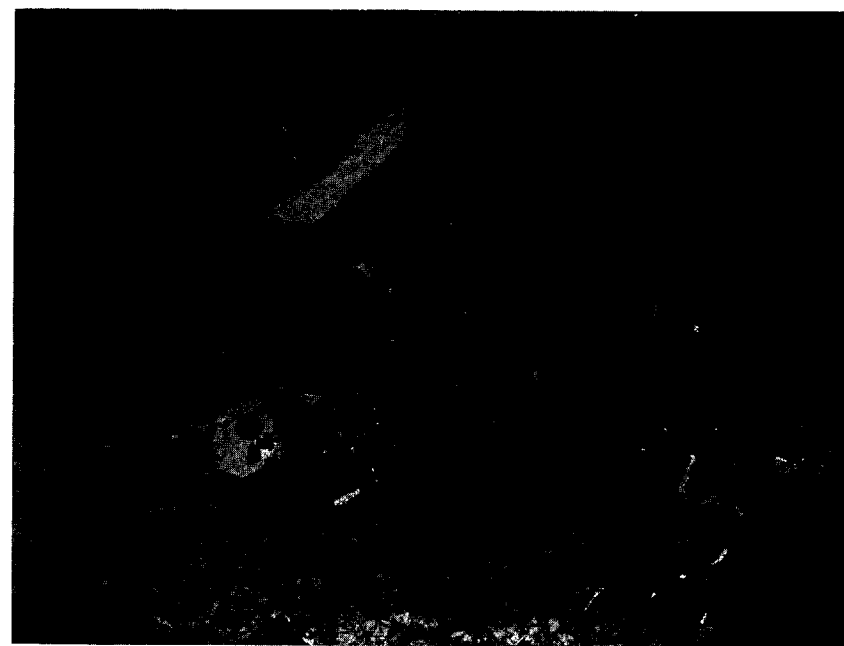


Fig. 2, × 20.—La matriz es caliza en granos de forma romboédrica, cuyo centro está impurificado por un grumo de arcilla. No se ven fósiles.—LIÁS INFERIOR.

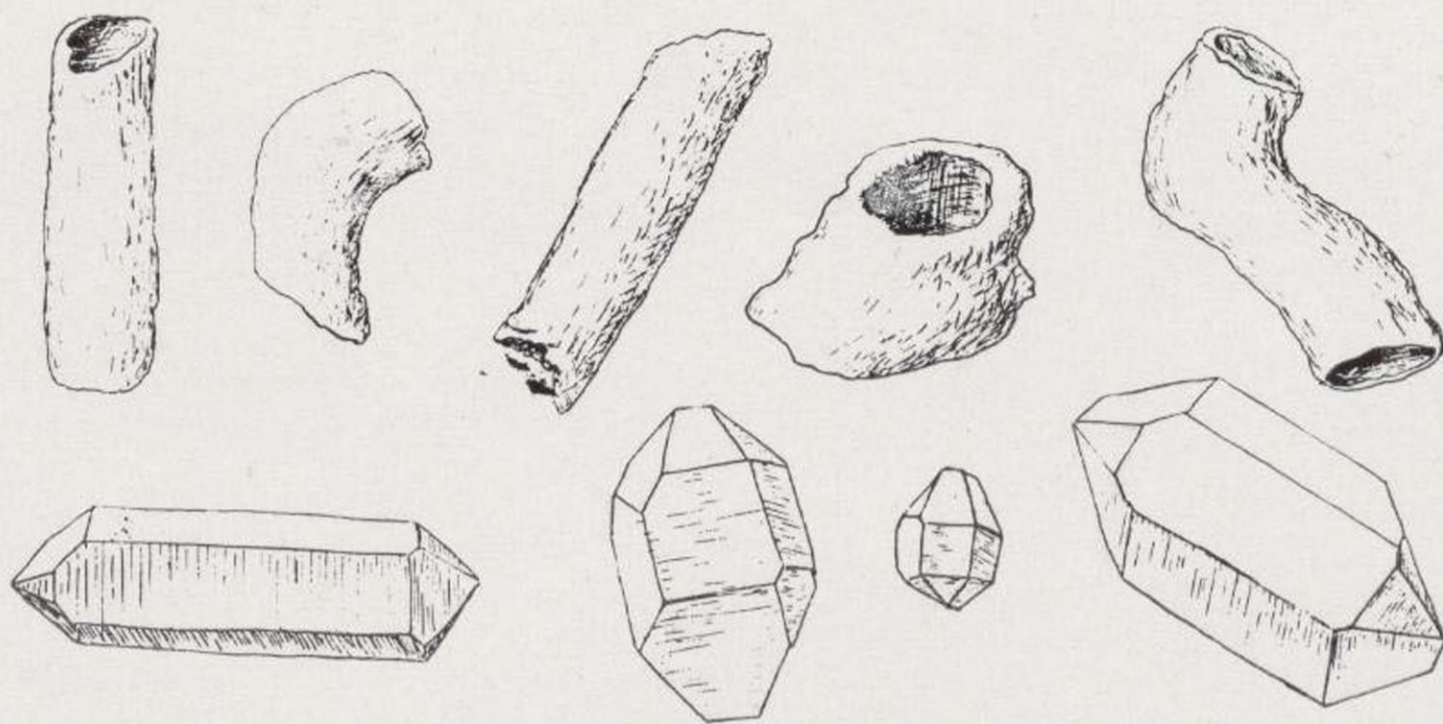


Fig. 1,  $\times 40$ .—Cuarzo y tubos margosos, obtenidos por levigación.—KEUPER.



Fig. 2,  $\times 20$ .—La matriz es caliza en granos de forma romboédrica, cuyo centro está impurificado por un grumo de arcilla. No se ven fósiles.—LÍAS INFERIOR.



Fig. 3,  $\times 20$ .—La matriz es siempre algo dolomítica, de grano fino y rota, sin fósiles claros, aunque puede haber puntos recrystalizados en grano más grueso y más hialino, que por su forma recuerdan a fragmentos de Moluscos.—LÍAS INFERIOR.



Fig. 4,  $\times 20$ .—La matriz es cristalina, recrystalizada en granos finos de forma romboédrica, y cementa pequeños fragmentos recrystalizados en granos más gruesos. El conjunto parece una brecha tectónica.—¿SINEMURIENSE?





Fig. 5,  $\times 30$ .—La matriz es caliza, muy fina y contiene gran cantidad de pequeños nódulos irregulares margosos y de Ostrácodos, junto con algunos coprolitos de Crustáceos.—LÍAS MEDIO.

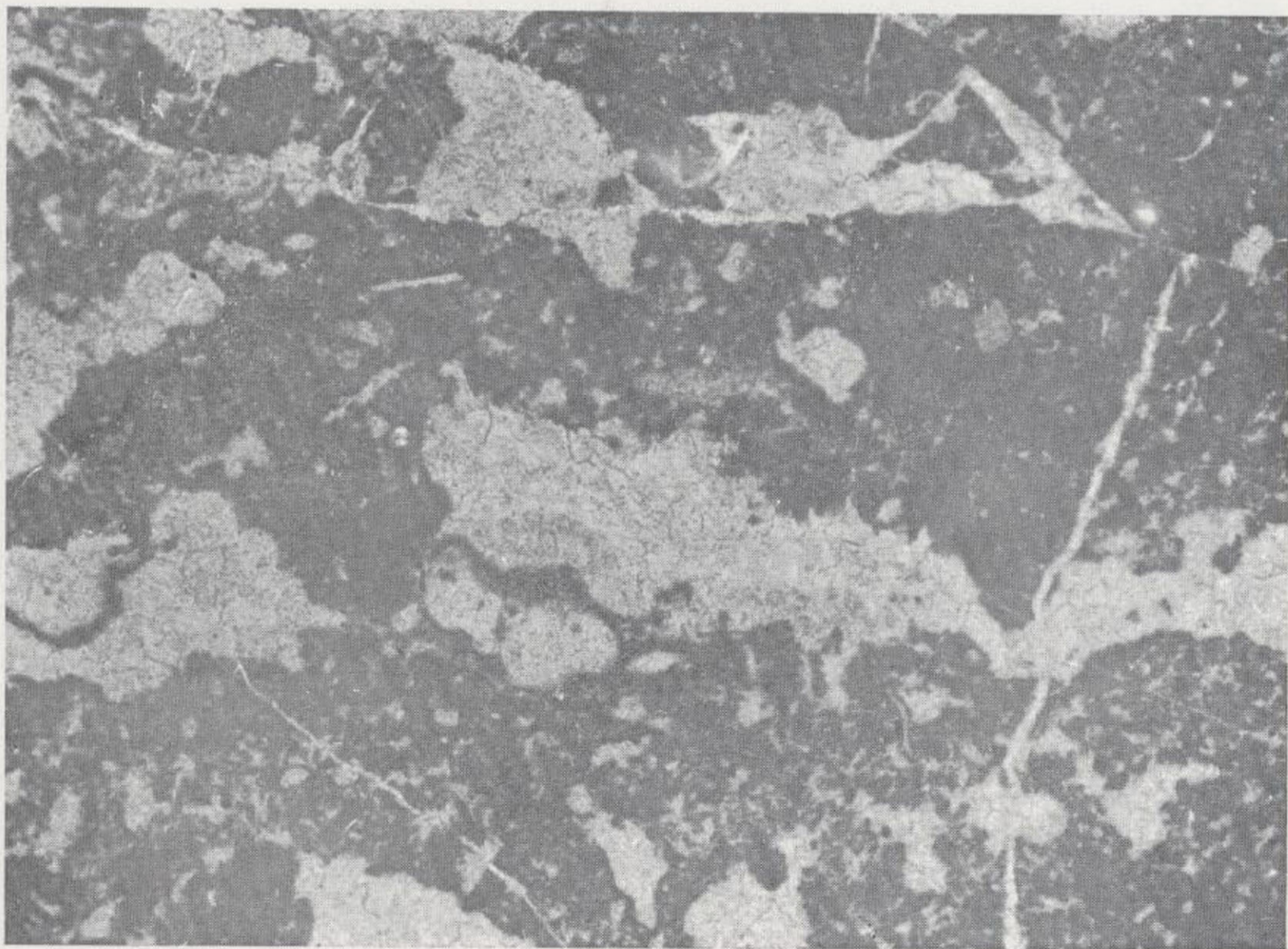


Fig. 6,  $\times 20$ .—La matriz, caliza, está llena de nódulos redondeados difusos y contiene algunos restos, en especial Algas (*Thaumatoporella parvovesiculifera*) y fragmentos de Equinodermos.—LÍAS MEDIO.



Fig. 7,  $\times 30$ .—Otra preparación de este grupo de muestras, en la que pueden verse otros restos, también comunes en esta formación: *Palaeodasycladus mediterraneus* y Valvulínidos, junto con fragmentos de Equinodermos.—LÍAS MEDIO.

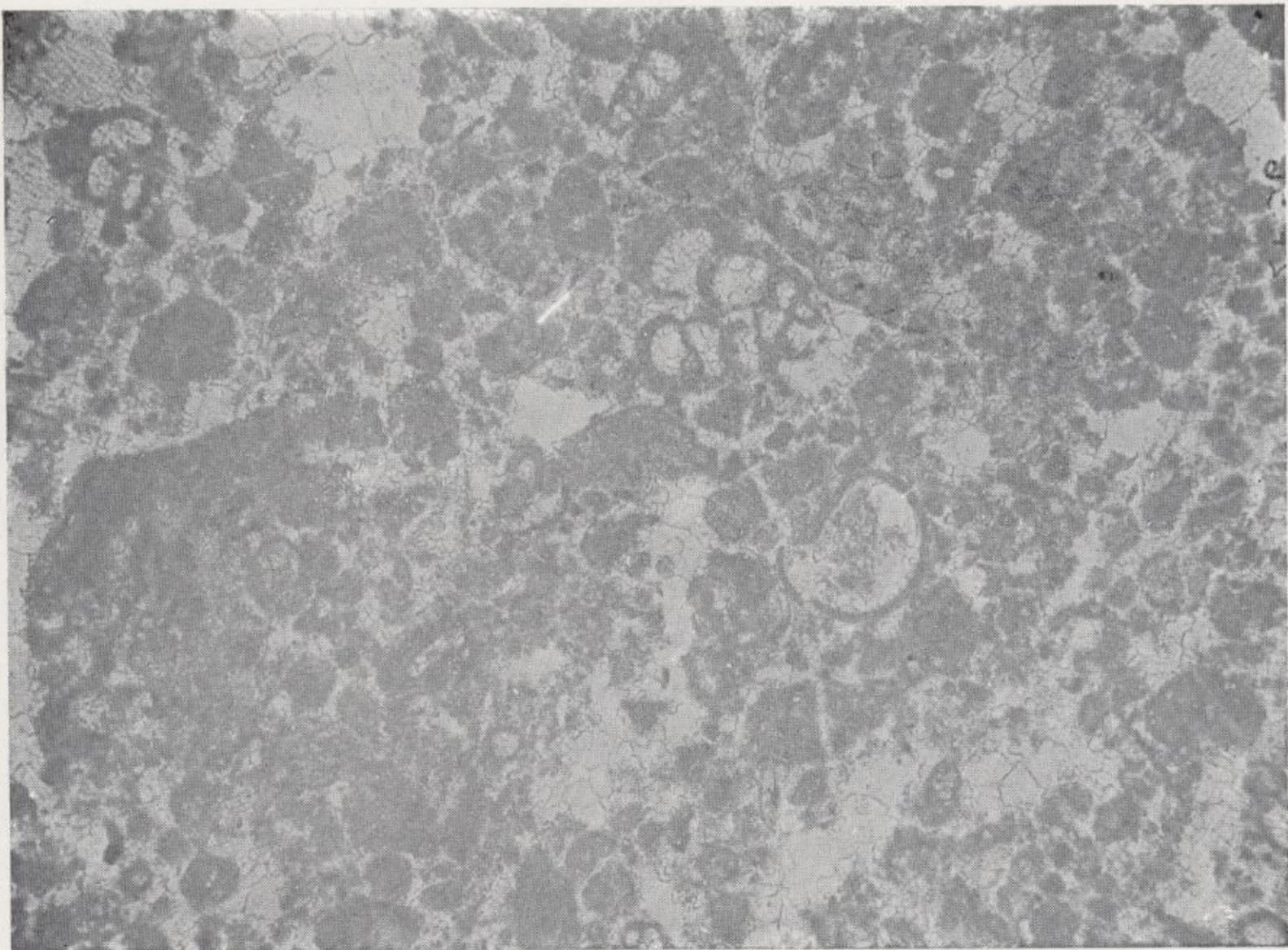


Fig. 8,  $\times 40$ .—También está llena de pequeños nódulos margosos que hacen un conjunto más opaco. Son frecuentes los Foraminíferos: Haurania, Lituóclidos y Ammodíscidos.—LÍAS MEDIO.

Muestras 14 LH, 20 LH, 21 LH, 23 LH, 28 LH, 29 LH, 30 LH, 31 LH, 49 LH, 50 LH, 103 LH, 17 A, 40 A, 41 A, 47 A, 67 A, 97 A, 259 A, 262 A, 328 A, 330 A, 348 A, 356 A, 366 A, 671 A y 673 A. Esta larga serie de muestras corresponden a las "calizas marmóreas" blanquecinas, ocre o pardas (figs. 6 y 7).

Las muestras 48 LH, 244 A, 335 A, 358 A, 359 A y 363 A son de calizas recristalizadas pardo-ocres, con aspecto microscópico análogo a las del grupo anterior, pero con microfósiles más abundantes (fig. 8).

Más altas, dentro del Lías, son las muestras 40 LH, 225 A y 241 A, que son de caliza fina recristalizada, castaño-ocre, con algunos oolitos y frecuentes restos orgánicos (fig. 9).

#### 4. LÍAS SUPERIOR.

Muestras 52 LH, 53 LH, 54 LH, 60 A, 62 A, 64 A, 116 A, 128 A, 231 A, 140 A, 319 A, 320 A, 342 A, 361 A y 361 A. En estas muestras los restos se hacen más menudos y la matriz más margosa. Entre los restos son características las espículas de esponjas, a veces abundantísimas (fig. 10).

### Dogger subbético

Su parte inferior está caracterizada por la abundancia de "protoconchas" y la parte superior adopta la facies de caliza oolítica, que puede prolongarse por el Caloviense.

#### 5. BAJOCIENSE.

Las muestras 24 LH, 25 LH, 26 LH, 27 LH, 109 A, 270 A y 522 A son calizas retristalizadas ocre-pardas, con pequeñas manchas blanquecinas y capas de sílex (figs. 11 y 12).

#### 6. BATHONIENSE-CALOVIENSE.

Las muestras 51 LH, 58 A, 276 A, 142 A, 340 A, 345 A, 360 A, 364 A y 376 A son calizas oolíticas típicas, de color pardo-blanquecino (figura 13).

### Malm subbético

Son calizas y margas calcáreas, ricas en Radiolarios protoconchas, fibrosas y algas filamentosas. A veces adoptan la "facies cabra", e incluso se tiñen de rojizo, formando falsas brechas.

#### 7. OXFORDIENSE-LUSITANIENSE.

Las muestras 372 A y 391 A corresponden a la "facies cabra" (figuras 14 y 15).

#### 8. KIMMERIDGIENSE-PORTLANDIENSE.

Muestras 82 A, 84 A, 85 A, 228 A, 460 A, 521 A, 523 A y 526 A. Todas estas muestras son de facies "radiolaritas", ricas en los mismos restos que las del grupo precedente (fig. 16), con la excepción de las protoglobigerinas, que parecen reducidas a la mitad inferior del Malm.

En el Titónico las "protoconchas" y algas llegan a ser abundantísimas y están acompañadas por las primeras Calpionellas (muestra 520 A, figuras 17 y 18).

### Cretácico inferior

A partir del Malm, la serie estratigráfica es doble; cada piso existe en la zona subbética y en la prebética sin que sea posible algunas veces encontrar diferencias entre ellas. El criterio de que la serie prebética es más detrítica o de mar más somero, no resulta del todo válido. Así, por ejemplo, el Neocomiense con Tintínidos y Radiolarios, y el Barremiense con Nannoconus, aparecen, según las observaciones de campo de M. Alvarado, en la serie prebética, con las mismas microfacies que estamos acostumbrados a ver en la subbética. Lo mismo ocurre con el Senoniense con Globotruncanas. Este hecho parece reñido con el de que, en la misma zona, próximas a estas facies margosas, encontramos otras más calizas y detríticas, que corresponden al Prebético tradicional.

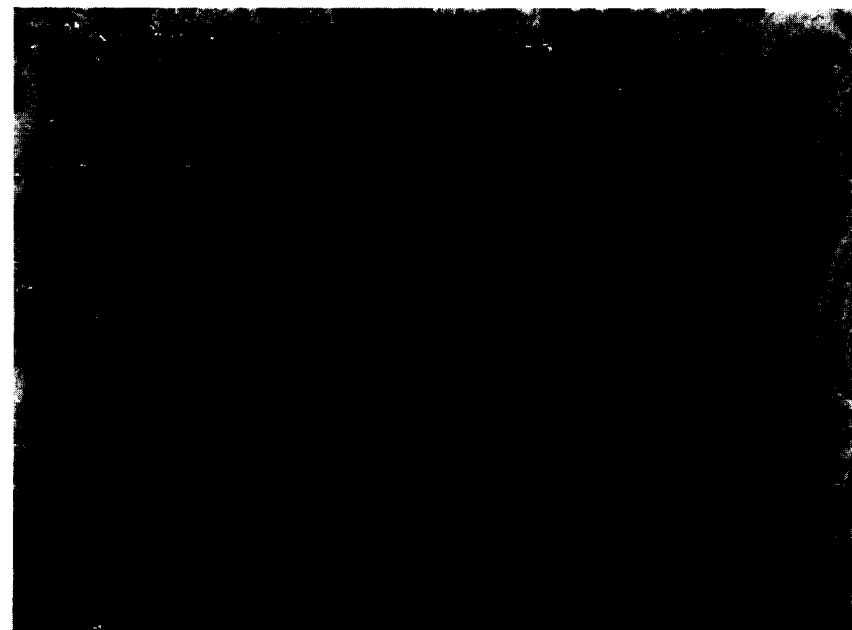


Fig. 9,  $\times 40$ .—La matriz es casi hialina y junto con los oolitos, bien formados, pueden verse fragmentos de Equinodermos, Lamelibranquios, Braquiópodos y Briozoos.—¿LÍAS MEDIO?

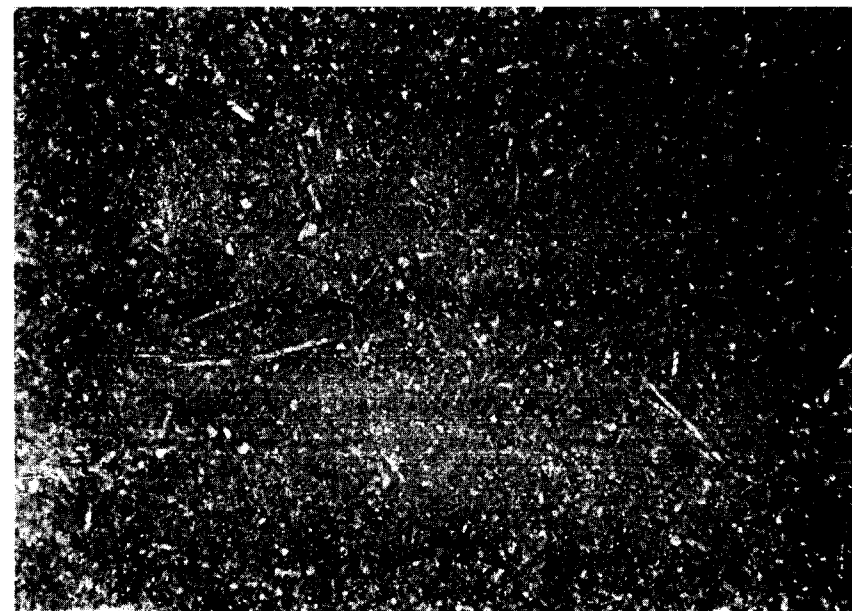


Fig. 10,  $\times 15$ .—La matriz es margosa, con abundantes espículas acompañadas por algunos Ammodiscidos y Lagénidos (entre ellos *Lingulina*).—LÍAS SUPERIOR.

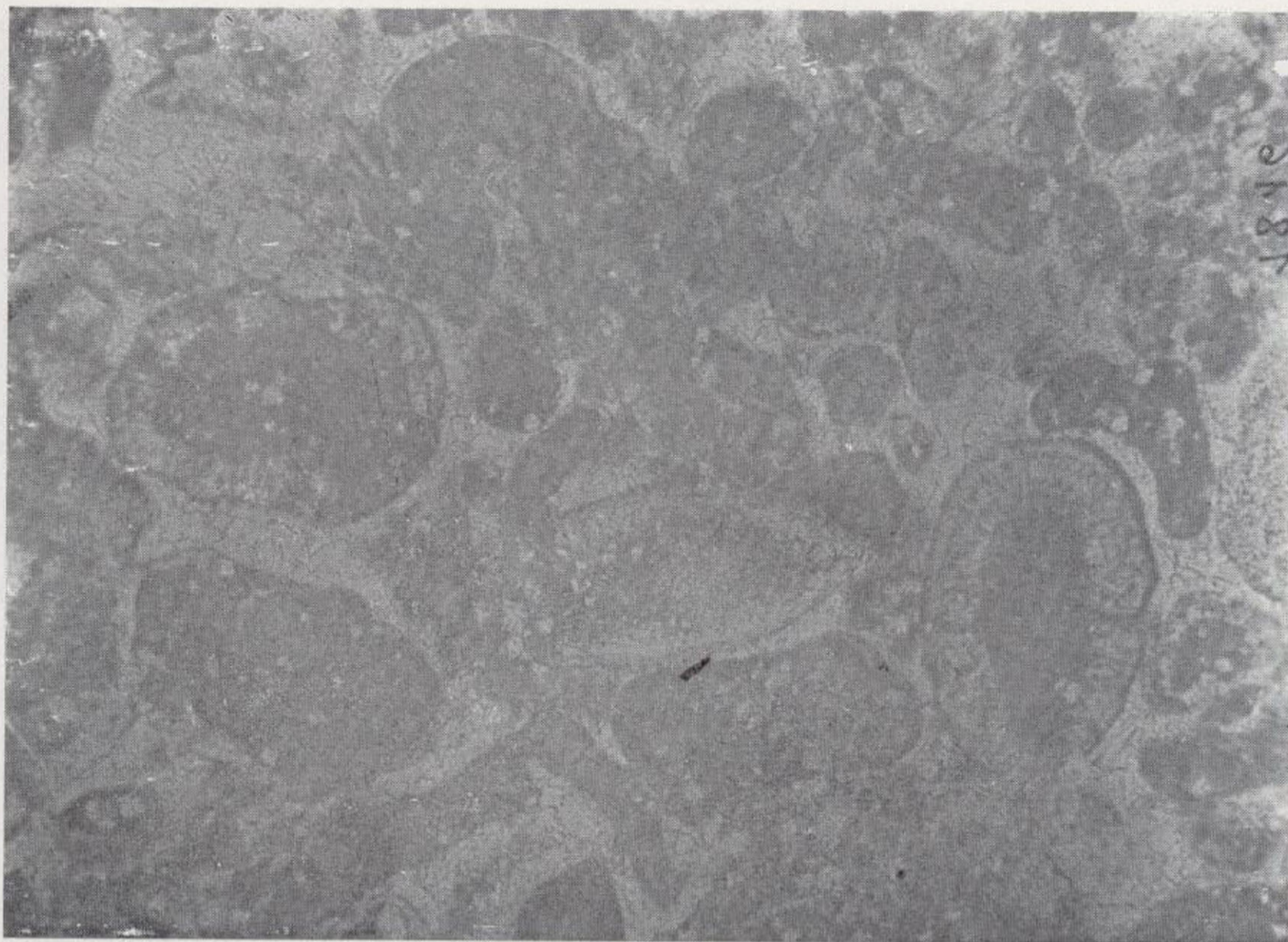


Fig. 9,  $\times 40$ .—La matriz es casi hialina y junto con los oolitos, bien formados, pueden verse fragmentos de Equinodermos, Lamelibranquios, Braquiópodos y Briczoos.—¿LÍAS MEDIO?

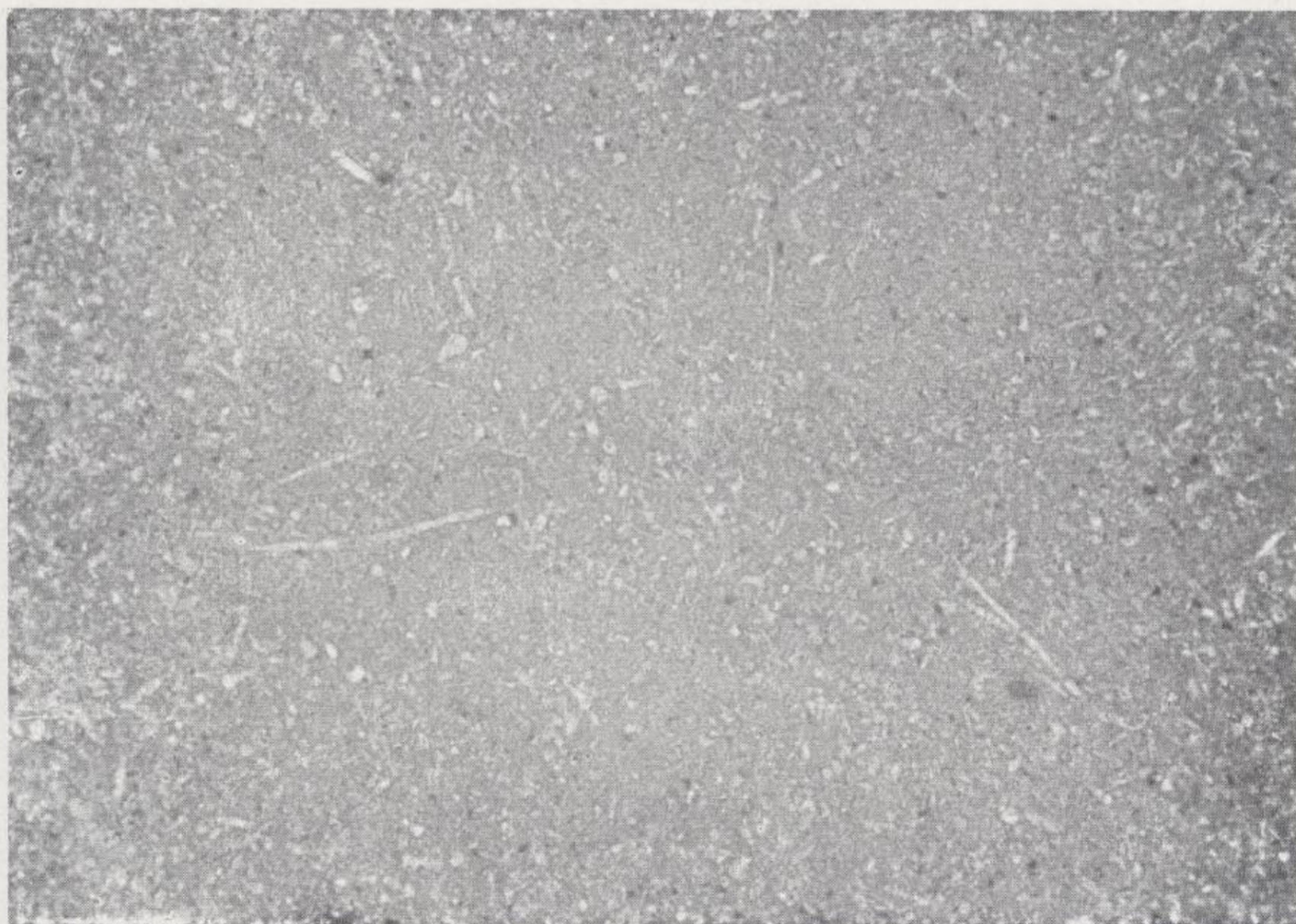


Fig. 10,  $\times 15$ .—La matriz es margosa, con abundantes espículas acompañadas por algunos Ammodiscidos y Lagénidos (entre ellos Linguina).—LÍAS SUPERIOR.

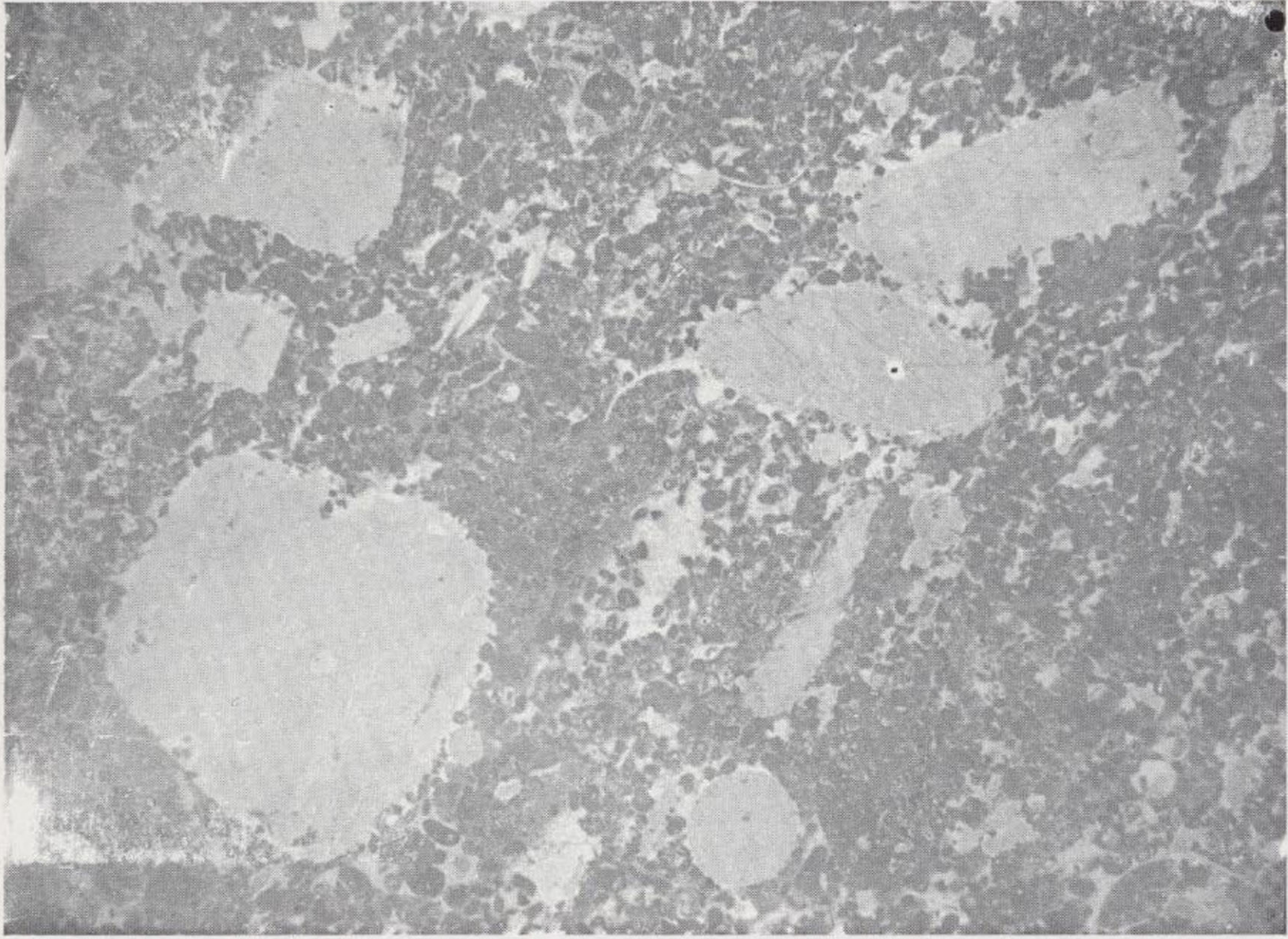


Fig. 11,  $\times 15$ .—La matriz es casi hialina y contiene muchos nódulos margosos, "protocochas" y restos rotos: Equinodermos, Valvulínidos y Ophthaimididos.—BAJOCIENSE.

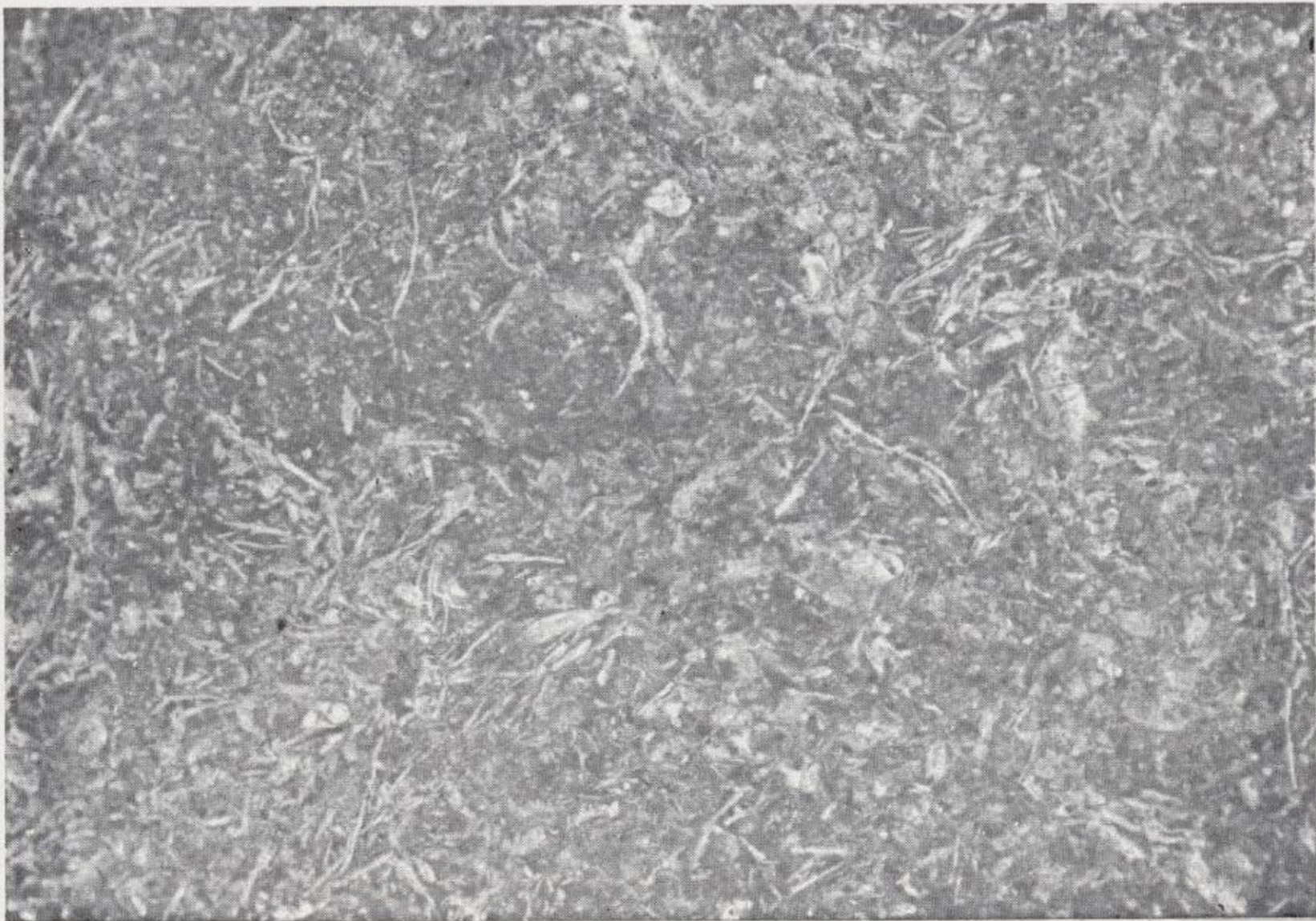


Fig. 12,  $\times 15$ .—Corresponde a un nivel con sílex, también lleno de pequeños nódulos margosos y de "protoconchas", junto con Globochaete, Valvulínidos y Ostrácodos.—BAJOCIENSE.

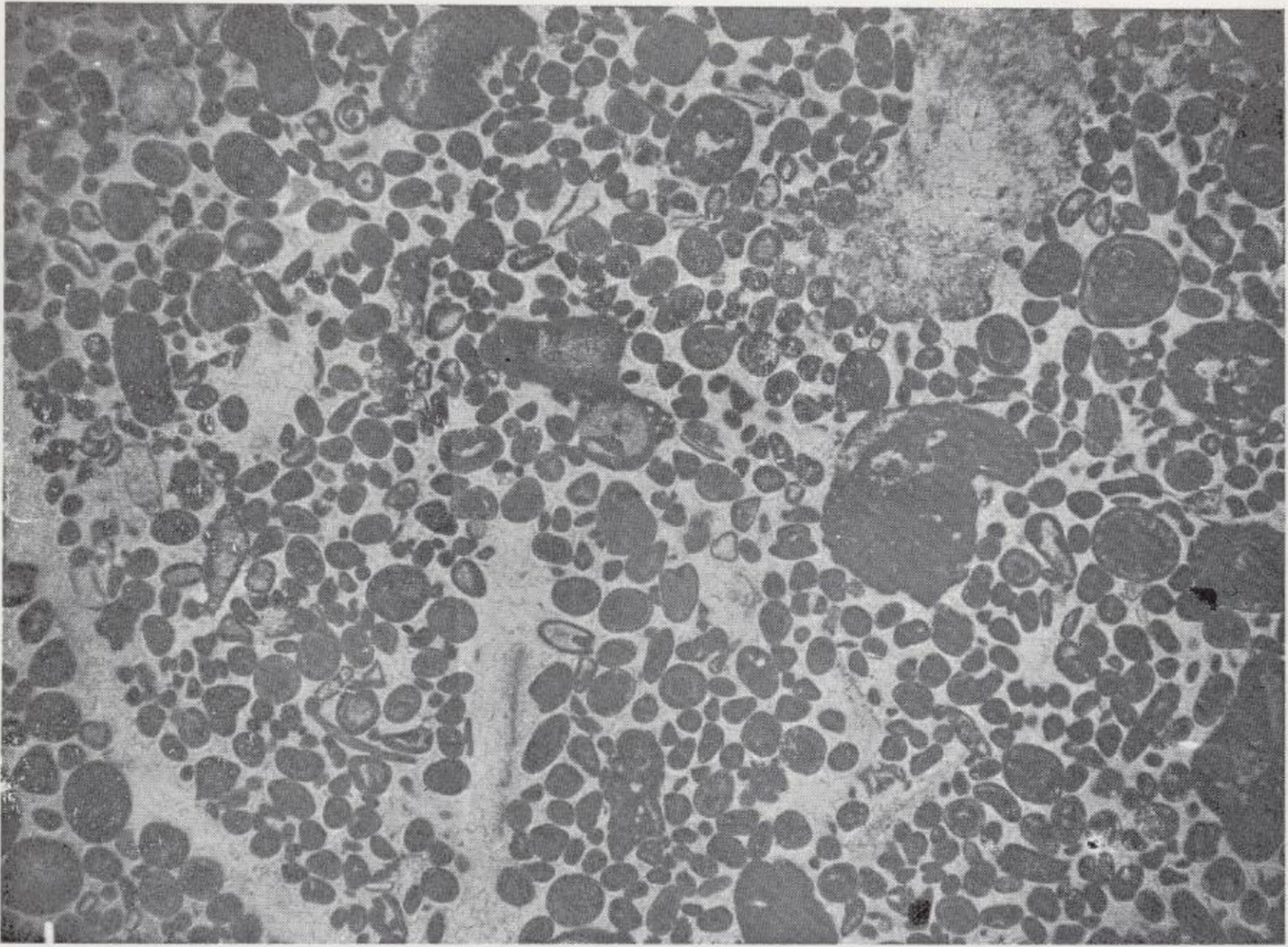


Fig. 13,  $\times 15$ .—La matriz es de caliza y contiene muchos oolitos bien formados, nódulos margosos y frecuentes restos: Algas solenoporáceas, Equinodermos, Briozoos y Valvulinidos.—BATHONIENSE-CALOVIENSE.

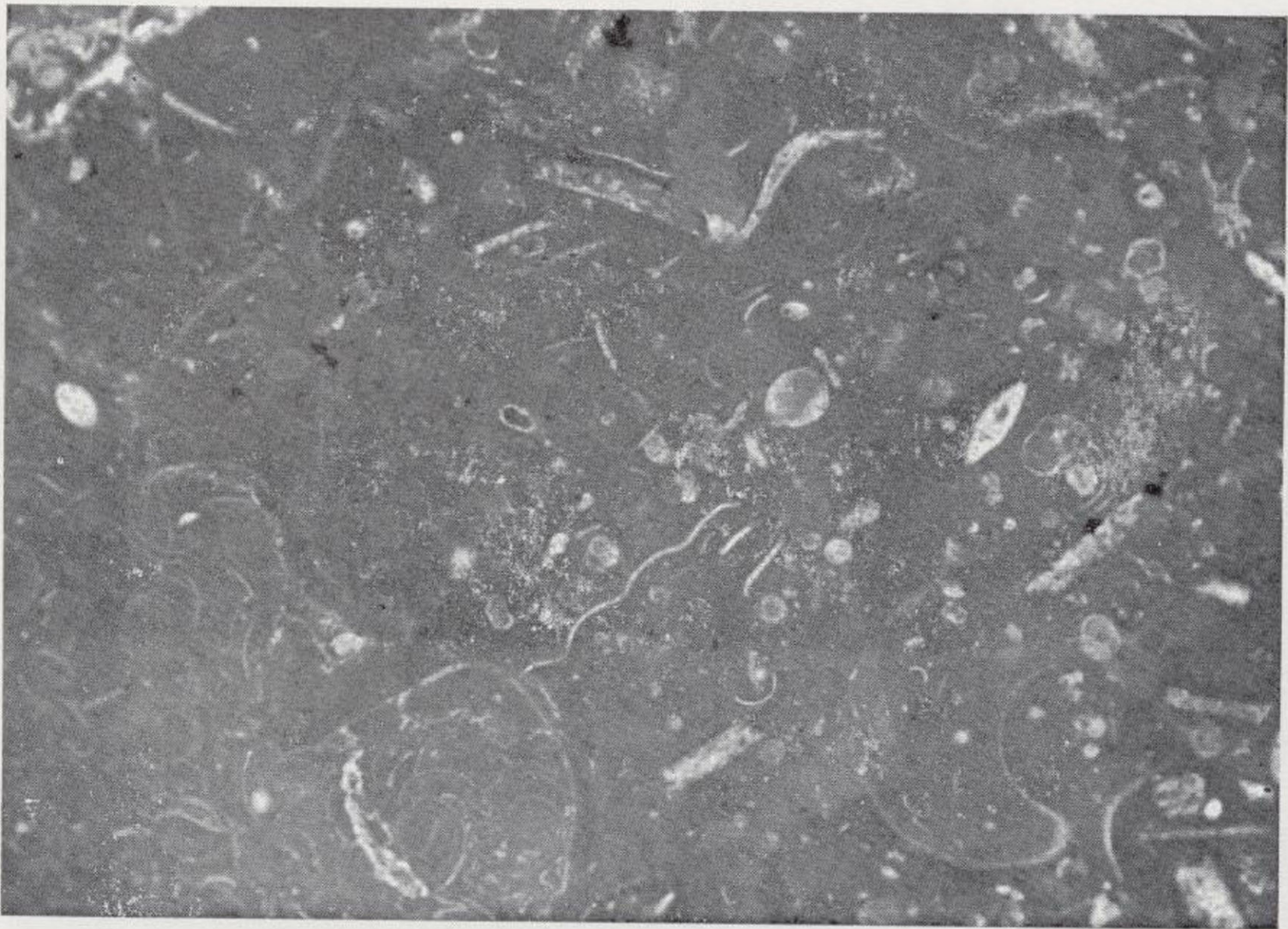


Fig. 14,  $\times 15$ .—La matriz es caliza muy fina y contiene gran cantidad de restos menudos, entre los que predominan los Radiolarios, Protoglobigerinas, *Globotaechae alpina*, *Eothrix alpina*, piezas de Equinodermos, "protoconchas" y fibrosferas.—OXFORDIENSE-LUSITANIENSE.



Fig. 15,  $\times 10$ .—Otro aspecto de la misma caliza, con predominio de Aigas, crinoides y "protoconchas".—OXFORDIENSE-LUSITANIENSE.

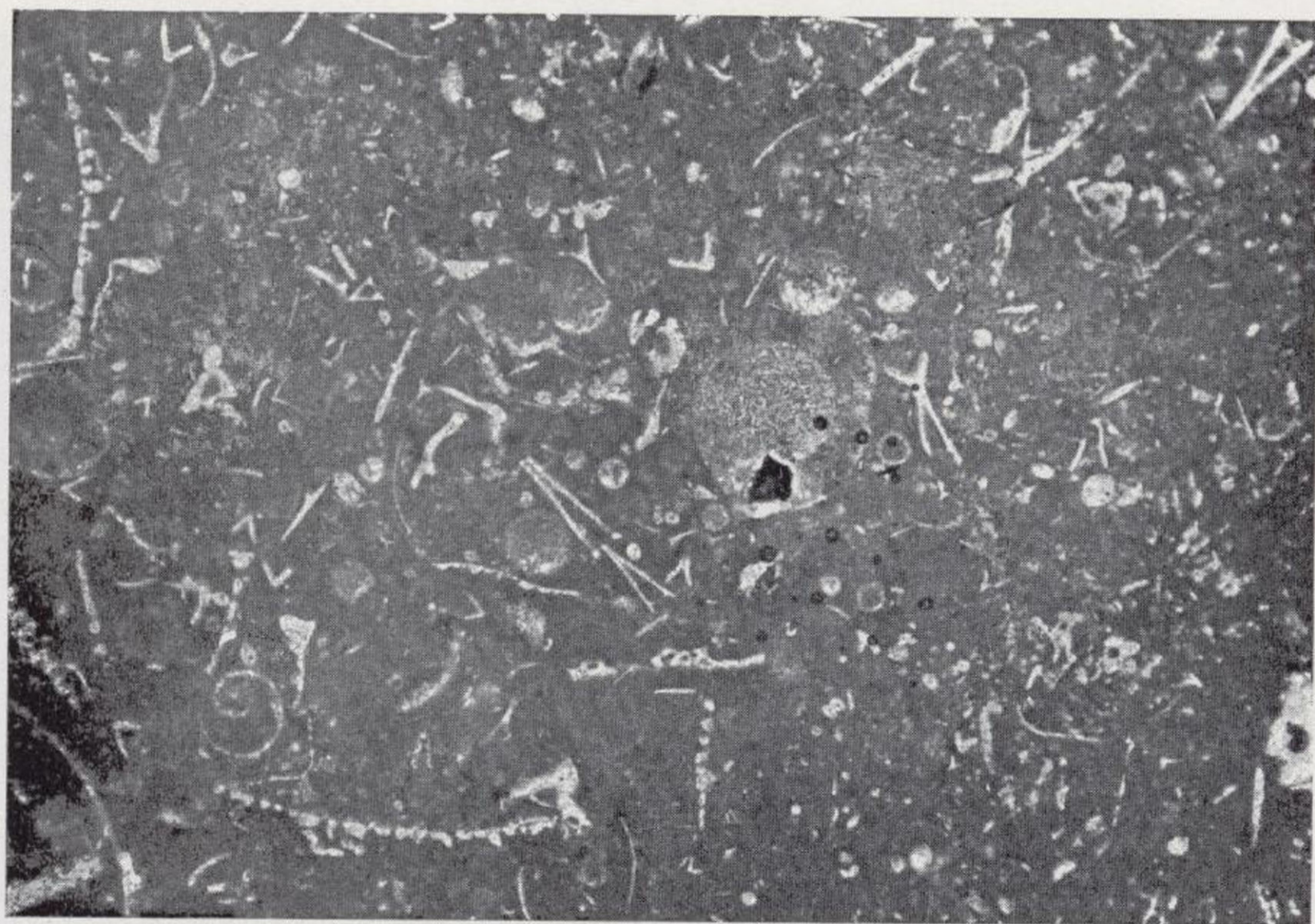


Fig. 16,  $\times 15$ .—La matriz es calizo-margosa, llena de Radiolarios y Saccocoma acompañados por "protoconchas", *Globochaete alpina* y fibrosferas.—KIMMERIDGIENSE.



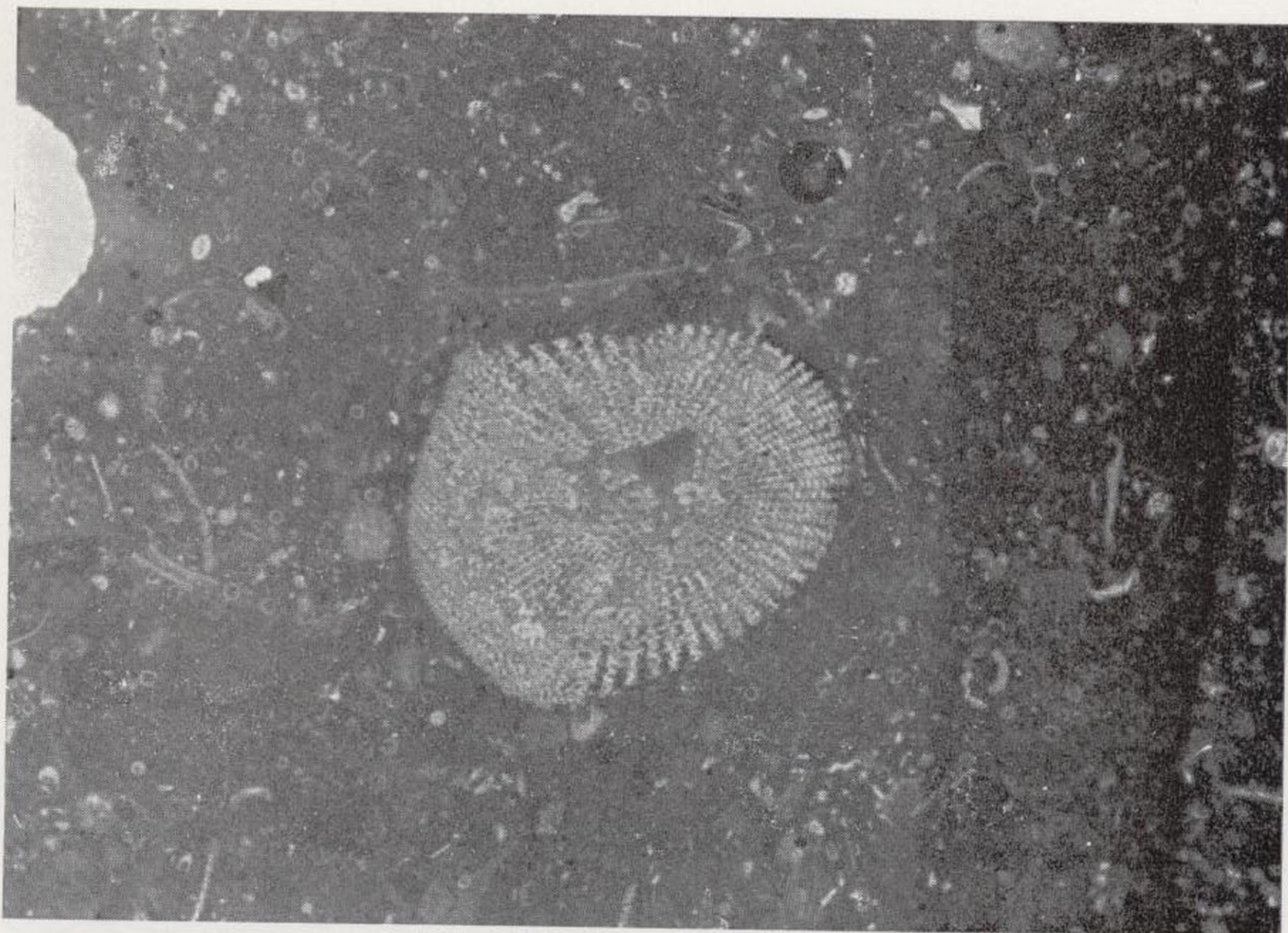


Fig. 17,  $\times 15$ .—La matriz es margoso-caliza, llena de restos menudos: *Saccocoma*, *Globochaete*, *Eothrix*, "protoconchas", *Calpionella alpina*, *Calpionella oblonga*, Radiolarios y una placa de Crinoideo. — PORTLANDIENSE.

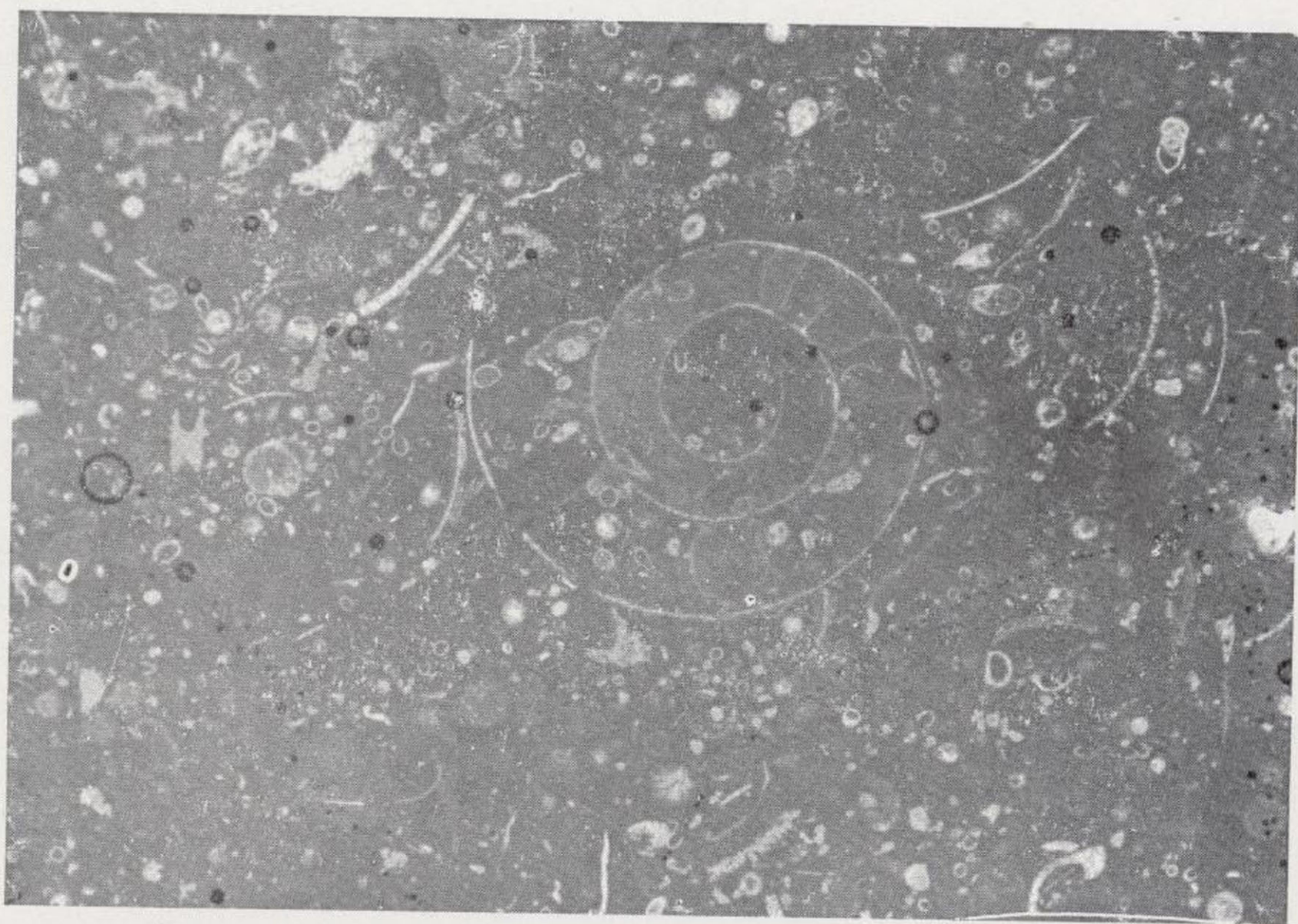


Fig. 18,  $\times 15$ .—Análoga a la anterior, con un embrión de Ammonites y los mismos restos menudos. — PORTLANDIENSE.

### Neocomiense-Aptense en facies margosas (¿Subbético?)

Según los microfósiles, podemos distinguir todos los pisos de estas margo-calizas, cuya facies es propia de Subbético, pero cuya posición parece señalar Prebético.

#### 9. BERRIASIENSE.

Se caracteriza por la asociación de las Calpionellas del Titónico (*C. alpina* y *C. oblonga*) con los Tintínidos del Neocomiense (*Calpionellites neocomiensis*, *C. darderi*, *Tintinopsella carpathica*, *T. cadishchiana* y *Stenosemellopsis hispanica*).

Son de esta edad las muestras 201 A y 400 A (fig. 19).

#### 10. VALANGINIENSE-HAUTERIVIENSE.

Se caracterizan por la presencia de Tintínidos neocomienses exclusivamente (*Tintinopsella longa*, *T. oblonga*, *T. carpathica*, *Calpionellites neocomiensis*, *C. darderi*, *Calpionellopsis simplex*, etc.). En los niveles más altos escasean o faltan del todo los Tintínidos, a la vez que aparecen en enormes cantidades los Nannoconus. Muestras 12 LH, 243 A, 385 A, 424 A, 426 A y 440 A (fig. 20).

#### 11. BARREMIENSE.

Caracterizado por la enorme profusión de los pequeñísimos Nannoconus. Las muestras 12 A y 524 A son de este tipo (figs. 21 y 22).

#### 12. APTENSE-ALBIENSE.

Se caracteriza por la aparición de las primeras Globigerinas de espira aplanada y los primeros Globorotálidos (*Ticinella*).

Incluimos aquí las muestras 403 A, 404 A, 425 A, 505 A y 675 A. Son margas calcáreas, gris-verdosas, con Globigerínidos (o *Anomalina lorneiana*), *Ticinella*, *Robulus* y *Cibicides*, cuyas facies, al igual que las de todos los grupos de muestras precedentes, son las habituales en el Subbético (figura 23).

### Neocomiense-Barremiense en facies detríticas

Estos pisos pueden faltar en facies detríticas; por lo menos no hemos encontrado ninguna muestra de edad segura. Tampoco sabemos si la serie prebética empieza con el Aptense, como parece si seguimos un criterio exclusivamente de facies.

Pero más bien creemos que en la base de la serie prebética con facies típicas, detríticas, que empezamos a encontrar en el Aptense, hay un Neocomiense, en facies margoso-caliza, que, según ya hemos dicho, es idéntico al Neocomiense subbético.

Las únicas muestras cuya posición por debajo del Aptense prebético parece demostrada son las 6 LH y 429 A, calizas dolomíticas pardas, con finas oquedades (fig. 24).

### Aptense-Cenomanense en facies calizas y detríticas. Prebético

Todo el conjunto de muestras que vamos a incluir en este apartado son prebéticas, tanto por las microfacies como por la posición sobre el terreno. Pero a causa de la complicación tectónica no hemos podido reconstruir con detalle la estratigrafía de estos niveles.

#### 13. APTENSE-CENOMANENSE PREBÉTICO.

La muestra 433 A es una caliza recristalizada parda, algo parecida a la que acabamos de incluir como posible Neocomiense. En lámina transparente resulta mucho más detrítica (fig. 25).

Las muestras 10 LH, 183 A bis, 183 A, 194 A, 201 A (parte) y 435 A son calizas recristalizadas brechoides, pardo-ocres. Su matriz puede ser hialina o no, pero siempre aparece llena de nódulos oolíticos y restos orgánicos (figura 26). A veces tienen cuarzo.

Las muestras 180 A bis y 401 A son calizas recristalizadas oolíticas, pardo-castañas (fig. 27).

En la serie prebética hay también niveles con recristalización avanzada, que de un modo aproximado M. Alvarado situó en el Cretácico medio-superior y cuyas microfacies recuerdan mucho al Cenomanense de Castilla la Nueva.

Las muestras 6 LH y 541 A son calizas dolomíticas blanquecinas cuya

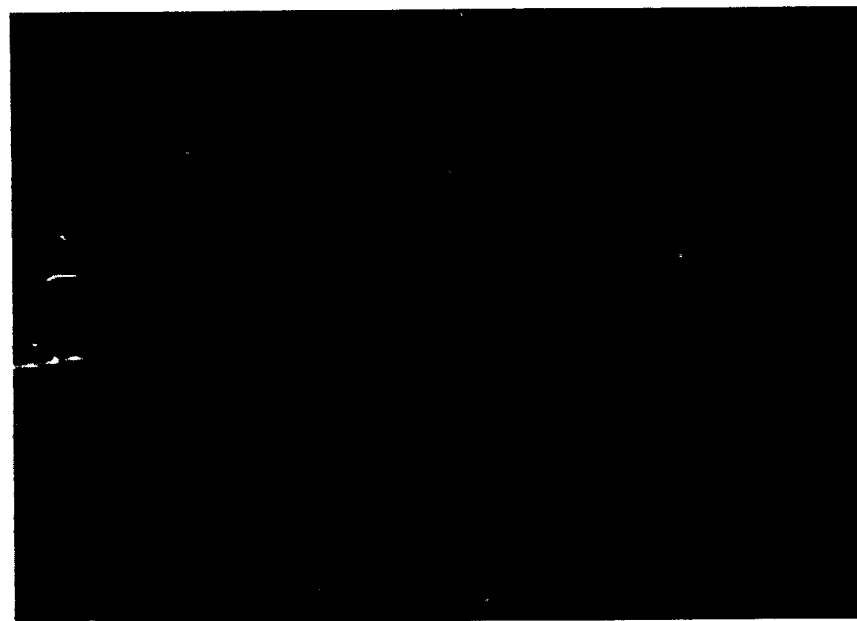


Fig. 19,  $\times 15$ .—La matriz es muy fina y contiene abundantes Radiolarios junto con Tintínidos (*C. alpina* y *T. carpathica* especialmente).—BERRIASIENSE.

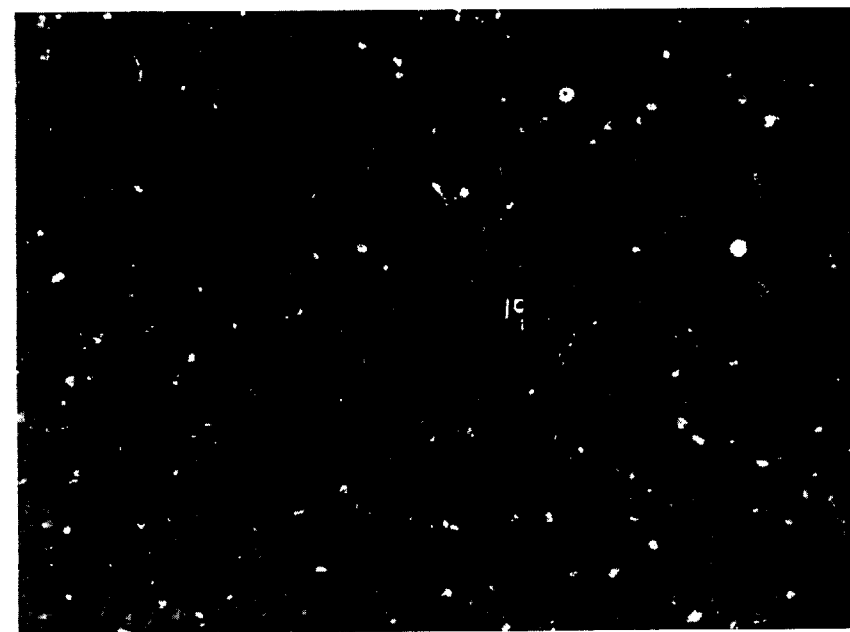


Fig. 20,  $\times 15$ .—La matriz es muy fina, como en la foto precedente. Contiene muchos radiolarios epigenizados en calcita, escasos Tintínidos, entre los que predomina *Tintinopsella oblonga*.—VALANGINIENSE.

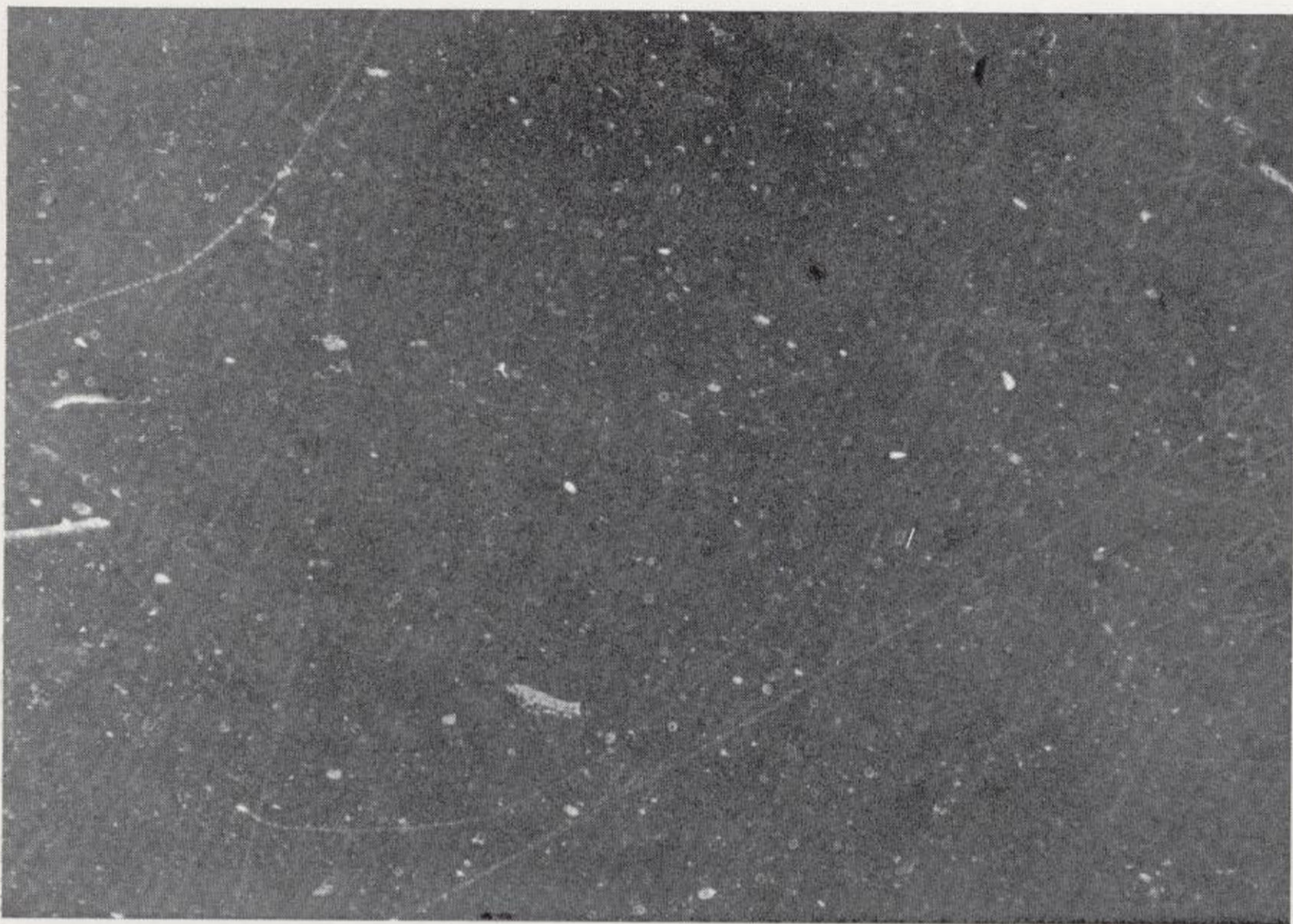


Fig. 19,  $\times 15$ .—La matriz es muy fina y contiene abundantes Radiolarios junto con Tintínidos (*C. alpina* y *T. carpathica* especialmente).—BERRIASIENSE.

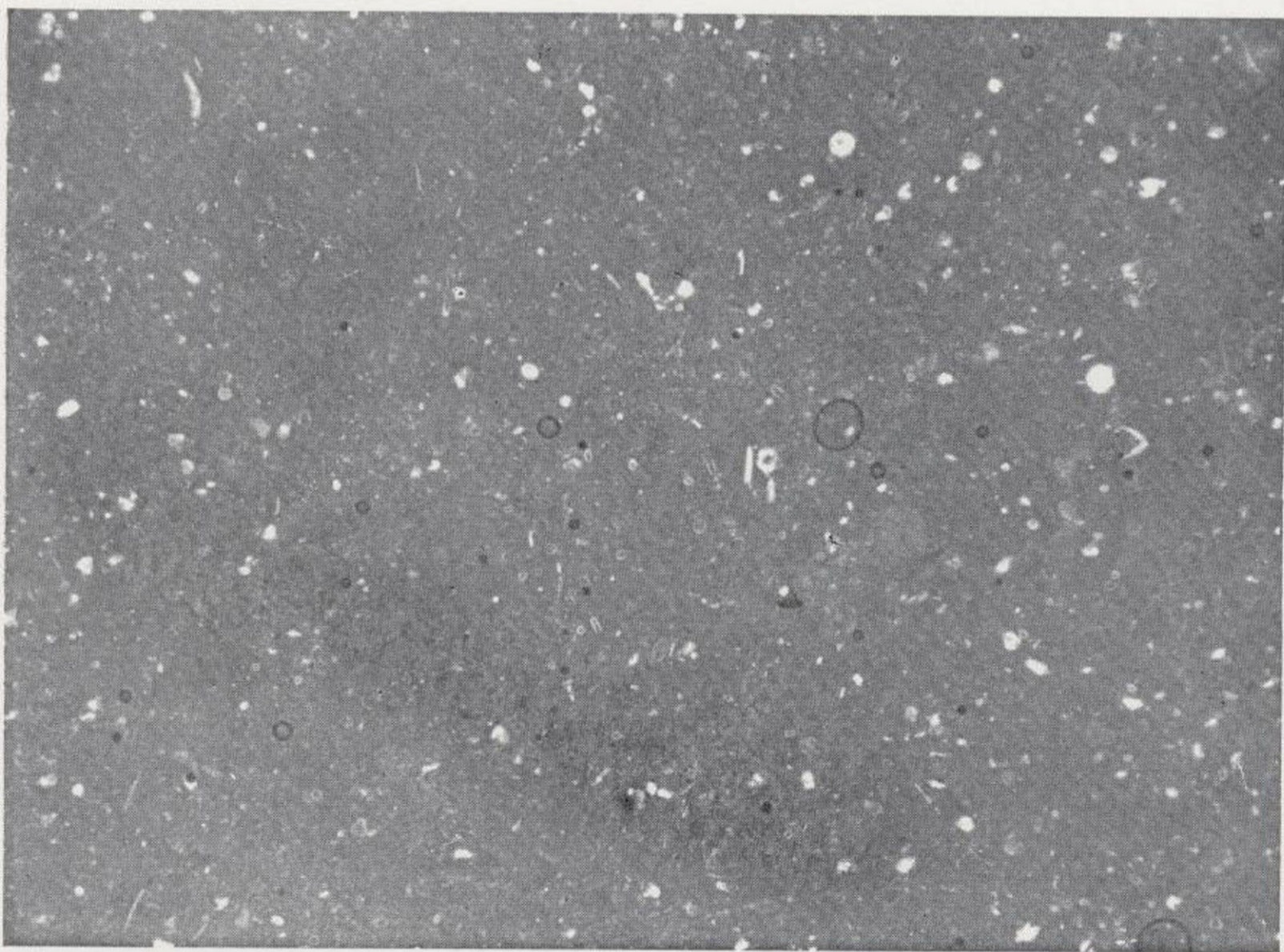


Fig. 20,  $\times 15$ .—La matriz es muy fina, como en la foto precedente. Contiene muchos radiolarios epigenizados en calcita, escasos Tintínidos, entre los que predomina *Tintinopsella oblonga*.—VALANGINIENSE.

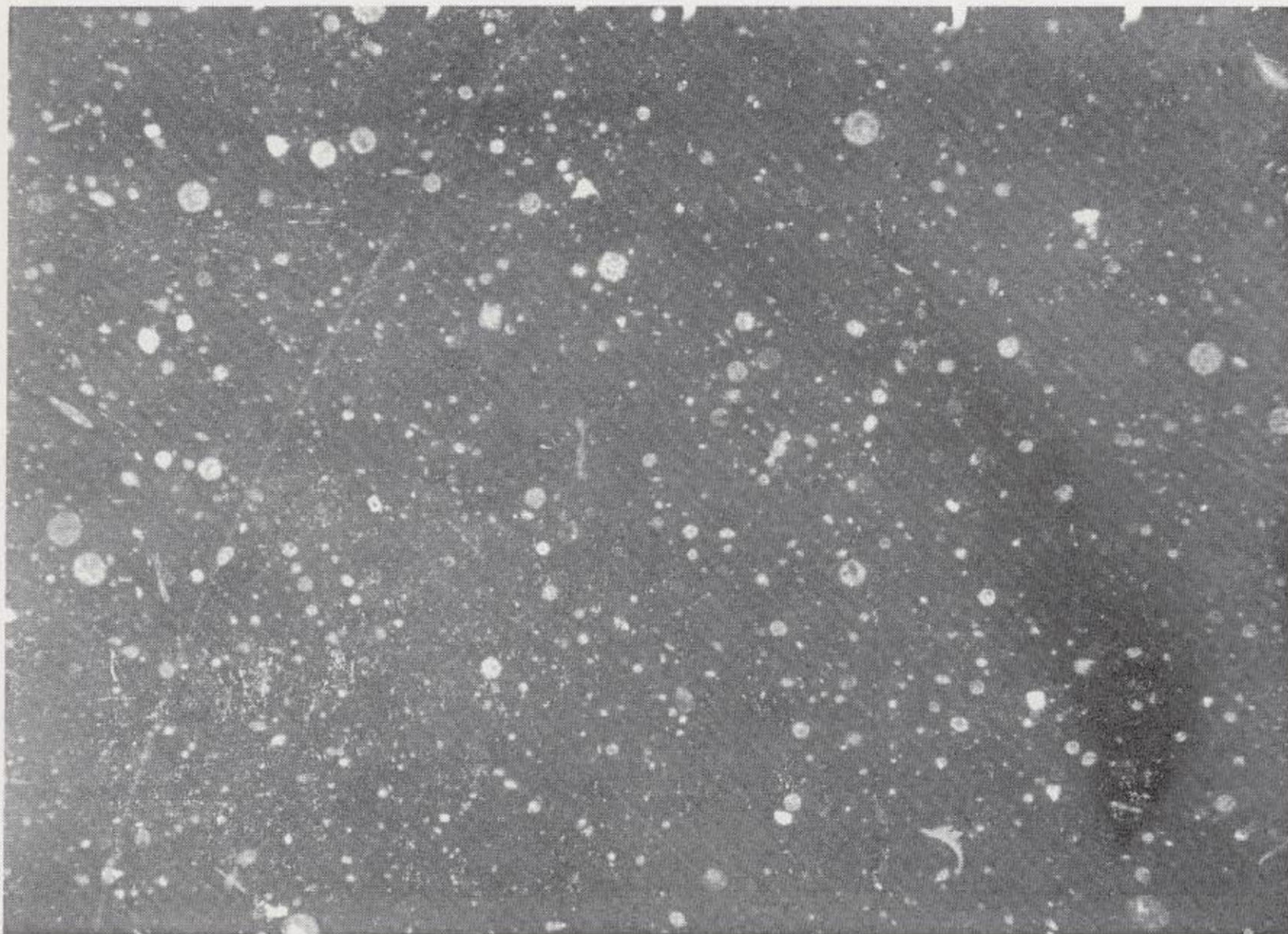


Fig. 21,  $\times 15$ .—La matriz es margosa, muy fina, y contiene abundantes Radiolarios.—BARREMIENSE.

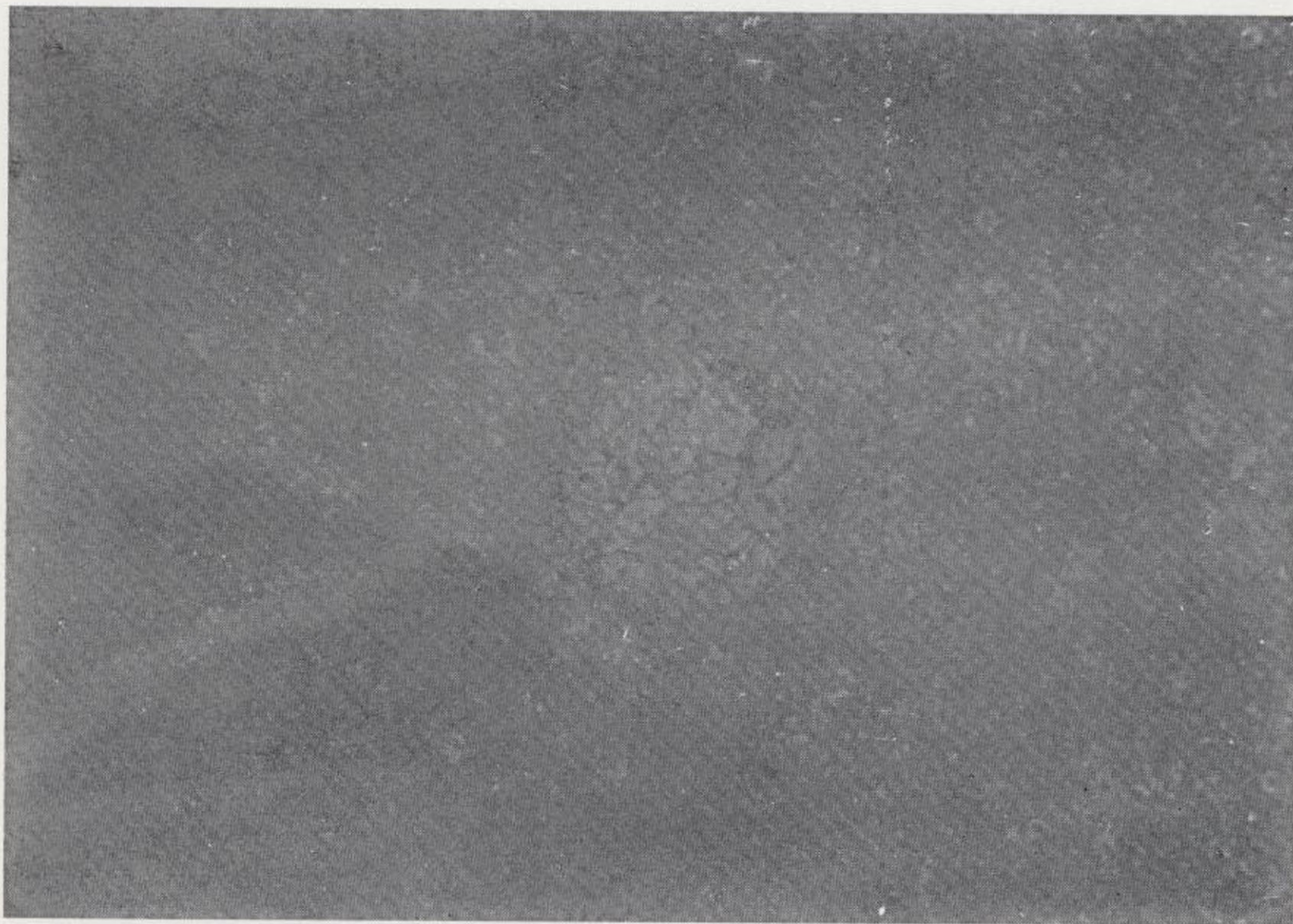


Fig. 22.—Detalle de la matriz de la muestra precedente con gran aumento,  $\times 200$ . Aunque hay también granos de calcita, la mayor parte de la matriz son los restos de Nannoconus.—BARREMIENSE.

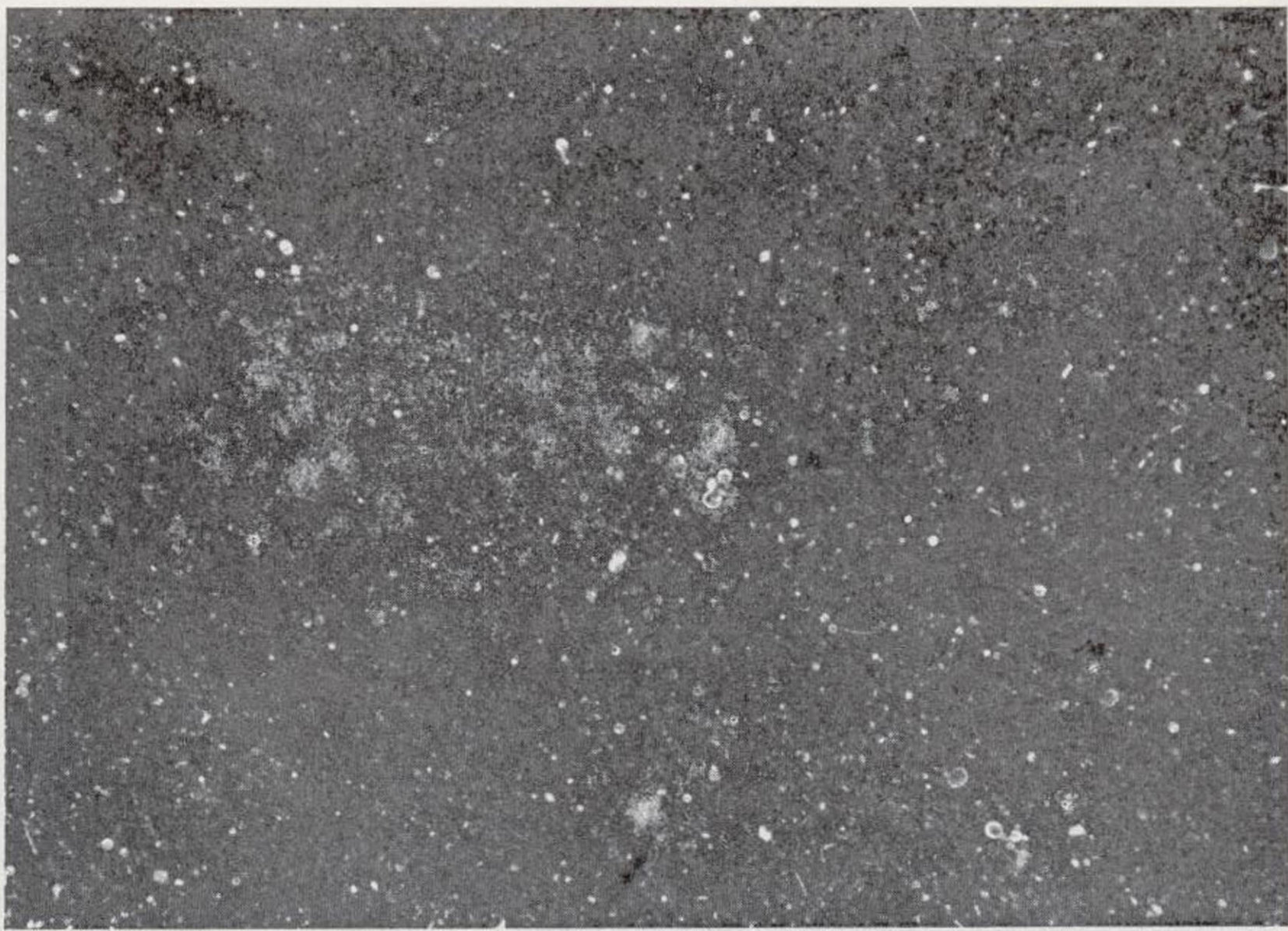


Fig. 23,  $\times 15$ .—La matriz es margosa, muy fina, y contiene escaso número de restos, entre ellos Hedbergella (*Anomalina lorneiana*). — APTENSE.

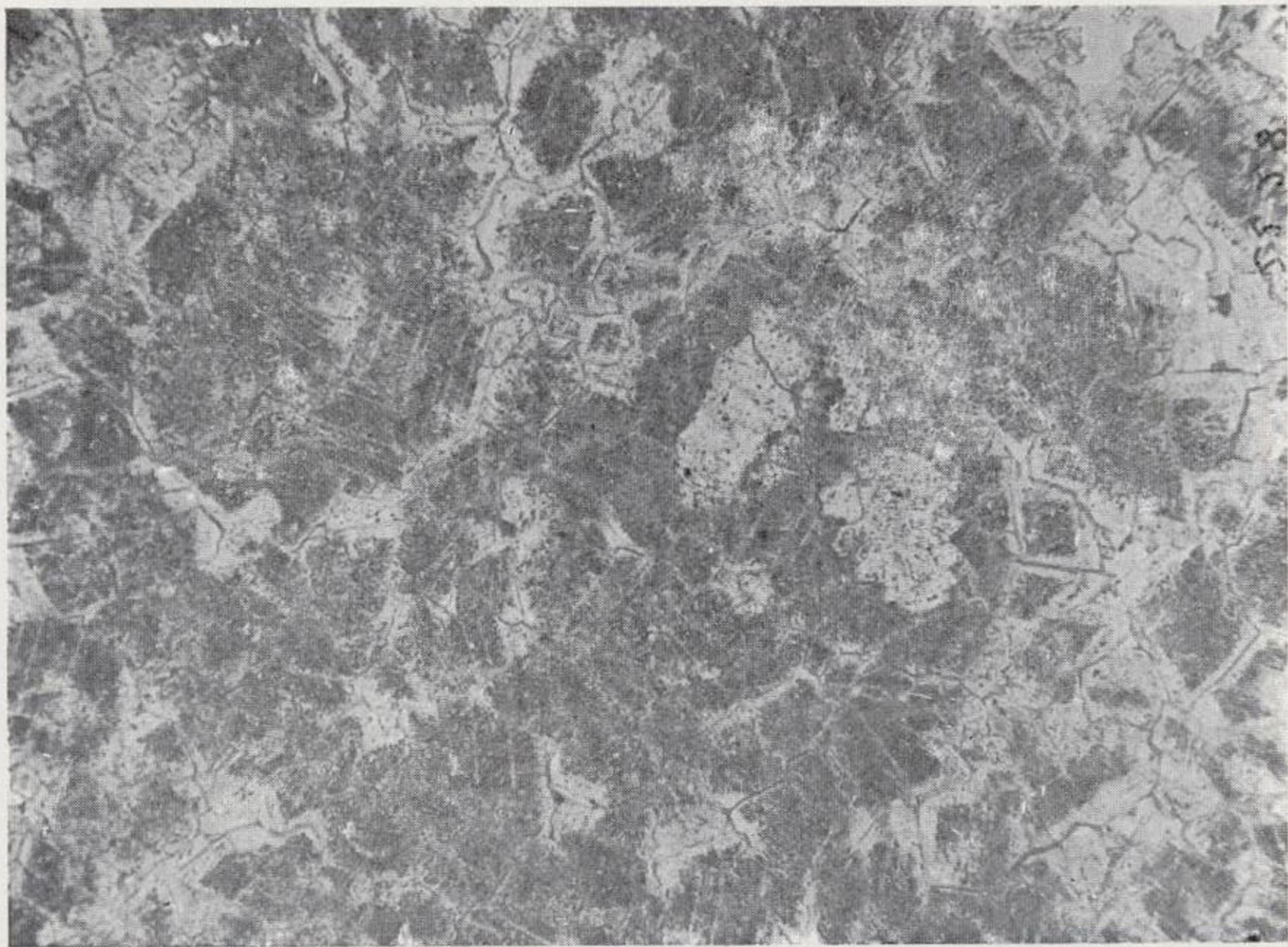


Fig. 24,  $\times 40$ .—La matriz es dolomítica, totalmente recrystalizada en granos romboédricos con el centro impurificado por arcilla, que dejan entre sí muchos huecos finos. No hay fósiles clasificables, pero algunas de las manchas arcillosas tienen la forma de Valvulínidos, Trocholina y fragmentos de Equinodermos y de Lamelibranquios.—NEOCOMIENSE O AP-TENSE PREBÉTICO.

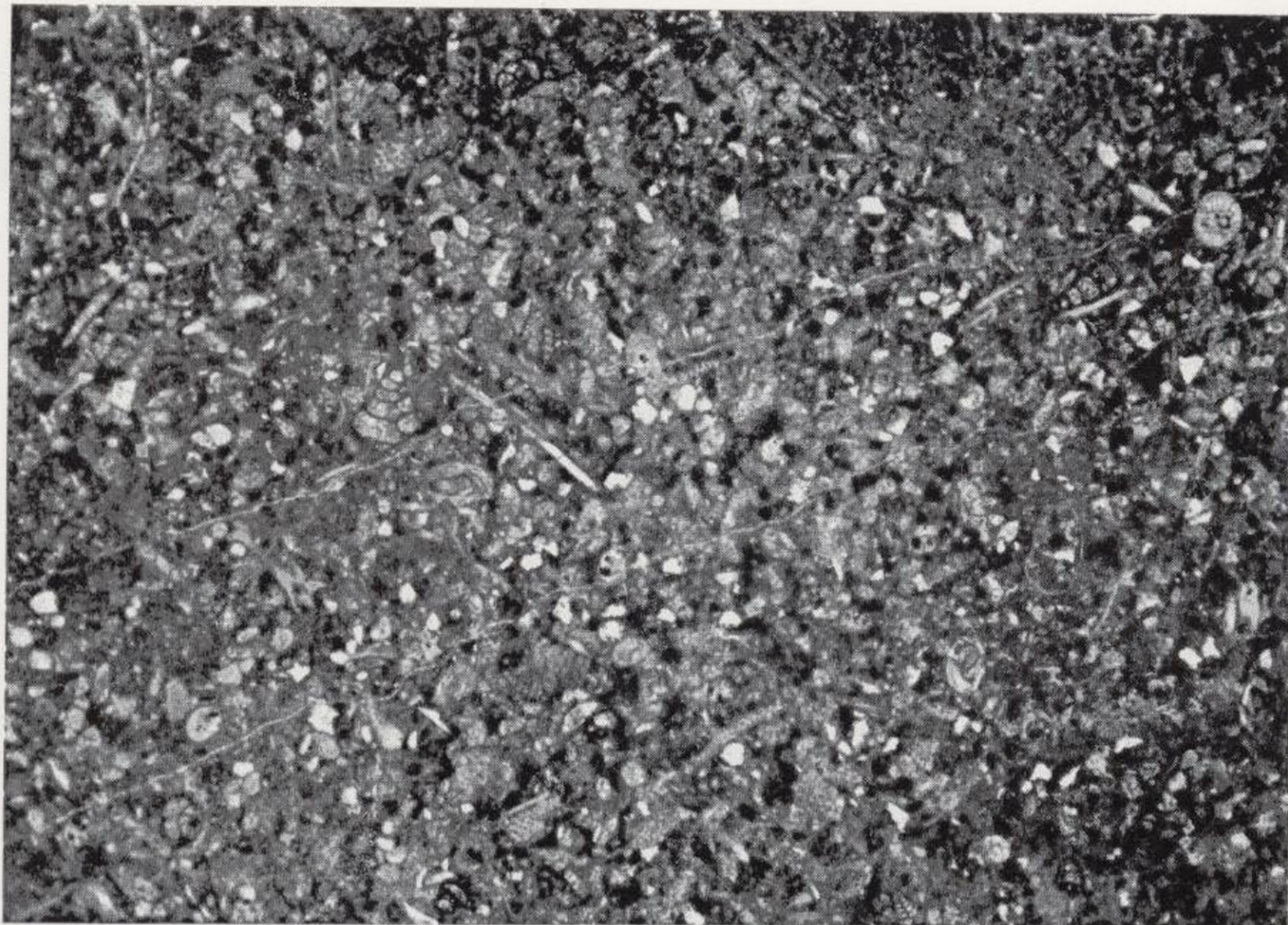


Fig. 25,  $\times 15$ .—La matriz es caliza, de grano fino, con algo de cuarzo y gran cantidad de partículas margosas y restos orgánicos: Ostrácodos, Valvulínidos, Equinodermos y Miliólidos.—APTENSE-ALBIENSE PREBÉTICO.

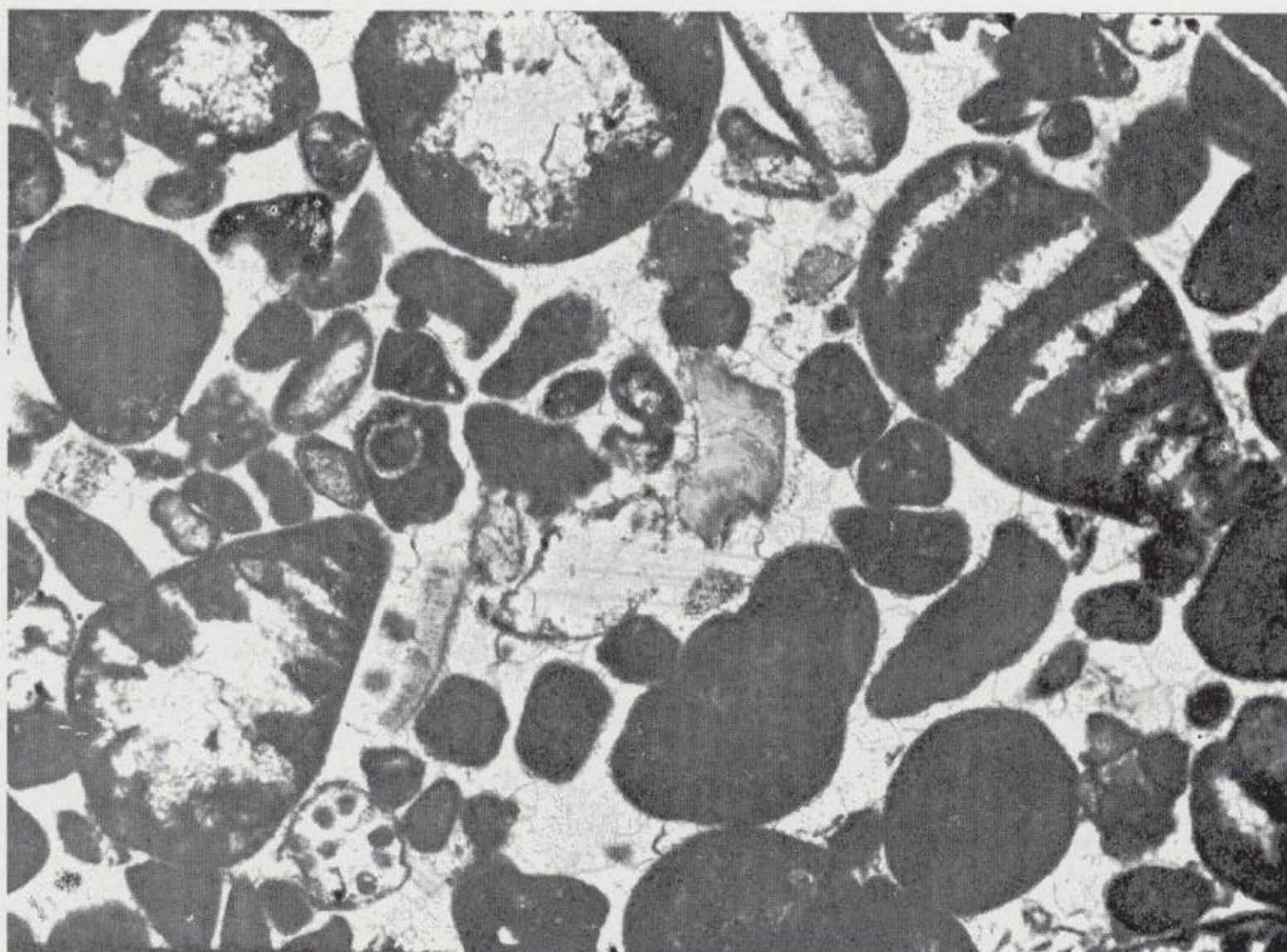


Fig. 26,  $\times 40$ .—Contiene Trocholina, Equinodermos, Lamelibranquios, Valvulínidos, Anomalínidos, Celentéreos y Ophthalmídidos.—APTENSE PREBÉTICO.

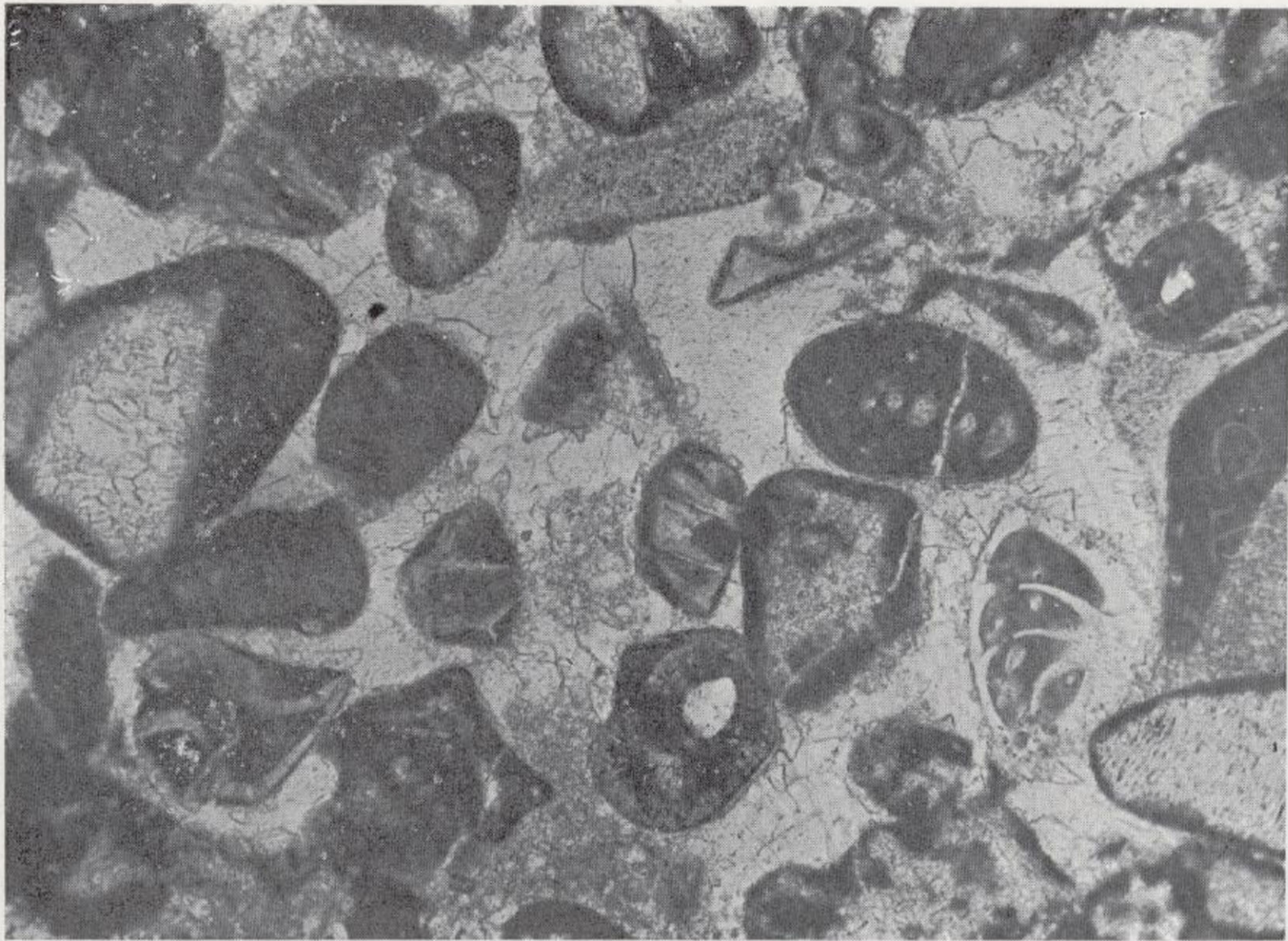


Fig. 27,  $\times 50$ .—Su matriz es caliza, alterada, con mucho cuarzo, oolitos grandes, Equinodermos, Nautiloculina, Acicularia, Melobesias y Lagénidos.—APTENSE PREBÉTICO.

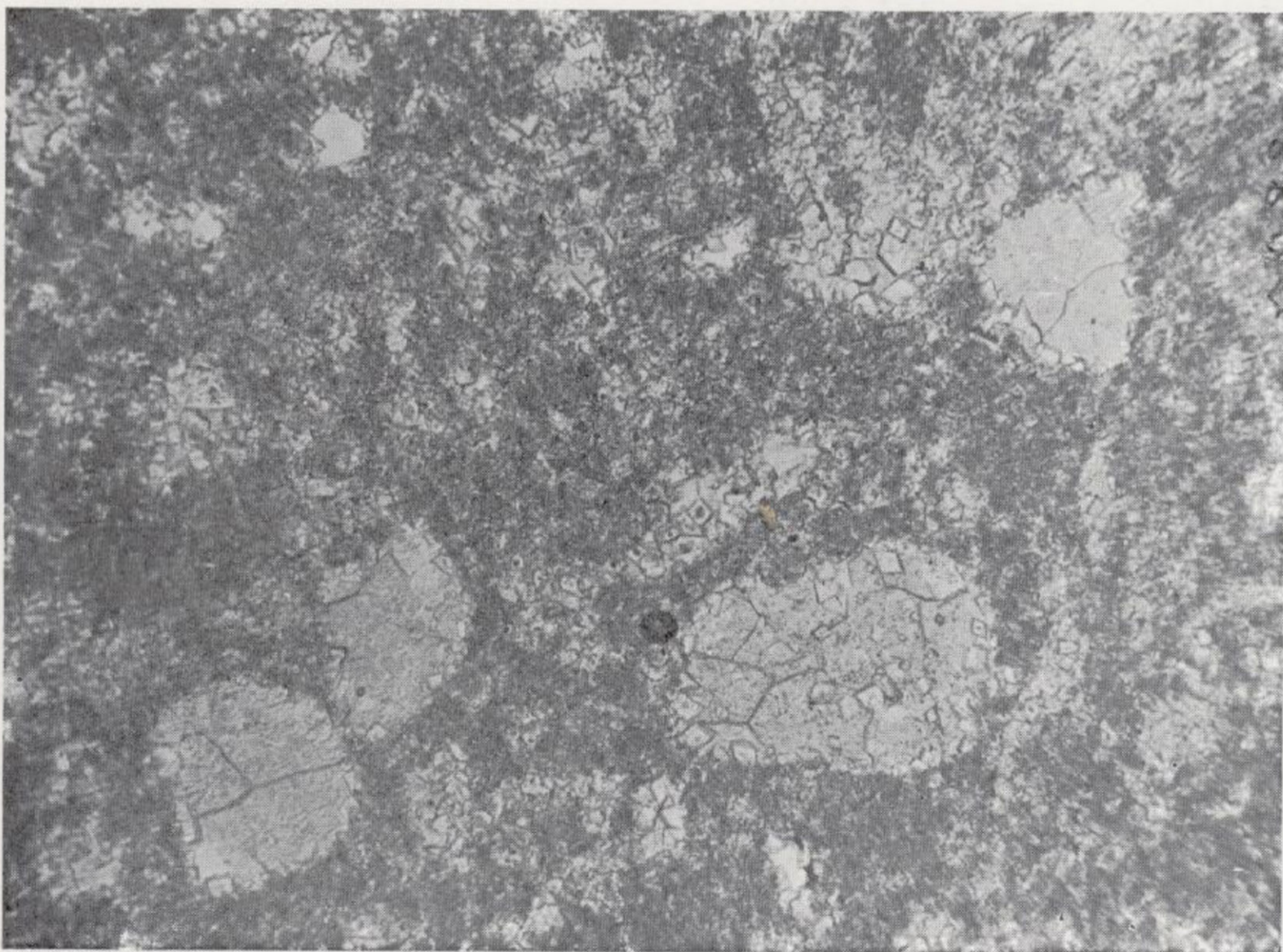


Fig. 28,  $\times 40$ .—La matriz es caliza, en granos romboédricos, con el centro impurificado por arcilla y algunos restos semiborrados, en grano más hialino que el resto de la matriz.—APTENSE-CENOMANENSE PREBÉTICO.



matriz está llena de granos romboédricos y contiene algunos restos, borrados casi totalmente, de Equinodermos, Lamelibranquios y ¿Valvulínidos?

Las muestras 160 A, 419 A, 481 A, 482 A, 494 A y 542 A son calizas blanquecinas de coloraciones diversas, también recristalizadas, como las precedentes (fig. 28).

La muestra 402 A es caliza dolomítica pardo-blanquecina, con analogías respecto a las precedentes (fig. 29).

Las muestras 4 LH, 8 LH, 160 A, 436 A, 477 A, 478 A, 479 A, 480 A, 483 A y 494 A son calizas más o menos recristalizadas con Orbitolinas y a veces Coskinolina, que señalan una edad aptense-cenomanense. La posición de estas muestras hace pensar que su edad sea albiense o cenomanense inferior (fig. 30).

En las muestras 476 A y 491 A la edad cenomanense queda confirmada por la presencia de Praealveolina junto a las Orbitolinas, con facies análoga a las calizas recristalizadas precedentes (fig. 31).

El orden en que acabamos de dar las muestras del Aptense al Cenomanense corresponde a lo que creemos su sucesión real. Las calizas con Praealveolinas ya contienen los restos que caracterizan a lo que vamos a llamar "flysch" cretácico superior.

#### 14 CRETÁCICO SUPERIOR PREBÉTICO EN FACIES "FLISCH" Y CRETÁCICO SUPERIOR SUBBÉTICO.

Según acabamos de indicar, las calizas con Orbitolina y Praealveolina (figura 31) pertenecen ya a este "flysch" y forman su base, junto con las que contienen sólo Orbitolinas, las cuales ya hacen una gradación hacia los niveles recristalizados inferiores.

El "flysch" está formado por margo-calizas ricas en Globotruncánidos y Rotalipóridos. Algunos niveles están plagados de Stomiosfera y Pithonella, que, cuando se examina la roca al microscopio, le dan un aspecto típico (figuras 32 a 36). Otras veces contienen cuarzo en granos finos.

La mayoría de las muestras de esta facies corresponden a los diversos pisos del Senoniense y del Cenomanense. Las asociaciones de Globigerináceos caracterizan cada piso y son las mismas en la serie prebética y en la subbética.

Así, las muestras 106 LH, 199 A, 210 A, 405 A, 418 A, 422 A, 423 A, 438 A, 449 A, 450 A, 484 A, 485 A, 486 A, 489 A, 493 A, 506 A, 512 A, 513 A, 515 A, 530 A y 631 A son cenomanenses caracterizadas por la presencia de *Rotalipora apenninica* y *R. renzi*, junto con gran cantidad de restos menudos, en especial Fissurinas (fig. 32).

La muestra 113 A es turonense, caracterizada por la *Globotruncana helvetica* (fig. 33).

Las muestras 396 A, 397 A, 459 A, 488 A, 508 A, 537 A, 539 A, 540 A y 672 A son del Senoniense inferior, con *Globotruncana lapparenti* Brotzen, *G. fornicata* Plummer, *G. sigali* Reichel y *G. contusa* (Cushman) (figura 34).

Correspondiendo a la parte superior del Senoniense encontramos, dentro de la sucesión prebética, la misma facies de margas calcáreas rojas y blancas, con Rosalinas, tantas veces citada en la serie subbética. Las muestras 475 A, 487 A, 497 A y 504 A son de este tipo, caracterizado por la *Globotruncana lamellosa* Sigal y *G. falsostuarti* Sigal (fig. 35).

Ninguna muestra de las estudiadas puede ser atribuida al Danés, que, al igual que en toda Andalucía, debe estar reducido a delgados niveles.

La existencia de Paleoceno en la serie prebética parece también muy problemática; en cambio existe en el Subbético y a este respecto anotamos que en la estación 475 A, junto con la caliza margosa maestrichtiense, yacen capas que continúan la serie y contienen Globorotalias eocenas (fig. 36).

#### Eoceno y Oligoceno en facies calizo-brechoide

Como es común en casi toda Andalucía, el Eoceno medio tiene carácter calizo detrítico y no presenta diferencias claras cuando forma parte de la serie subbética, respecto al de la prebética. Es posible que exista una sedimentación continua de tipo nerítico o poco profundo desde el Landeniense hasta el Oligoceno o Mioceno inferior. Por lo menos hemos examinado muestras que cubren todos los pisos, aunque nunca una serie completa.

El conjunto forma grandes crestones, dentro de los cuales se pueden reconocer los niveles eocenos y los oligocenos, pero no parece posible, ni siquiera conveniente, representarlos como cosas diferentes en la cartografía.

#### 15. LANDENIENSE.

Las muestras 500 A bis, 503 A, 508 A (parte) y 471 son las que parecen más antiguas. Son calizas recristalizadas pardo-blanquecinas, con *Distichoplax* y *Miscellanea* (fig. 37).



Fig. 29,  $\times 30$ .—La matriz es caliza, en parte dolomitizada en romboedros de estructura zonal. Contiene abundante cuarzo en grano fino, pero no se reconocen fósiles.—APTENSE-CENOMANENSE PREBÉTICO.

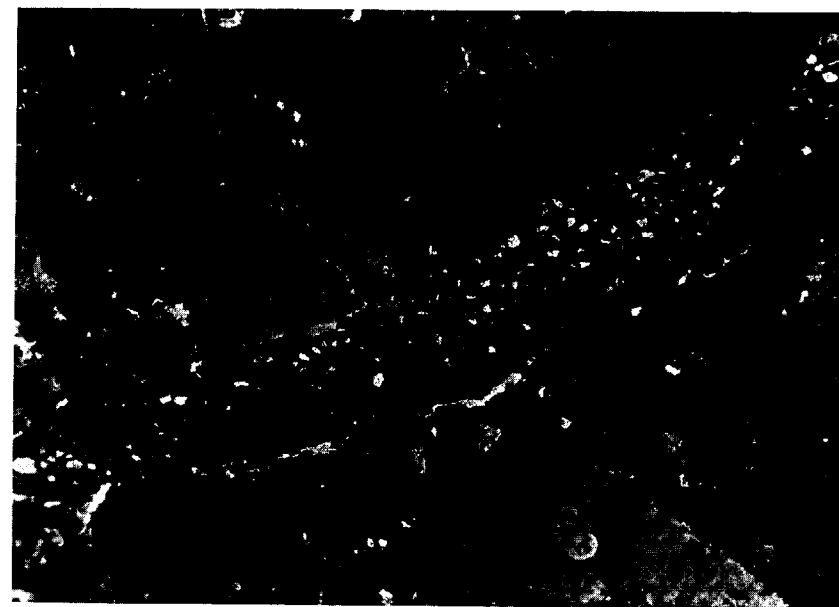


Fig. 30,  $\times 40$ .—Matriz caliza, a veces llena de granos romboédricos y con restos mal conservados: Equinodermos, *Robulus*, *Trocholina*, *Globigerínidos*, *Coskinolina*, *Orbitolina*, Milióidos, Ostrácodos y Valvulínidos.—ALBIENSE-CENOMANENSE PREBÉTICO.



Fig. 29,  $\times 30$ .—La matriz es caliza, en parte dolomitizada en romboedros de estructura zonal. Contiene abundante cuarzo en grano fino, pero no se reconocen fósiles.—APTENSE-CENOMANENSE PREBÉTICO.

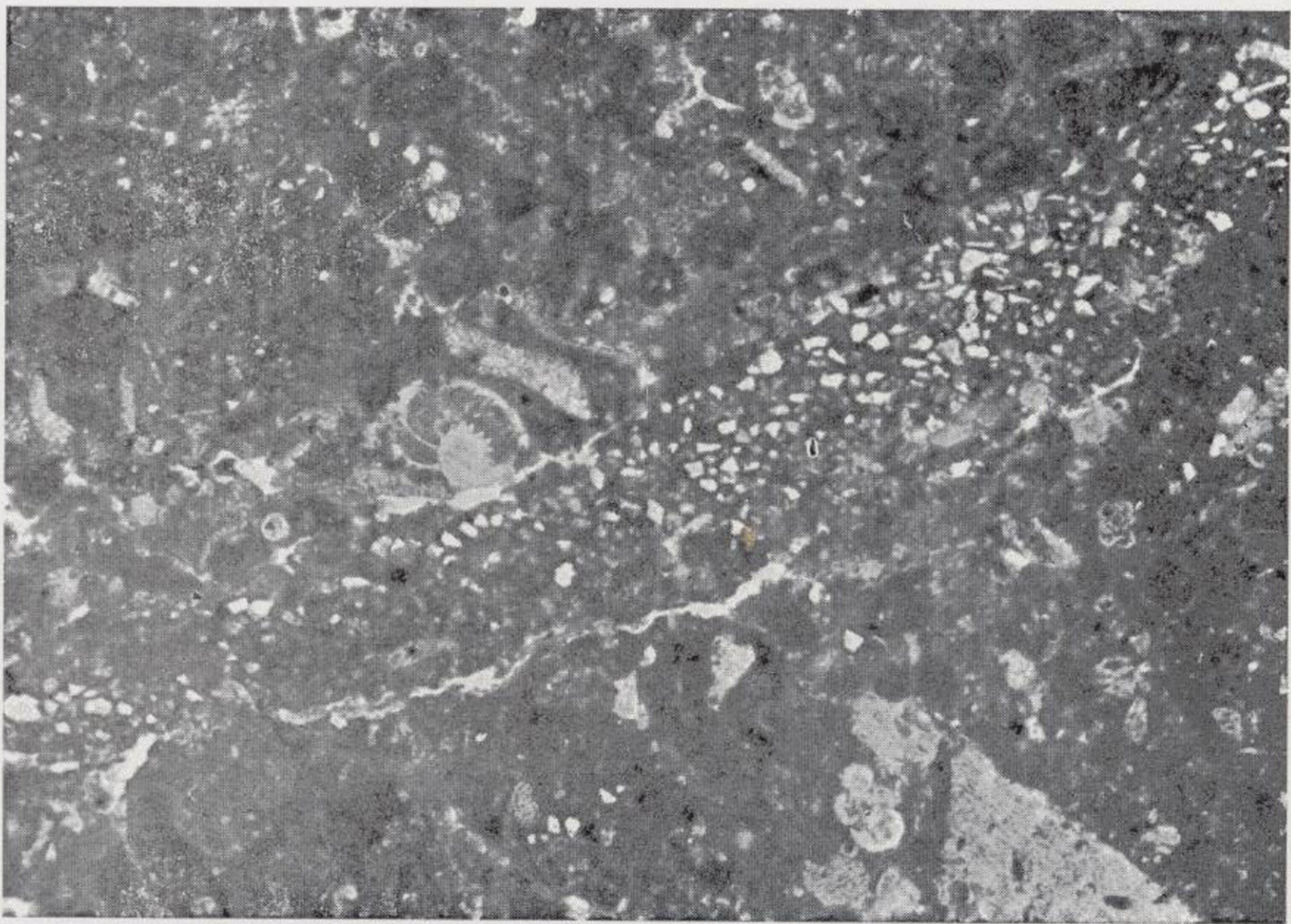


Fig. 30,  $\times 40$ .—Matriz caliza, a veces llena de granos romboédricos y con restos mal conservados: Equinodermos, Robulus, Trocholina, Globigerínidos, Coskinolina, Orbitolina, Milióidos, Ostrácodos y Valvulínidos.—ALBIENSE-CENOMANENSE PREBÉTICO.

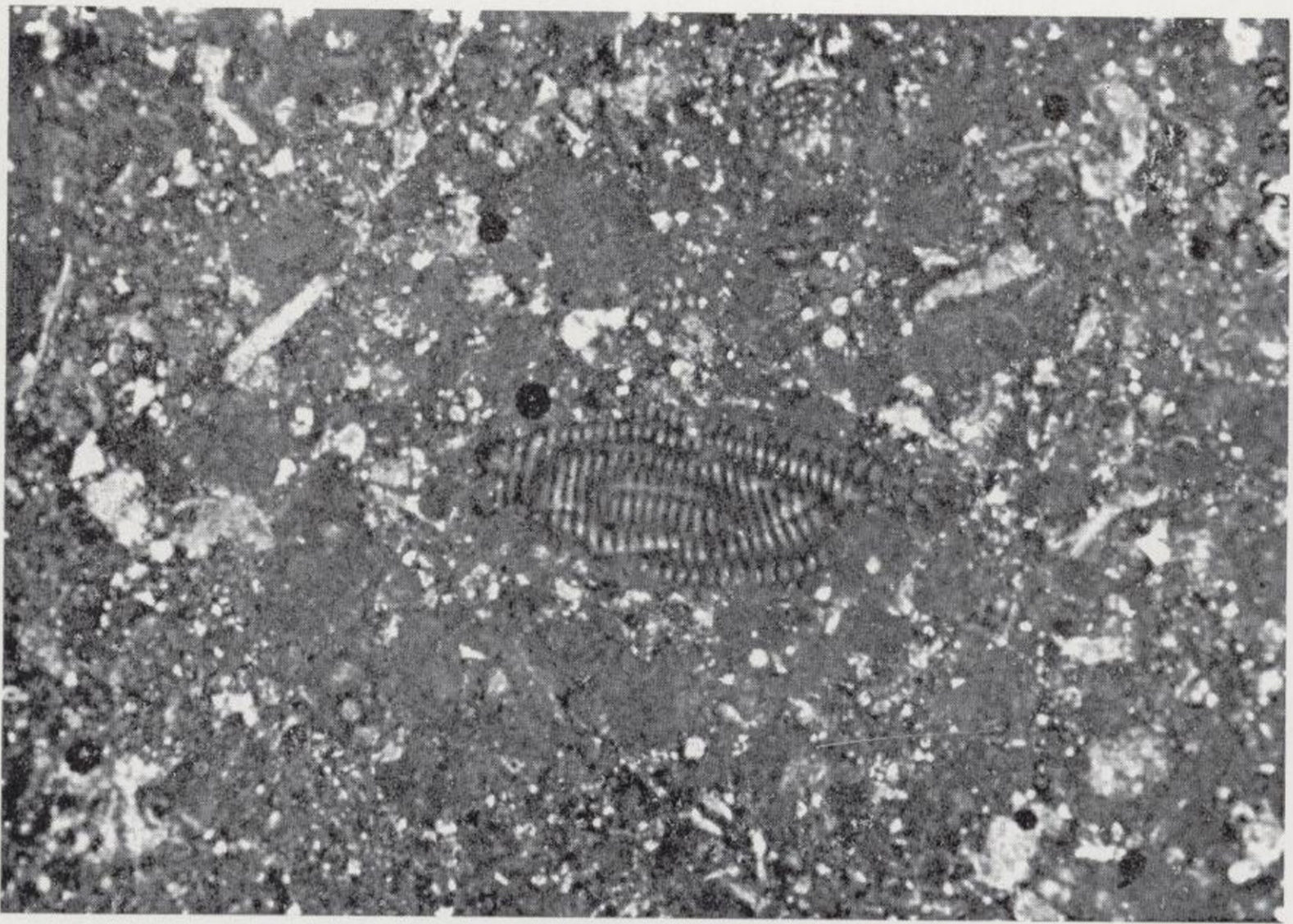


Fig. 31,  $\times 40$ .—Matriz margoso-caliza, con finos cristales romboédricos que le dan aspecto detrítico. Contiene frecuentes nódulos margosos y muchos restos orgánicos: Equinodermos, Miliólidos, Praealveolina, Valvulinidos, Rugoglobigerina, *Orbitolina complanata* y *Coskinolina*.—CENOMANENSE PREBÉTICO.

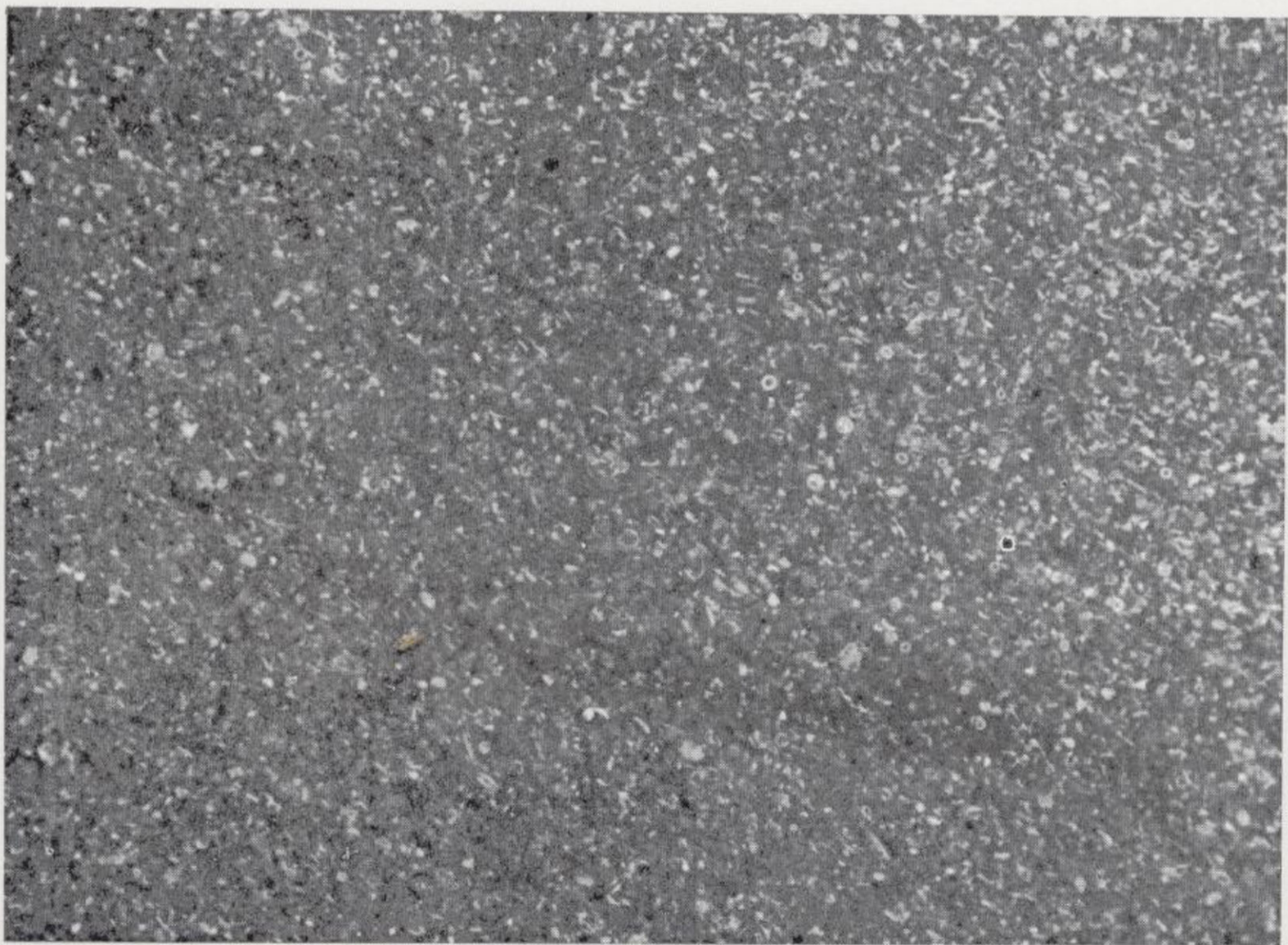


Fig. 32,  $\times 15$ .—La matriz es margoso-caliza, a veces algo recristalizada, y está llena de Fissurinas (*Stomiosfera* y *Pithonella*), *Hedbergella* y esquirlas finas.—CENOMANENSE PREBÉTICO EN FACIES "FLYSCH".

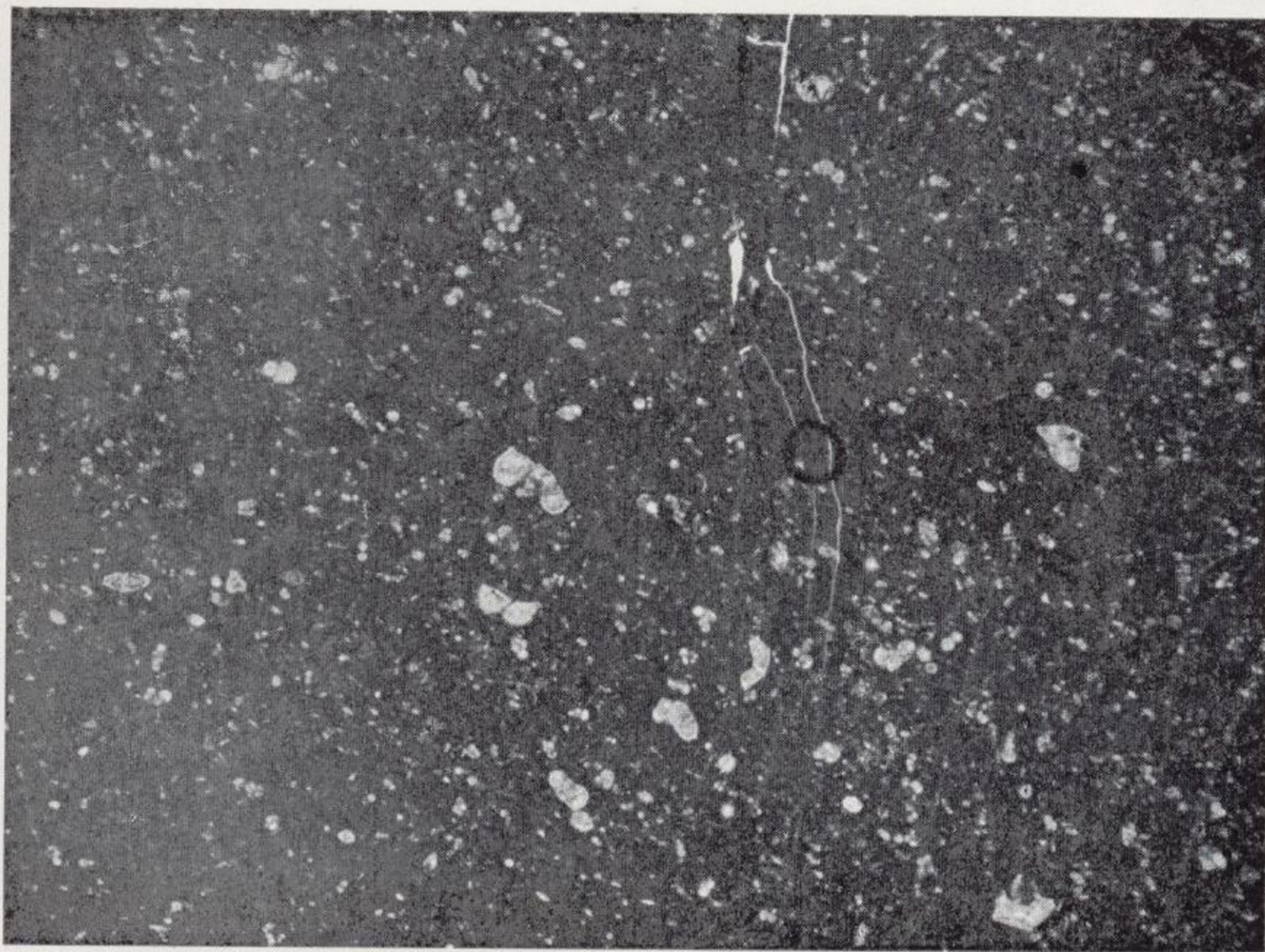


Fig. 33,  $\times 15$ .—La matriz es más fina que en la muestra precedente y contiene Rugoglobigerina, algunas Fissurinas y *G. helvetica* Bolli.—TURO-NENSE PREBÉTICO.

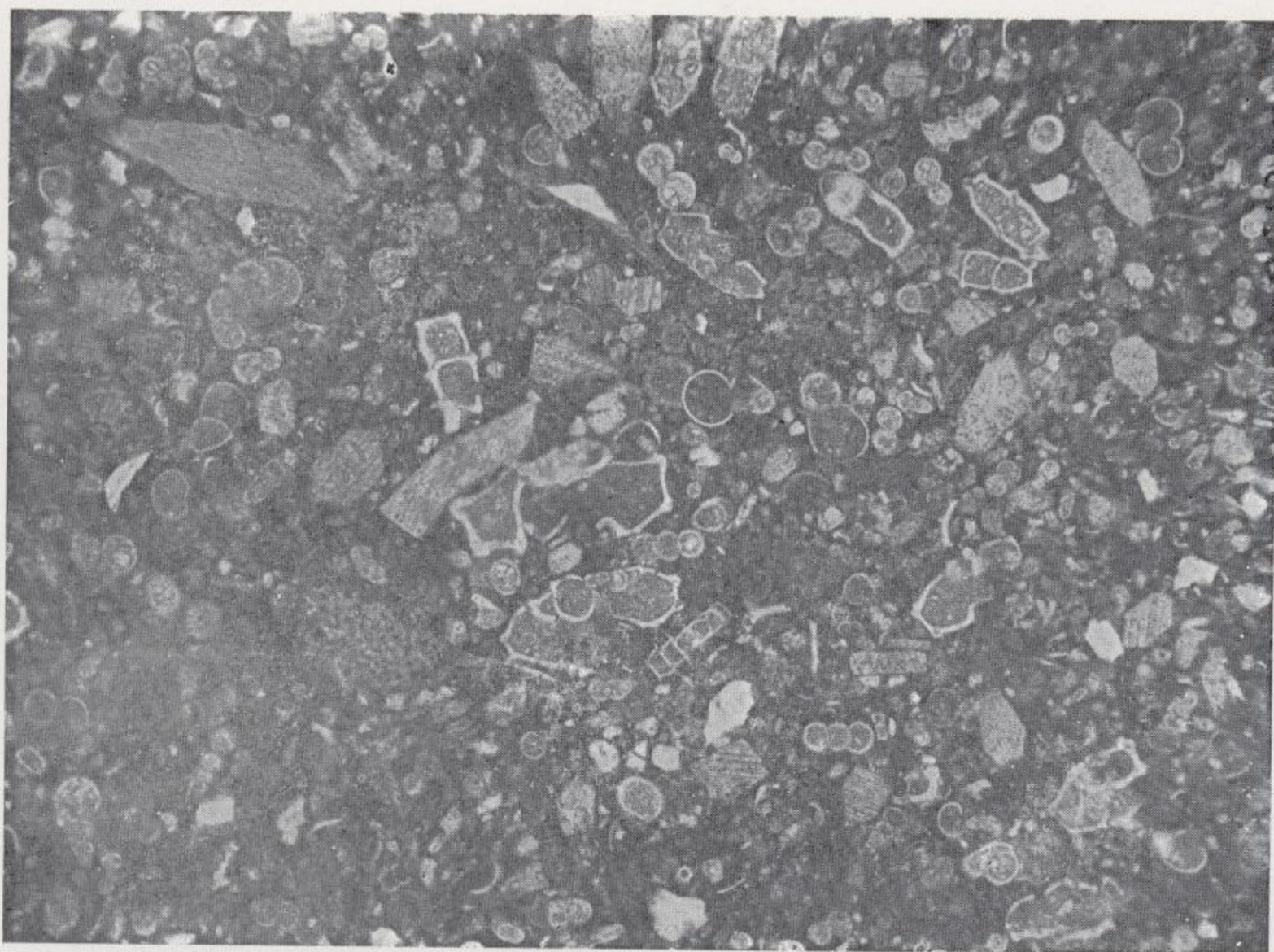


Fig. 34,  $\times 40$ .—Litológicamente es análoga a la muestra precedente. Con-tiene Globotruncanas (entre ellas *G. lapparenti*), *Pseudotextularia elegans*, *Heterohelix striata* (Ehremberg), Radiolarios, Rugoglobigerina y algunas Fissurinas.—SANTONIENSE PREBÉTICO.

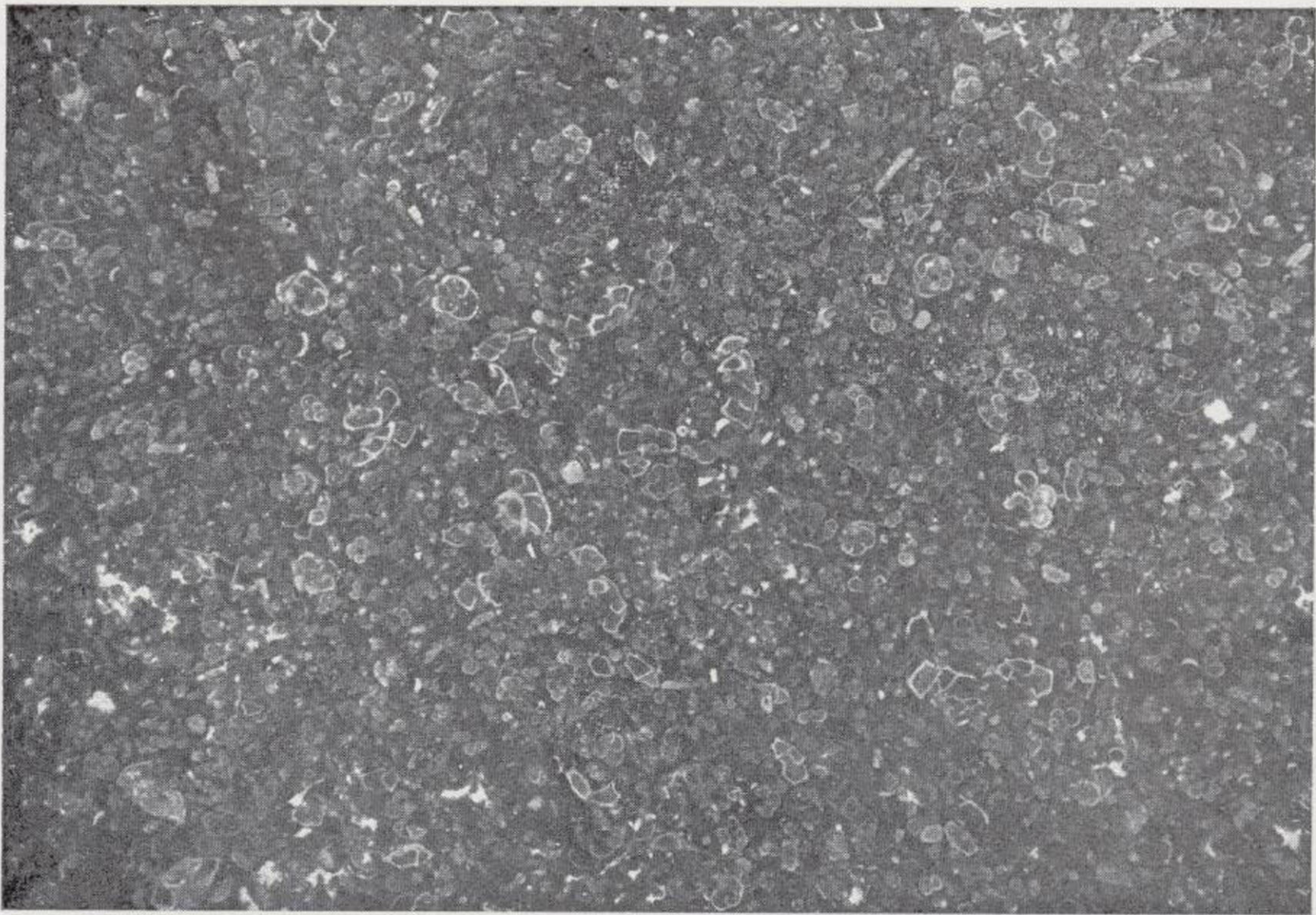


Fig. 35,  $\times 15$ .—La matriz es margosa, muy fina, con gran cantidad de Globotruncanas (*G. falsostuarti* Sigal, *G. contusa* (Cushman), *G. arca* Cushman y *G. lapparenti* Brotzen), Rugoglobigerina, *Pseudotextularia elegans* (Rzehak) y *Heterohelix striata* (Ehremberg).—MAESTRICHTIENSE PREBÉTICO.

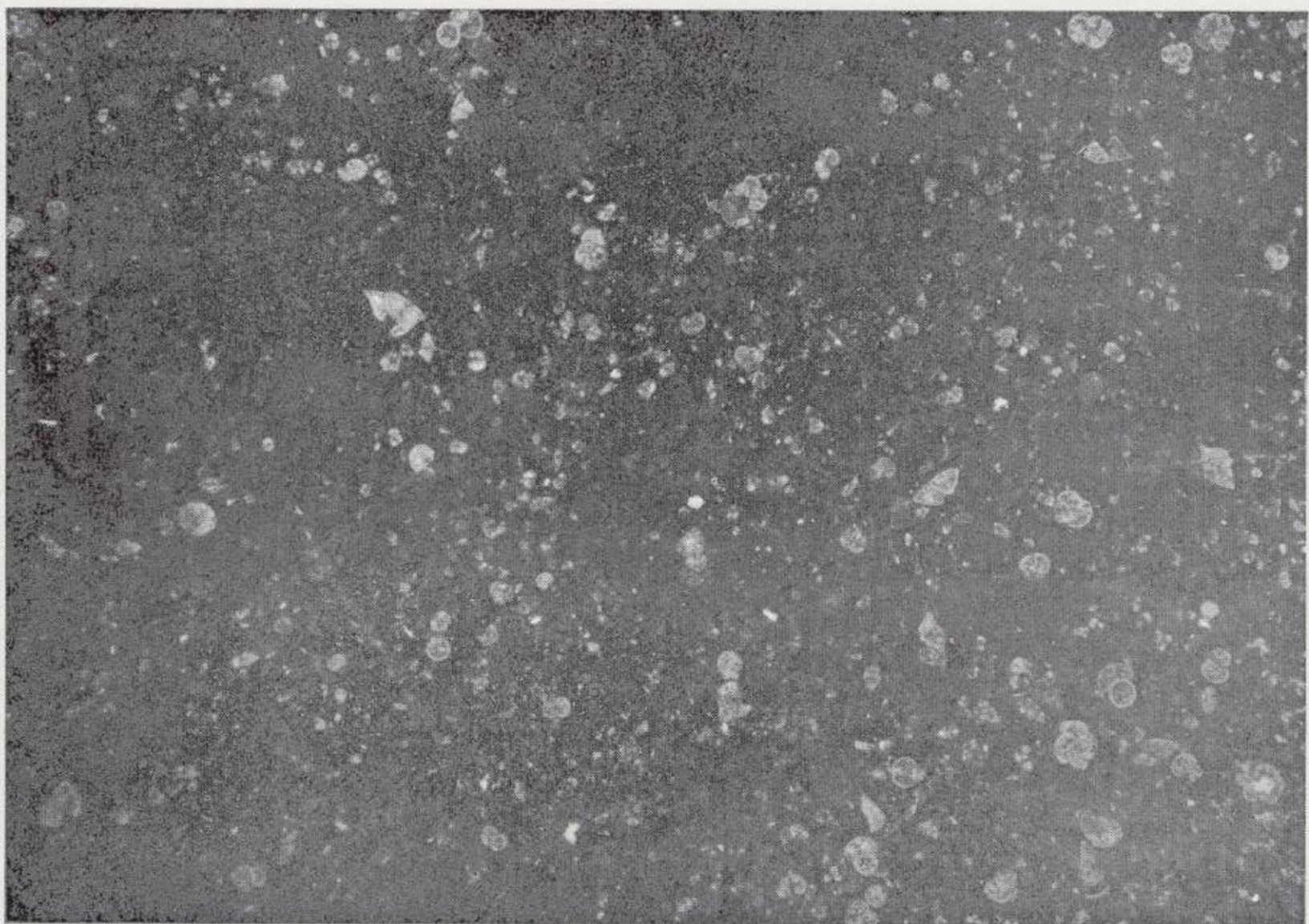


Fig. 36,  $\times 15$ .—La matriz es margosa, detrítica y contiene frecuentes Globigerinidos, Radiolarios y Truncorotalias.—EOCENO (¿PALEOCENO?) SUBBÉTICO.

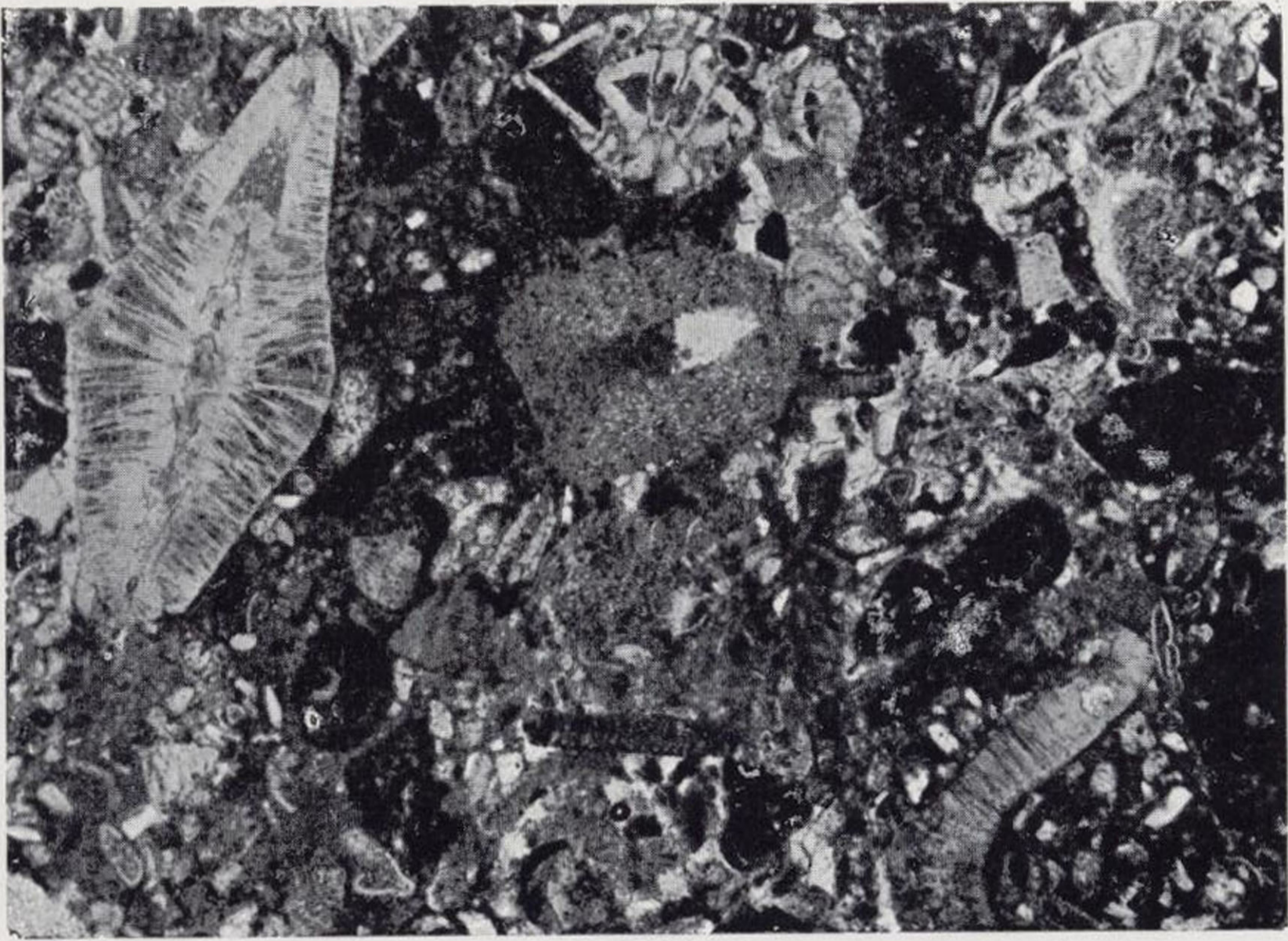


Fig. 37.  $\times 40$ .—La matriz es caliza, a veces hialina y contiene algo de cuarzo y gran cantidad de restos, en especial Melobesias (entre ellas *Distichoplax biserialis* Dietrich), Briozoos, Discocyclina, Miliólidos, Equinodermos, Operculina, foraminíferos rotaliformes (entre ellos *Miscellanea* y *Cibicides*) y Gypsínidos.

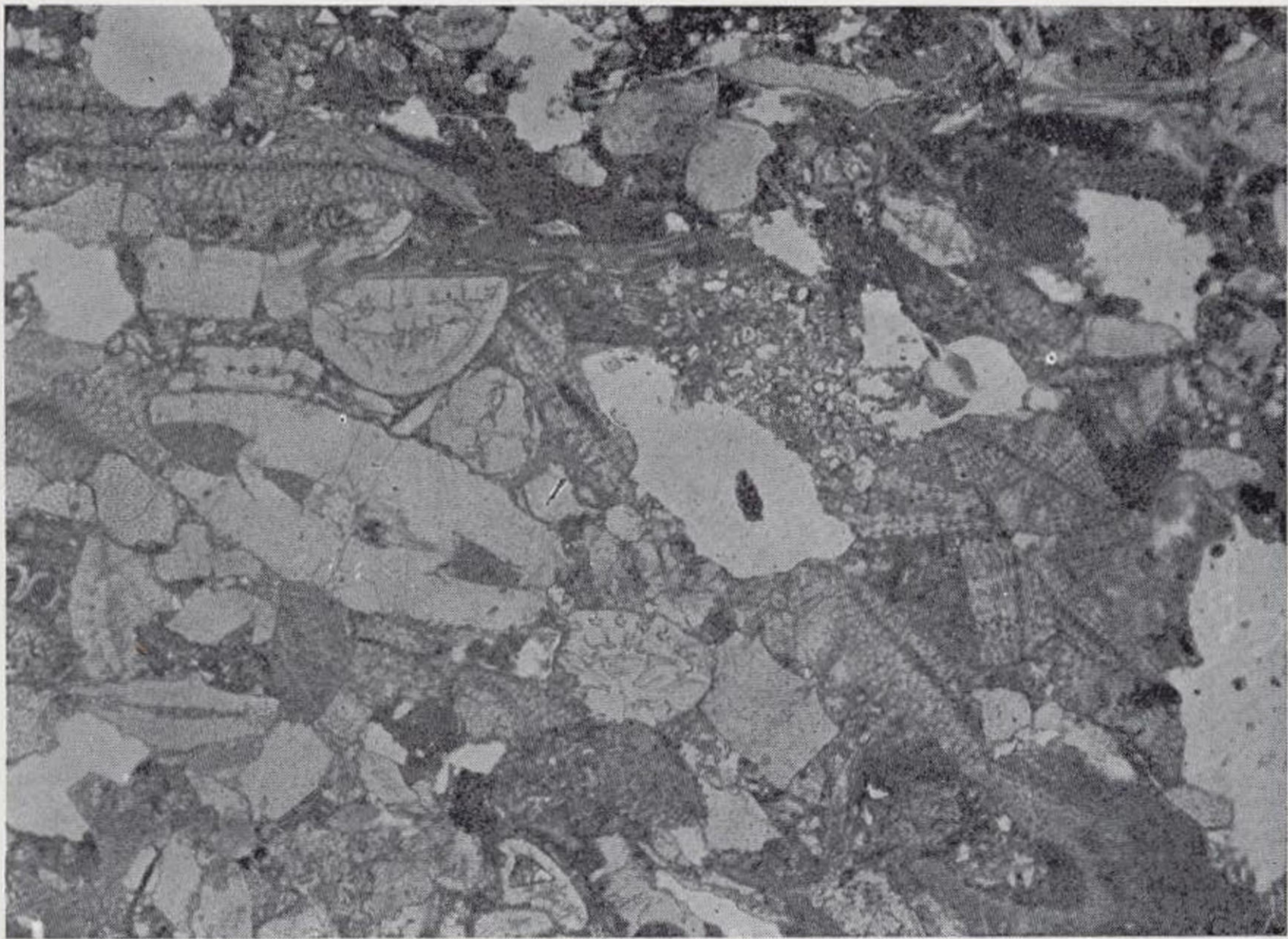


Fig. 38.  $\times 15$ .—Corresponde a un nivel bajo, con *N. aturicus*, Melobesias, Briozoos, Equinodermos, Textularia y Discocyclina.—LUTECIENSE.

## 16. LUTECIENSE-PRIABONIENSE.

Muestras 7 A, 9 A, 10 A, 37 A, 79 A, 89 A, 124 A, 178 A, 185 A, 188 A, 224 A, 278 A, 414 A, 453 A, 456 A, 495 A, 496 A, 312 A, 454 A, 507 A, 527 A, 538 A y 545 A. Todas estas muestras son calizas recristalizadas brechoides, como las del grupo anterior, pero con restos más modernos: Amphistegina, Discocyclina, Globigerínidos, Melobesias, Elphidium y Nummulites. En algunas muestras se ven Alveolinas deformadas, Fabiania y Chapmanina, que deben corresponder al Priaboniense. Pueden clasificarse entre los Nummulites y Discocyclinas: *N. aturicus* Joly y Leymerie, *N. incrassatus* De la Harpe, *N. complanata*, *N. striatus*, *Discocyclina discus* Rutimeyer, *D. sella* d'Archiac, *Asterodiscus stellaris* Brunner y *A. cuvillieri* Neumann (figs. 38 y 39).

Dentro del Eoceno prebético encontramos niveles con *Microcodium*, como el de la muestra 502 A (fig. 40), de caliza margosa areniscosa gris.

La muestra 195 A pertenece también al Prebético. Está milonitizada y tiene una microfacies especial (fig. 41).

## 17. OLIGOCENO.

Según ya hemos indicado, forma serie continua con el Eoceno. Hay muestras con *Lepidocyclinas* y *Miogypsinoides* del Oligoceno superior, y la identidad de facies con el Eoceno parece excluir la posibilidad de que haya habido interrupción en el depósito.

Las muestras 46 LH, 208 A, 288 A, 666 A y 668 A contienen *Lepidocyclinas* rotas; son areniscas calcáreas ocre-pardas, con gran cantidad de cuarzo y de restos orgánicos (fig. 42).

Encontramos esta microfacies tanto en el Prebético como en el Subbético.

Las muestras 165 A, 129 A, 131 A, 179 A, 351 A y 511 A contienen *Lepidocyclinas* junto con *Miogypsinoides*, lo que da para ellas una edad chattiense. Son más claramente brechoides que las del grupo anterior, porque contienen restos de regular tamaño (fig. 43).

Otras muchas muestras, que pertenecen indiferentemente a las dos series, pre y subbética, no contienen los restos exclusivamente eocenos ni los oligocenos, pero su microfacies es del mismo tipo que hemos llamado Eoceno-Oligoceno calizo brechoide. Por la posición alta en la serie, comprobada en algunas de las muestras, las vamos a incluir todas en el Oligoceno, advirtiendo que algunas pueden ser eocenas y otras aquitanienses (con *Miogypsina* algo dudosa).



Las muestras 204 A, 208 A, 349 A, 409 A, 410 A, 451 A, 461 A, 474 A y 546 A son calizas blanquecinas llenas de Melobesias, que les dan aspecto finamente brechoide (fig. 44).

Las muestras 101 LH, 104 LH, 130 A, 207 A, 322 A, 350 A, 388 A, 413 A, 444 A, 447 A, 448 A, 451 A bis, 509 A bis, 511 A, 528 A, 533 A, 534 A, 548 A y 670 A son calizas ocre y blanquecinas, análogas a las anteriores, con las que forman un solo grupo. Su aspecto al microscopio es un poco más areniscoso, por contener restos más menudos (fig. 45).

#### 18. ¿AQUITANIENSE?

La muestra 444 A, alta dentro de la serie caliza, contiene dudosas Miogypsinas, y aunque la hemos incluido en el grupo anterior, puede ser del Aquitaniense.

Las muestras 105 LH, 446 A, 455 A, 463 A, 465 A, 466 A, 531 A y 653 A son también calizas recristalizadas, relacionadas con los grupos precedentes, pero de aspecto microscópico mucho más finamente detrítico; ya no parecen brechoides, sino areniscosas. Su edad no está bien definida, mas, por su posición, pudieran ser ya aquitanienses, especialmente las 446 A, 465 A y 466 A (fig. 46).

Algunas muestras, como la 446 A y la 653 A, incluyen juntos dos fragmentos de rocas diferentes: la caliza con Globigerínidos, que debemos suponer Aquitaniense, y una marga gris que más adelante estudiaremos y que contiene *Globorotalia fohsi* y Orbulinas del Burdigaliense.

#### Eoceno y Oligoceno en facies margosas

Formando parte de la serie eoceno-oligocena, e intercalados entre las calizas brechoides y areniscosas acabadas de describir, hay niveles margosos, a veces paquetes enteros, que deben corresponder a diversos pisos. Desgraciadamente la mayoría de las muestras eran duras y fue preciso estudiarlas por medio de lámina transparente: 8 A, 125 A, 313 A, 314 A y 543 A.

Aunque la 543 A pertenece al Prebético y las restantes al Subbético, todas ellas tienen microfacies parecidas (fig. 47).

Las muestras 472 A y 601 A de la serie subbética nos dieron, por levigación, magníficas microfaunas, con *Hantkenina alabamensis* Cushman, *Globigerinoides semiinvoluta* Keidjer, *Globorotalia cerroazulensis* (Cole),

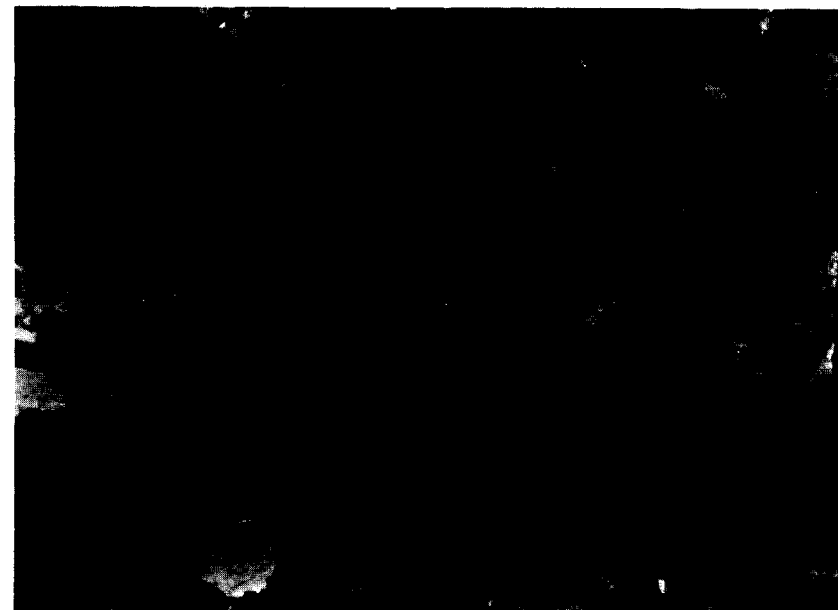


Fig. 39,  $\times 40$ .—Corresponde a un nivel alto, con *Fabiania*, *Amphistegina*, Gypsínidos, *Discocyclus*, Briozoos, Melobesias, Globigerínidos y *Rupertia*.—PRIABONIENSE.

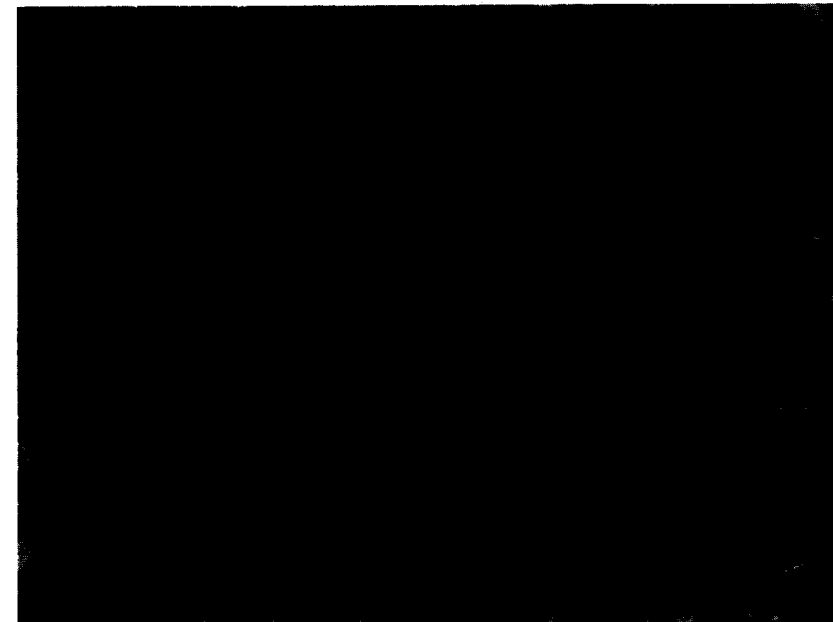


Fig. 40,  $\times 50$ .—La matriz es caliza y aparece llena de fragmentos de *Microcodium*, *Globigerina*, *Truncorotalia*, *Equinodermos* y *Cibicides*.—¿LUTE-CIENSE?

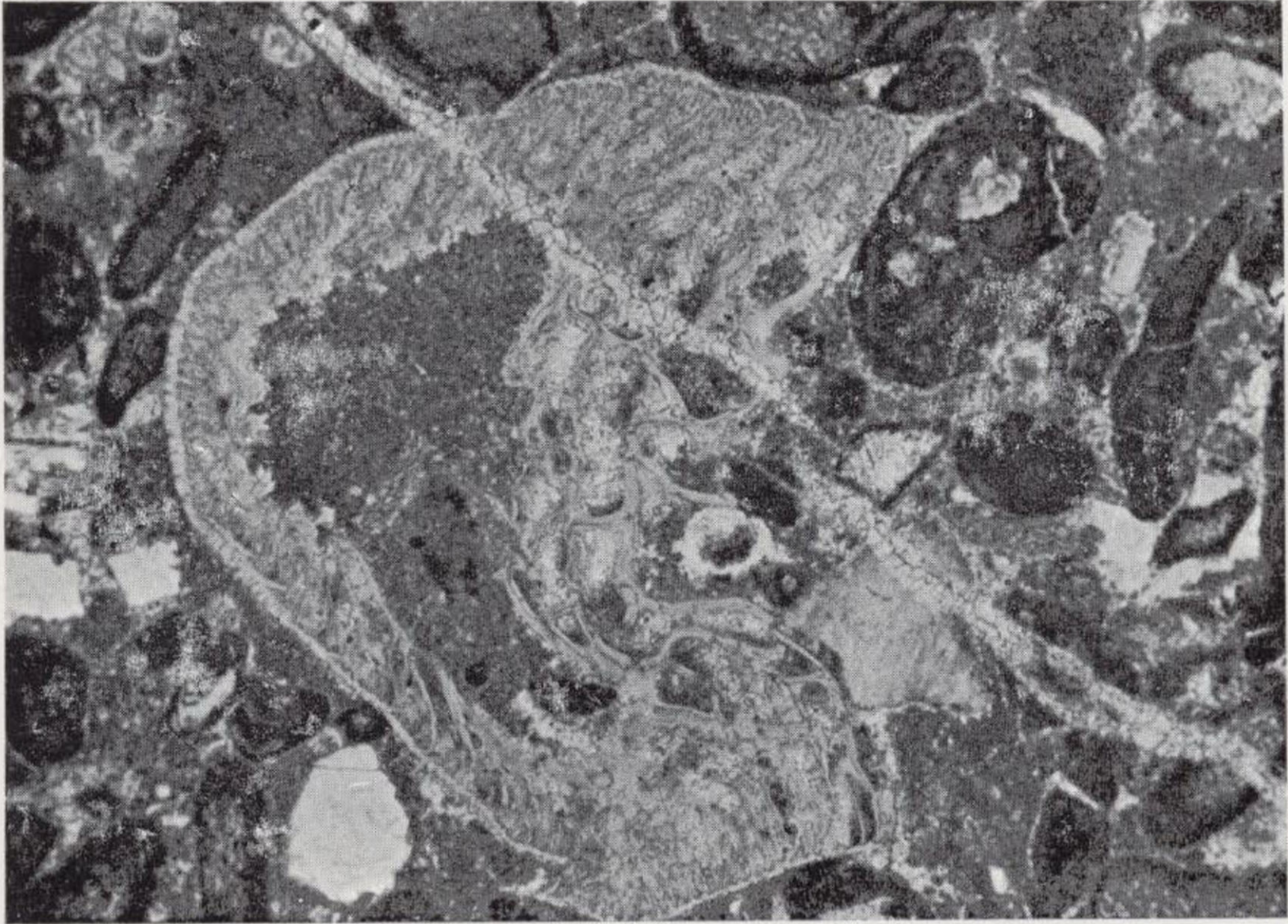


Fig. 39,  $\times 40$ .—Corresponde a un nivel alto, con *Fabiania*, *Amphistegina*, *Gypsínidos*, *Discocyclina*, *Briozoos*, *Melobesias*, *Globigerínidos* y *Rupertia*.—PRIABONIENSE.

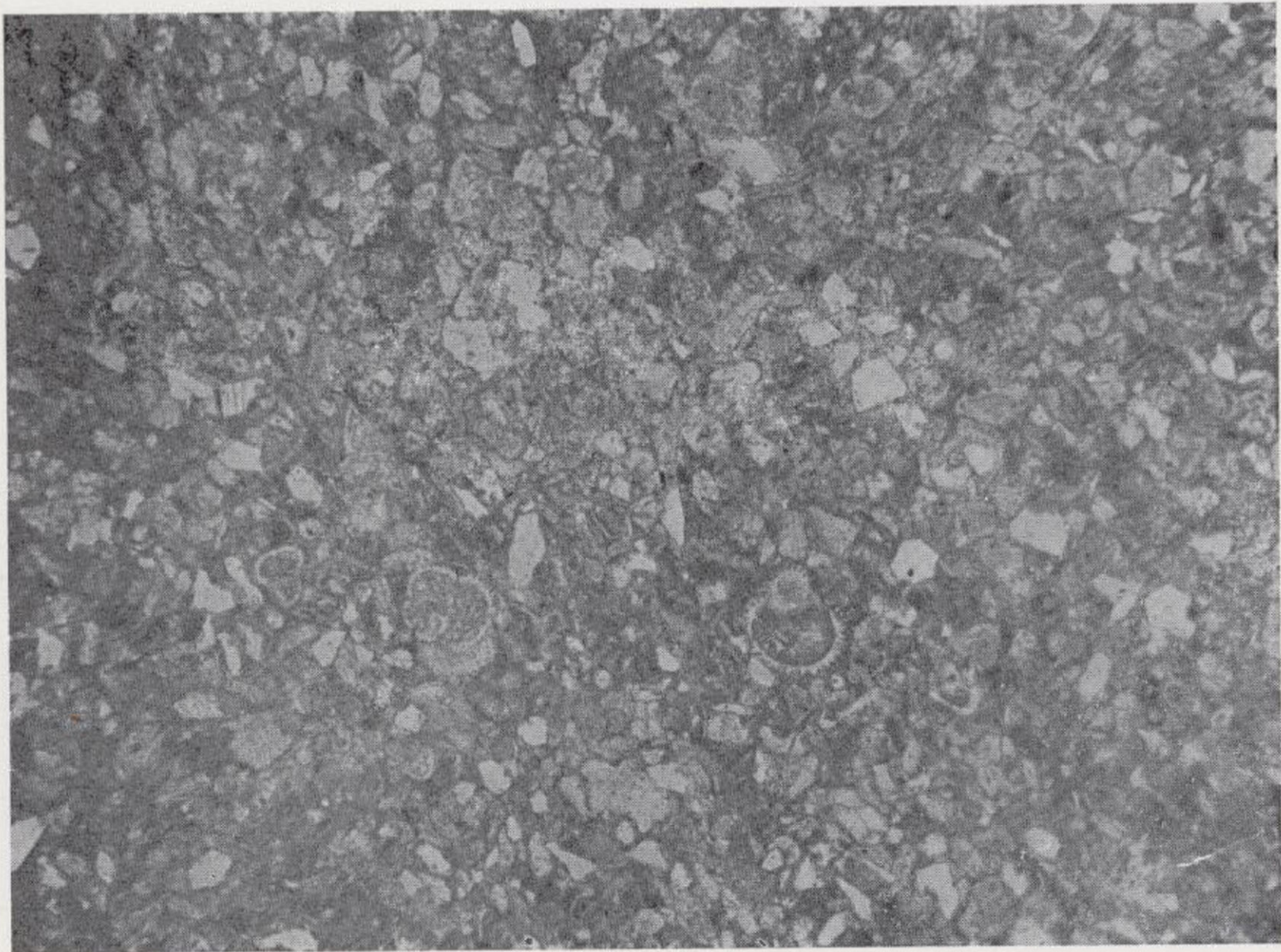


Fig. 40,  $\times 50$ .—La matriz es caliza y aparece llena de fragmentos de *Microcodium*, *Globigerina*, *Truncorotalia*, *Equinodermos* y *Cibicides*.—¿LUTECIENSE?

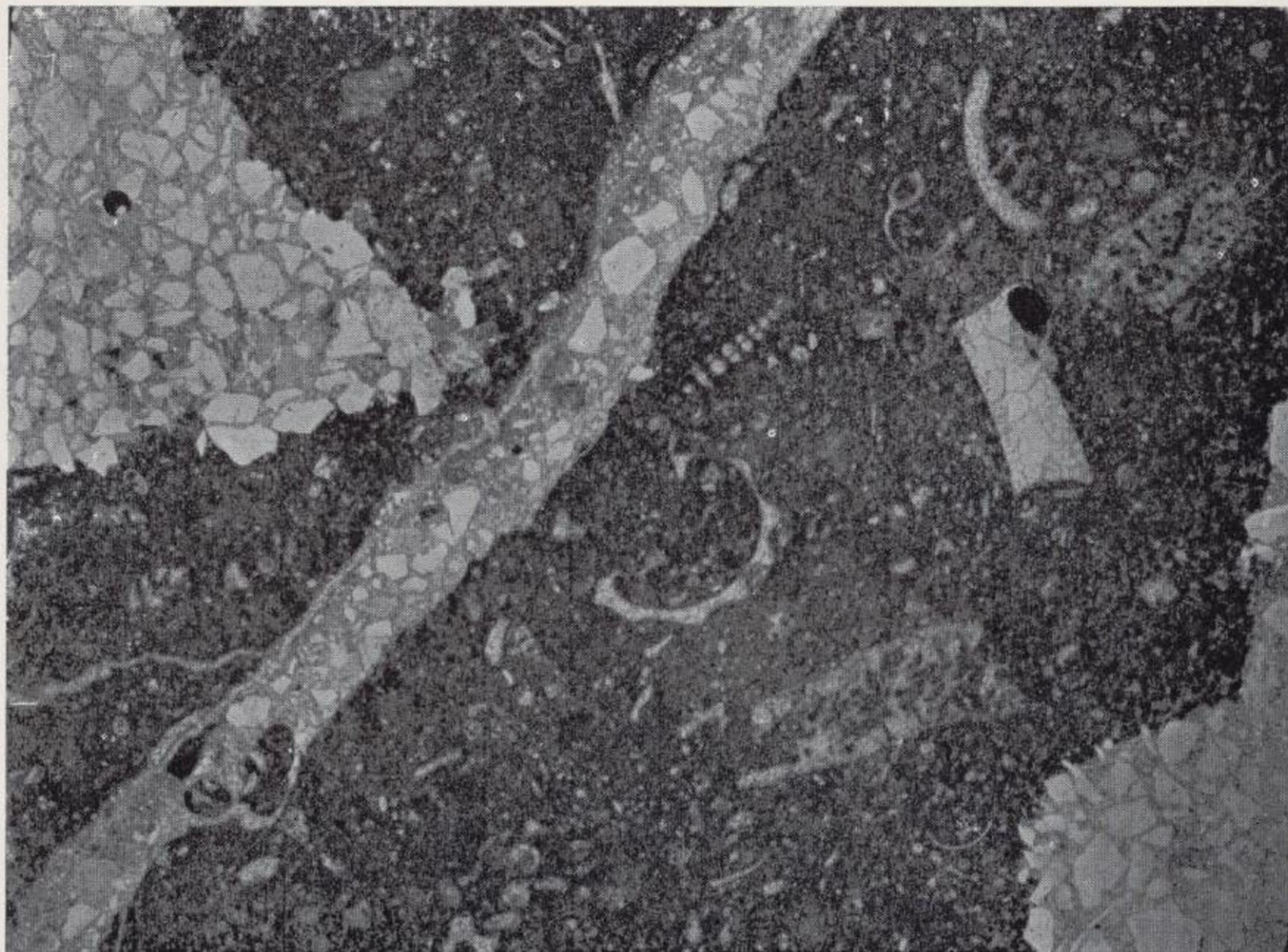


Fig. 41,  $\times 15$ .—Es una especie de brecha, con fragmentos de una caliza llena de Dasycladáceas y de otras calizas con Melobesias de tipo Eoceno, cementados todos los fragmentos por una arenisca con mucho cuarzo y cemento hialino.—TERCIARIO.

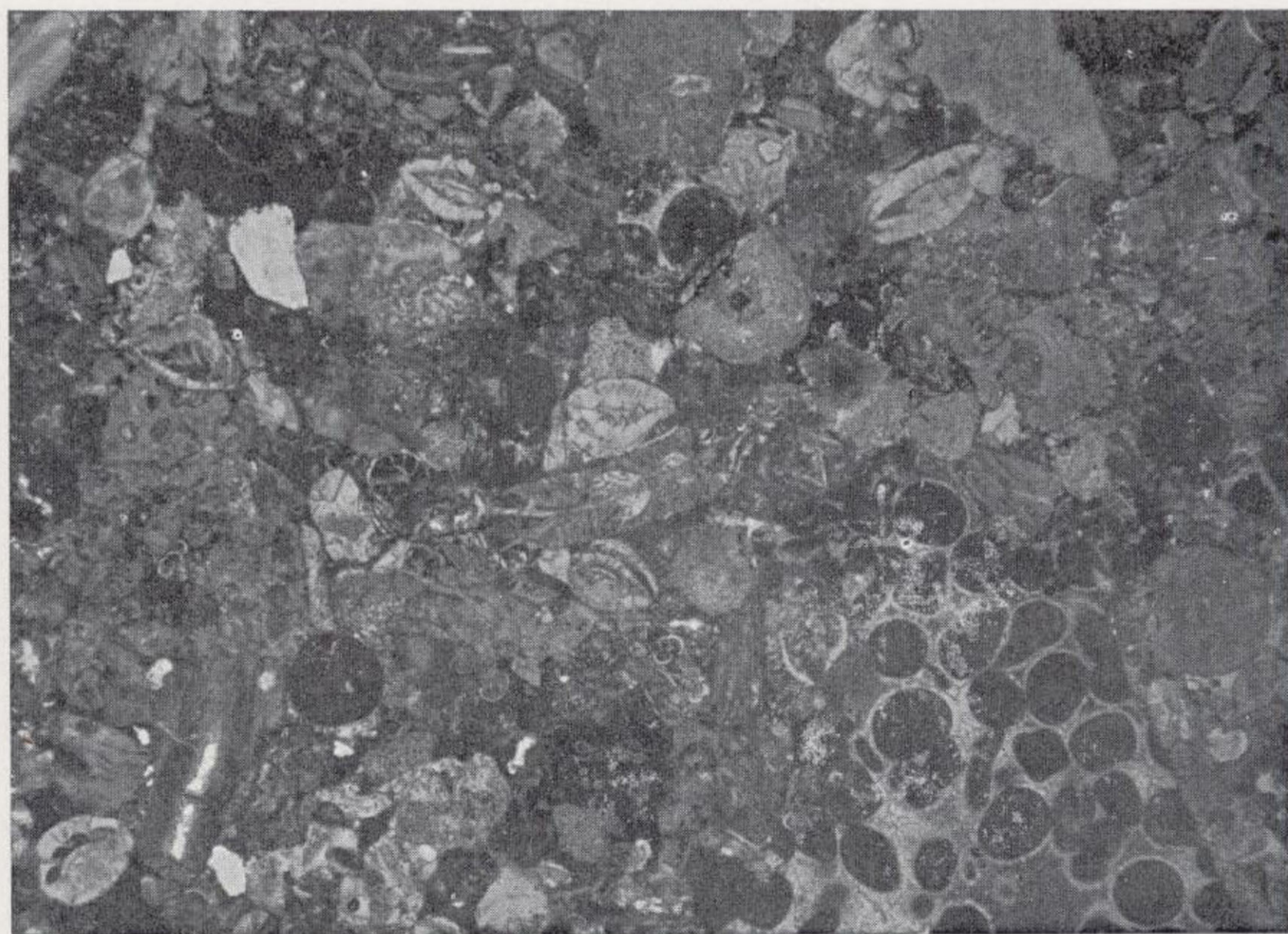


Fig. 42,  $\times 15$ .—La matriz es caliza, llena de cuarzo y de restos orgánicos: Equinodermos, trozos de Discocyclina, Operculina, Lepidocyclinas, Globigerinas, Melobesias, Briozoos y Balanus (algunos de estos fósiles pueden ser resedimentados).—OLIGOCENO.

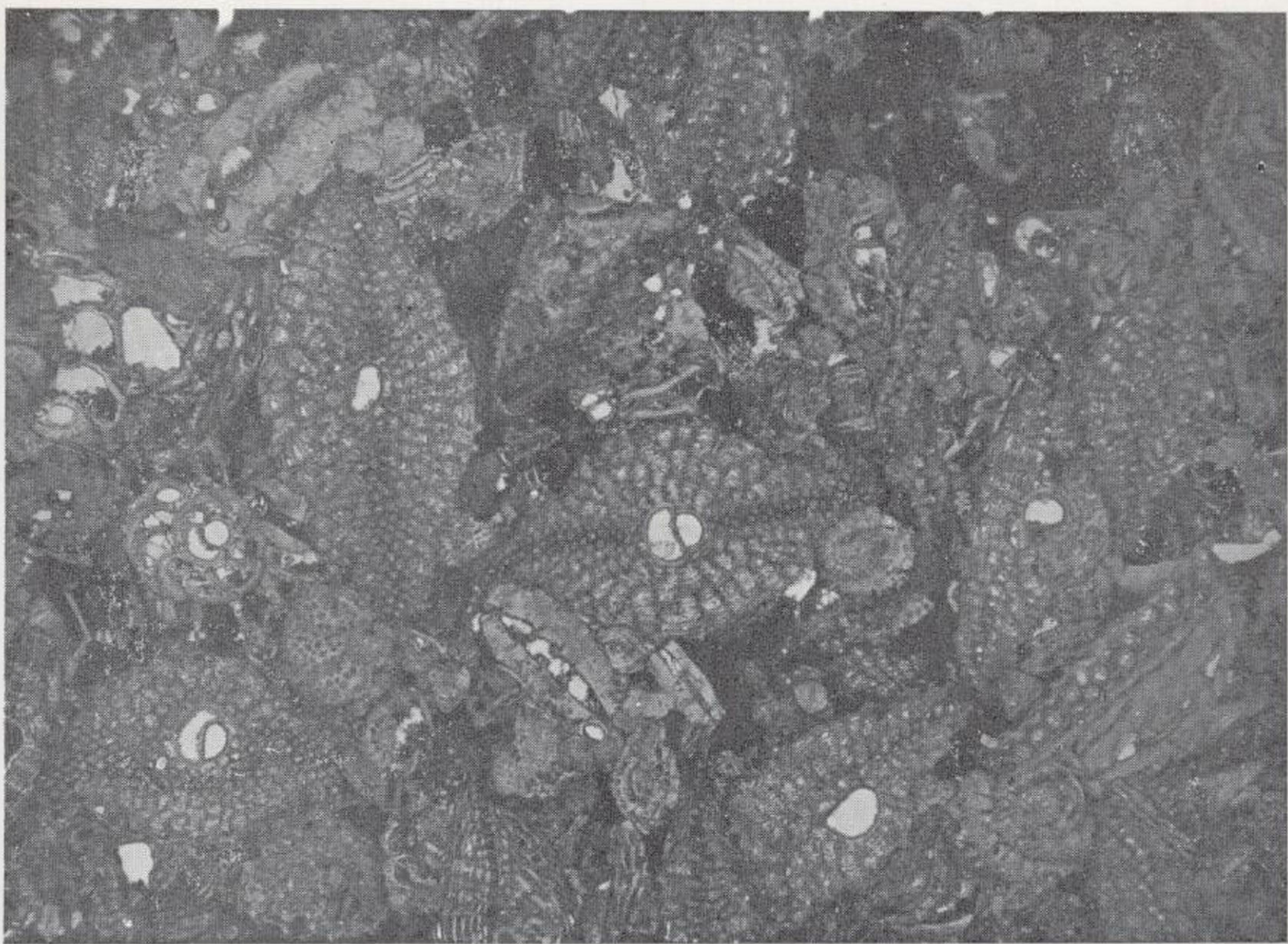


Fig. 43,  $\times 15$ .—La matriz es caliza y está llena de Eulepidinas (*E. dilatata* Michelotti), *Nephrolepidina tournoueri* Lem. y Douv., *Spirocypus*, ¿*Heterostegina*?, *Miogypsinoides complanata* (Schlumberger), *Amphistegina*, Briozoos, Melobesias y Globigerínidos.—OLIGOCENO. CHATTIENSE.

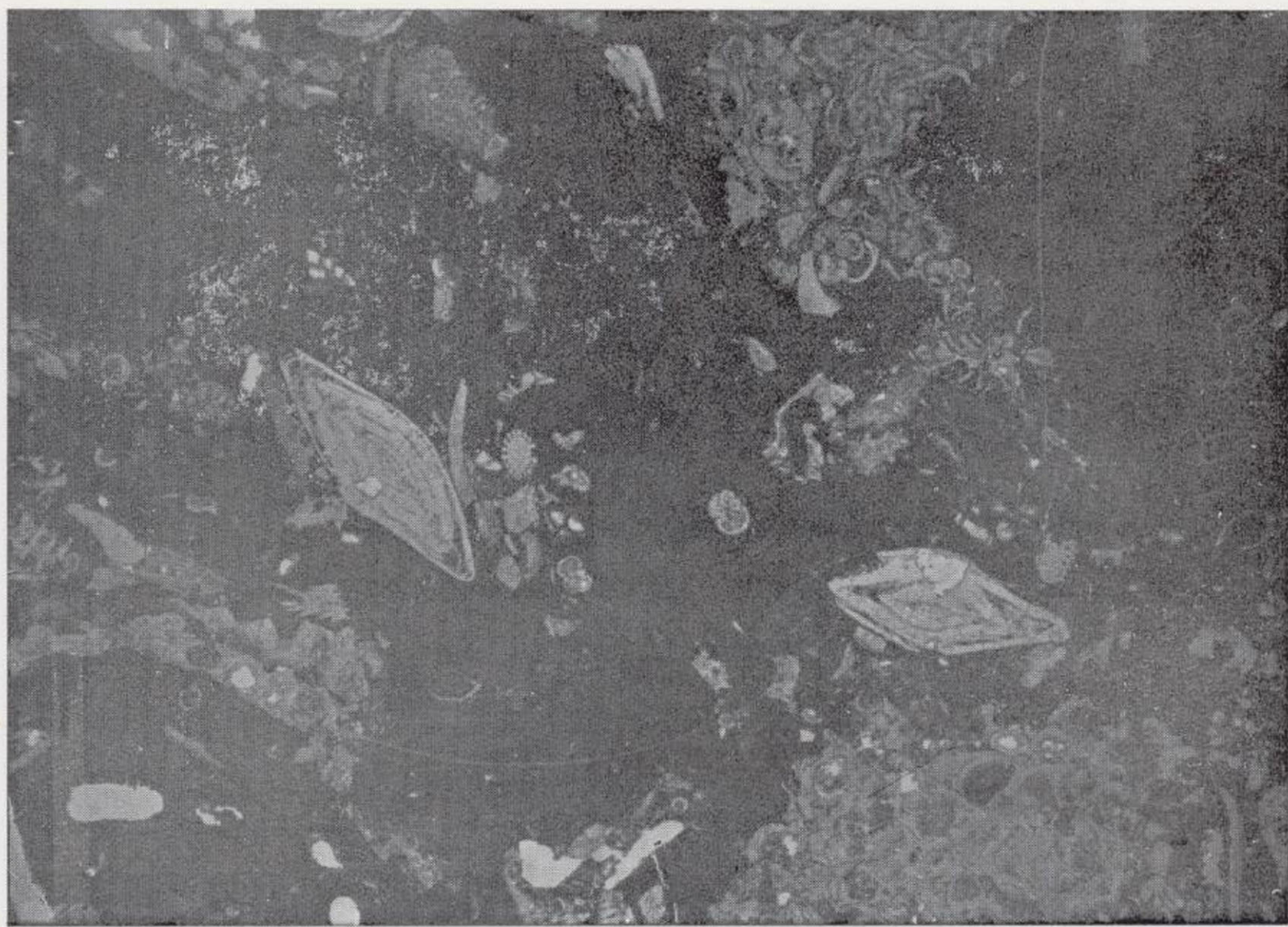


Fig. 44,  $\times 15$ .—Contienen mucho cuarzo y Melobesias, junto con fragmentos de Equinodermos, Lamelibranchios, Briozoos, Balanus, *Amphistegina*, *Elphidium* y Globotruncanas resedimentadas.—OLIGOCENO.

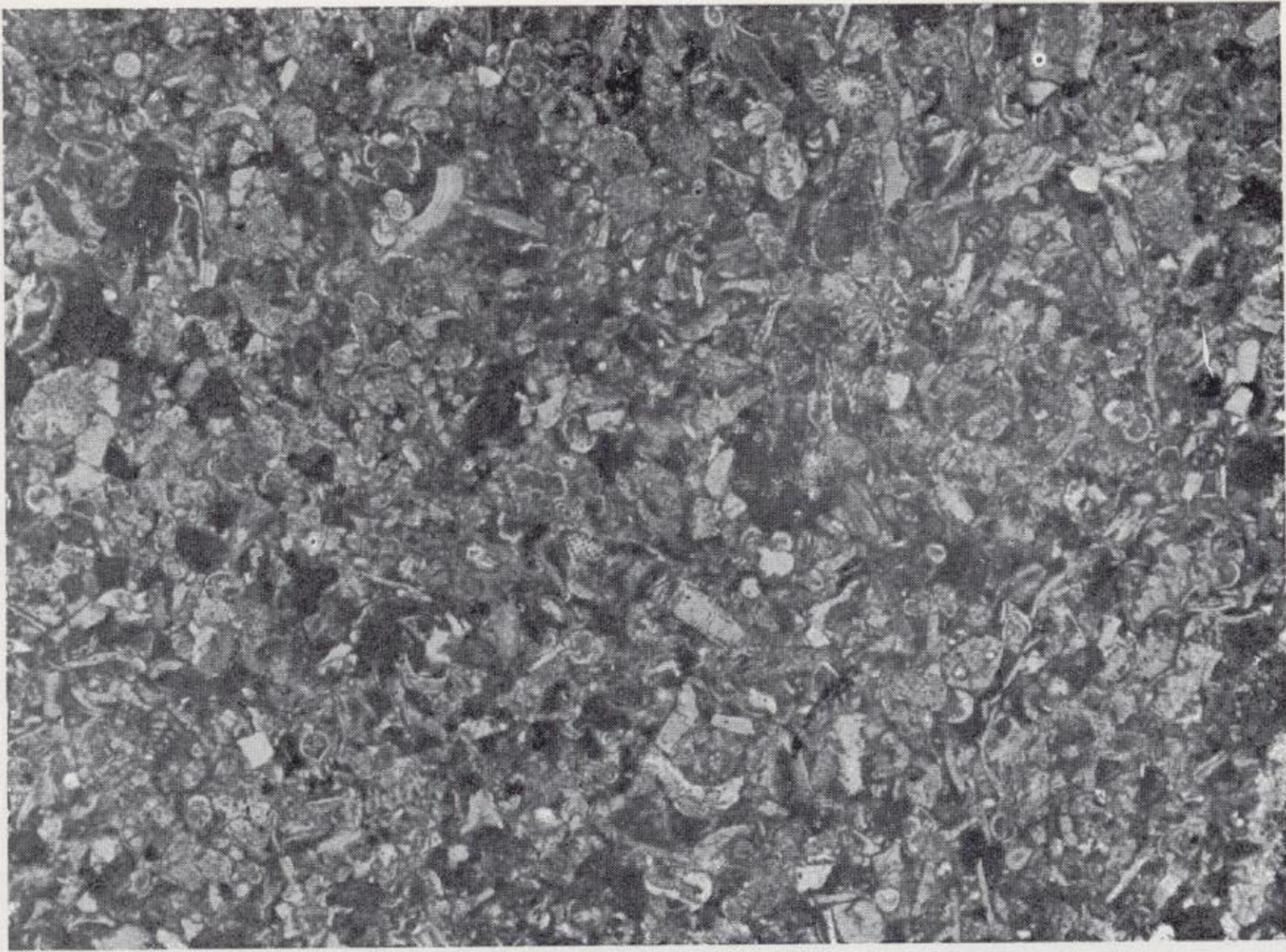


Fig. 45,  $\times 15$ .—Matriz caliza o margosa, con cuarzo y llena de restos: Melobesias, Amphistegina, Briozoos, Equinodermos, Lamelibranquios, Balanus, Spiroclypeus, Operculina, Globigerinas y Anomalínidos.—OLIGOCENO.

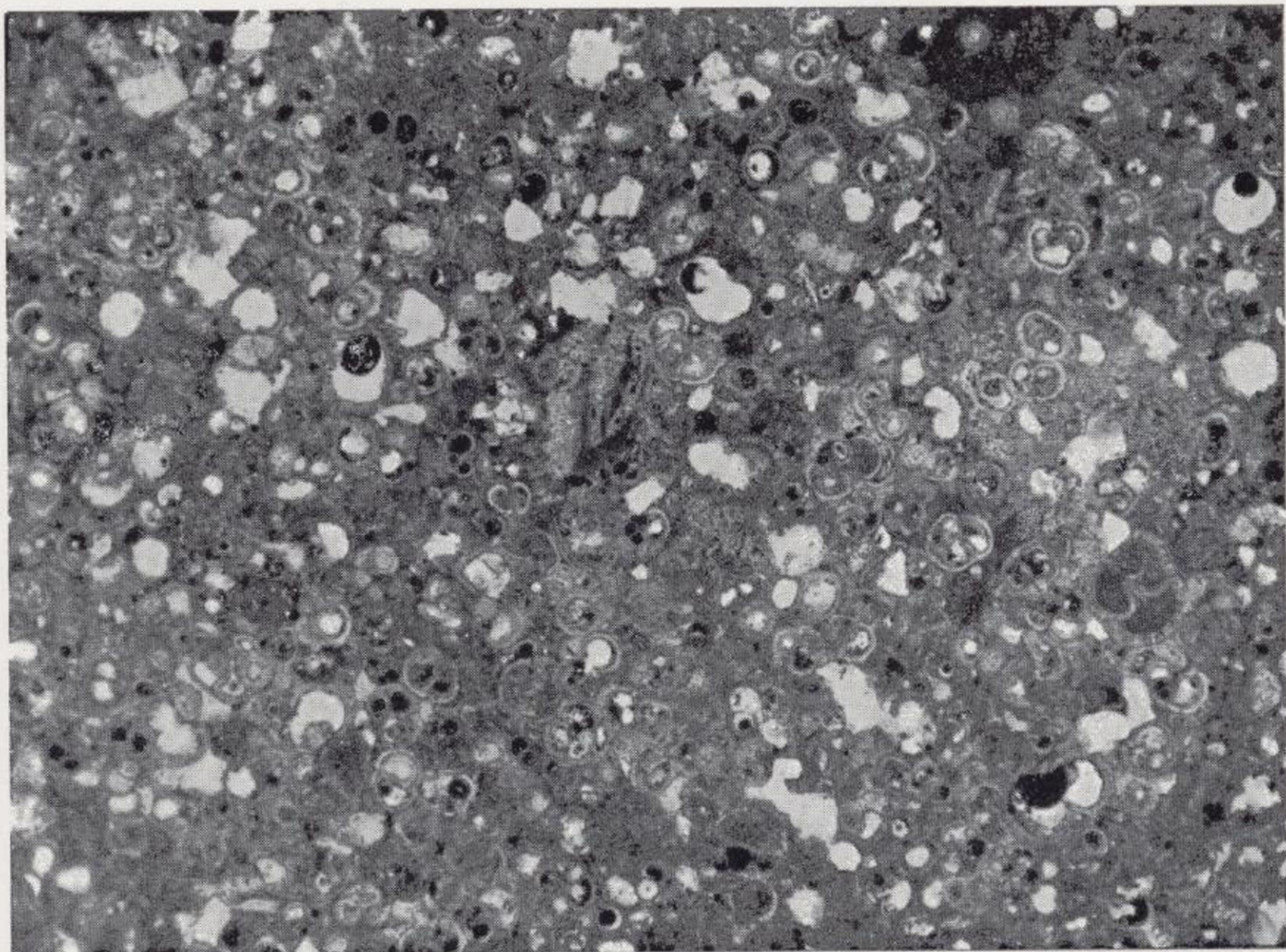


Fig. 46  $\times 15$ .—La matriz es caliza, con algo de cuarzo y glauconia, y enorme cantidad de Globigerínidos, acompañados por Globorotálidos, Lagénidos, Textuláridos, etc.—AQUITANIENSE.

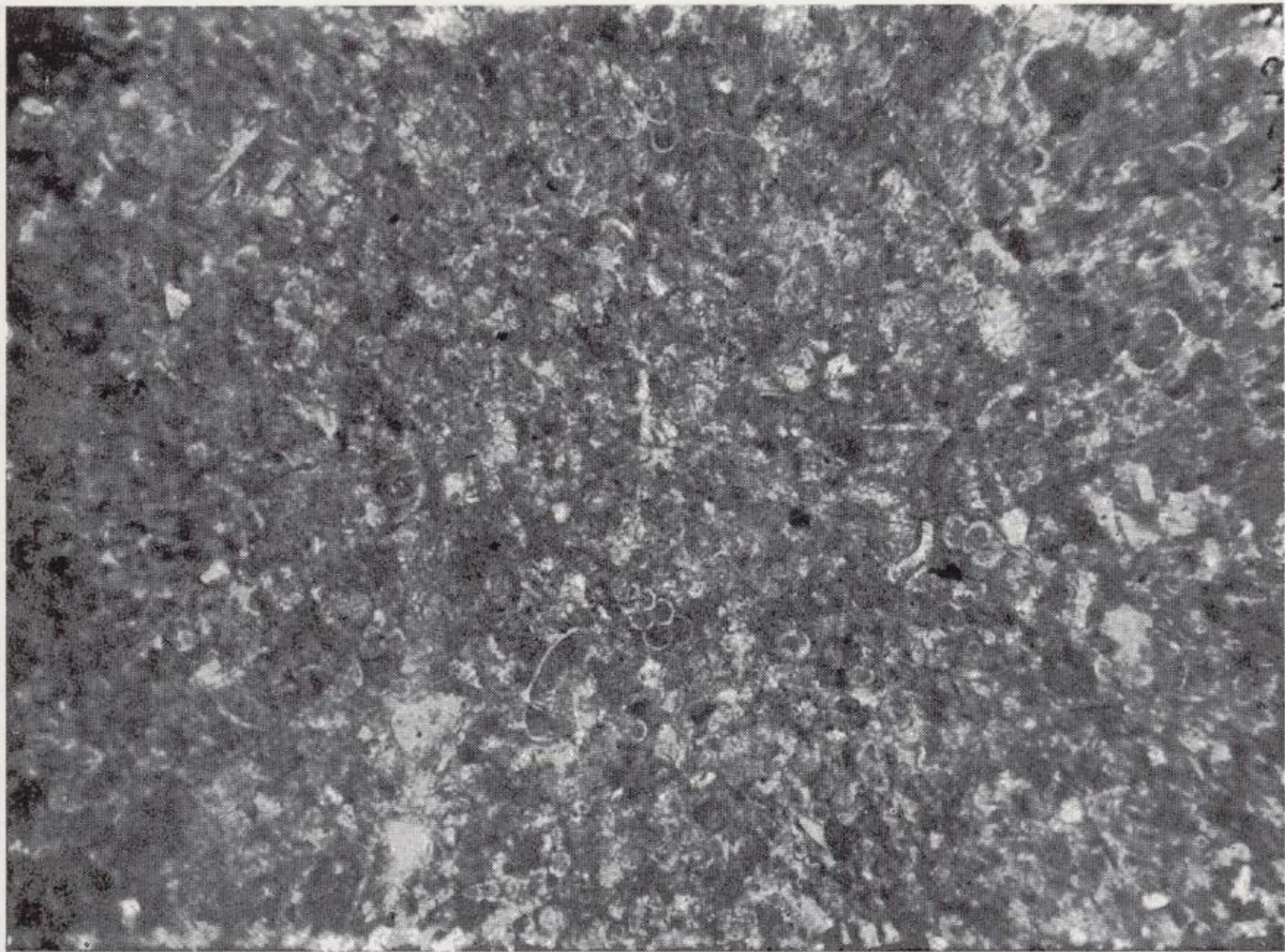


Fig. 47,  $\times 30$ .—La matriz es margosa, muy fina, con partículas de cuarzo, Globigerinidos, Globorotalias y Gumbelinas.—EOCENO MEDIO O SUPERIOR.

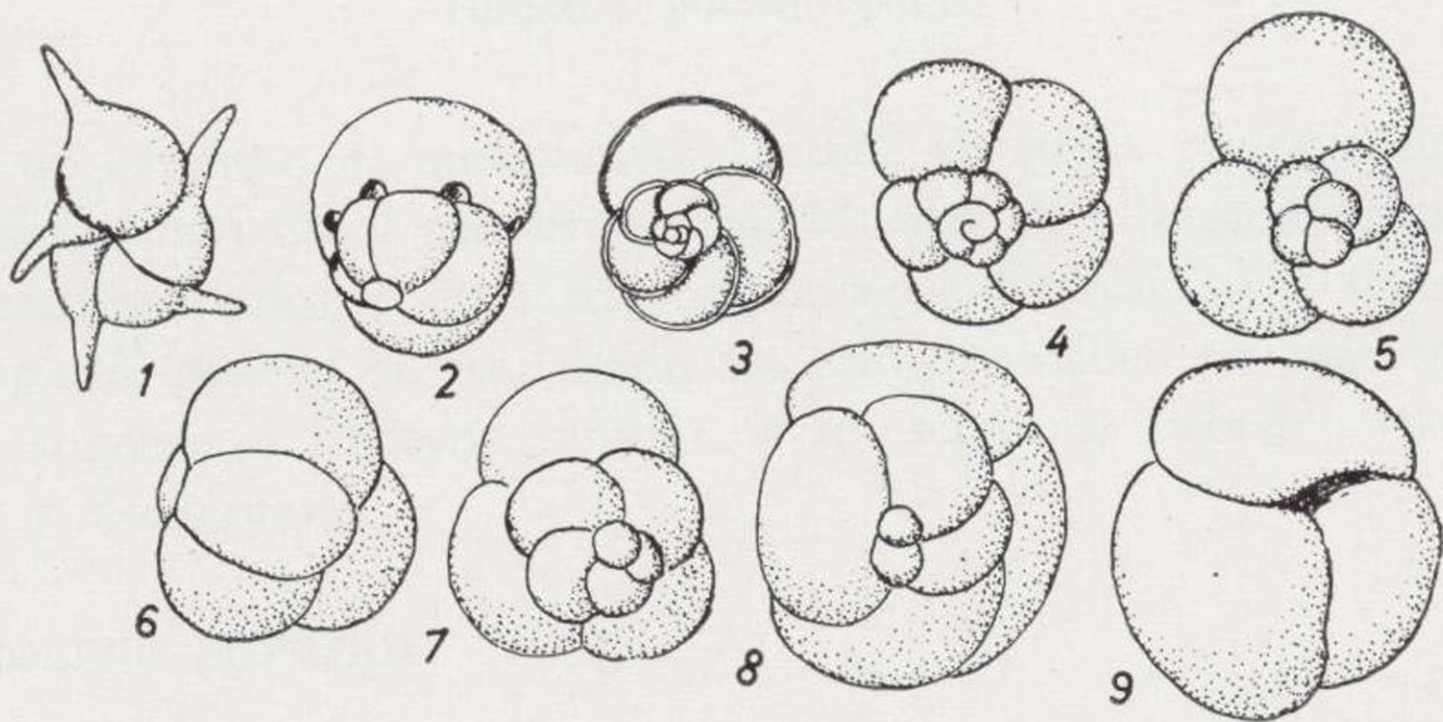


Fig. 48.—Especies pelágicas del levigado de la muestra 472 A (dibujos esquemáticos de los holotipos): 1, *Hantkenina alabamensis* Cushman; 2, *Globigerinoides semiinvoluta* Keidjer; 3, *Globorotalia cerroazulensis* (Cole); 4, *G. increbescens* (Bandy); 5, *Globigerina trilocularis* d'Orbigny; 6-7, *G. dissimilis* Cushman y Bermúdez; 8-9, *Globoquadrina tripartita* var. *rohri* (Bolli).—PRIABONIENSE.

*G. increbescens* (Bandy), *Globigerina trilocularis* d'Orbigny, *G. dissimilis* Cushman y Bermúdez y *Globoquadrina tripartita* var. *rohri* (Bolli), que definen perfectamente el Priabonense (fig. 48).

#### Mioceno inferior margoso

Continuando el proceso de sedimentación, progresivamente más fina, la serie oligocena areniscosa es sustituida por una formación de margas duras grises, ricas en Globigerínidos, que pueden darle a la roca cierto aspecto areniscoso. Es interesante anotar que en muchos puntos a lo largo del frente de cabalgamiento esta marga toma aspecto pizarroso, por dinamometamorfismo.

#### 19. ¿AQUITANIENSE? Y BURDIGALIENSE MARGOSOS.

Las muestras 442 A, 443 A, 454 A, 473 A y 532 A contienen tal cantidad de Globigerínidos que éstos forman la mayor parte de la roca (fig. 49).

Las muestras 100 LH, 117 A, 157 A, 175 A, 223 A, 234 A, 287 A, 289 A, 292 A, 354 A, 406 A, 411 A, 412 A, 424 A, 441 A, 443 A, 445 A, 451 A, 452 A, 464 A, 468 A, 489 A, 510 A, 529 A y 535 A contienen los Globigerínidos y demás restos en cantidad mucho menor (fig. 50).

Algunos de estos niveles margosos han podido ser levigados y los Foraminíferos nos dan una edad burdigaliense en casi todos los casos (fig. 51).

#### Terciario post-orogénico

Hay un conjunto de muestras, de carácter detrítico, correspondientes al recubrimiento horizontal post-orogénico. Muchas de ellas contienen microfósiles resedimentados y otras son francamente lacustres. De acuerdo con la estratigrafía general de Andalucía, los primeros deben ser más bajos, del Mioceno superior o Plioceno inferior, y los segundos deben pertenecer al Plioceno y Cuaternario.

#### 20. MIOCENO SUPERIOR.

Es nuestra opinión que el recubrimiento terciario horizontal debe empezar siendo marino, posiblemente tortoniense, pero ninguna de las muestras estudiadas es realmente profunda dentro de este relleno. Tan sólo las

muestras 35 LH y 216 A pueden pertenecer a la parte final del depósito marino.

La muestra 35 LH es una arenisca margosa gris, con *Rotalia beccarii* L. (figura 52), equivalente a la "caliza tosca" del Tortoniense superior.

La muestra 216 A tiene una parte margosa con *Globigerinoides trilobus* y *Globorotalia mayeri*, que deben ser resedimentados del Burdigaliense, y una parte de conglomerado, con cantos de calizas del Secundario y cemento de arenisca calcárea, con muy escasos Globigerínidos. Estos conglomerados pueden ser sedimentos del ambiente lagunar post-orogénico.

## 21. PLIOCENO-CUATERNARIO LAGUNAR.

Incluimos en este grupo todas las muestras con calcificaciones de algas de aspecto lagunar, muy frecuentemente formando costras, y otras estériles o con restos resedimentados.

Las muestras 22 LH, 36 LH, 40 LH, 13 A, 14 A, 25 A, 34 A, 53 A, 57 A, 104 A, 127 A, 279 A, 281 A, 290 A, 302 A, 316 A, 324 A, 325 A, 407 A, 439 A y 517 A son calizas recristalizadas pardas u ocre, pero siempre blanquecinas, con frecuentes oquedades irregulares, muchas calcificaciones de Algas y, a veces, Ostrácodos (fig. 53).

Las muestras 2 LH, 19 LH y 218 A son calizas rojizas con los mismos caracteres que las del grupo precedente, pero con algunos Foraminíferos, que debemos suponer resedimentados.

También están relacionadas con las anteriores las muestras 51 A y 303 A, de margas gris-blanquecinas, que contienen, junto con las algas, frecuentes Gasterópodos lacustres (fig. 54).

Las muestras 32 LH, 293 A y 470 A son de arenisca margosa blanquecina, con mucho cuarzo, fragmentos de calizas alteradas y frecuentes restos que deben ser resedimentados: Globigerínidos y fragmentos de Melobesias y de Discocyclínidos.

La muestra 326 A tiene los mismos caracteres detríticos y contiene restos arrastrados del Mioceno y Cretácico.

La 608 A presenta mezcla de elementos del Triás y del Eoceno y, al igual que las precedentes, forma parte del relleno horizontal, en su parte seguramente cuaternaria.

Las muestras 1 LH, 311 A y 527 A son margas areniscosas blancas, llenas de partículas finas de cuarzo, pero sin restos orgánicos claros; tan sólo finas esquirlas calizas de ¿Moluscos? También son de la parte superior, cuaternaria, del relleno horizontal.

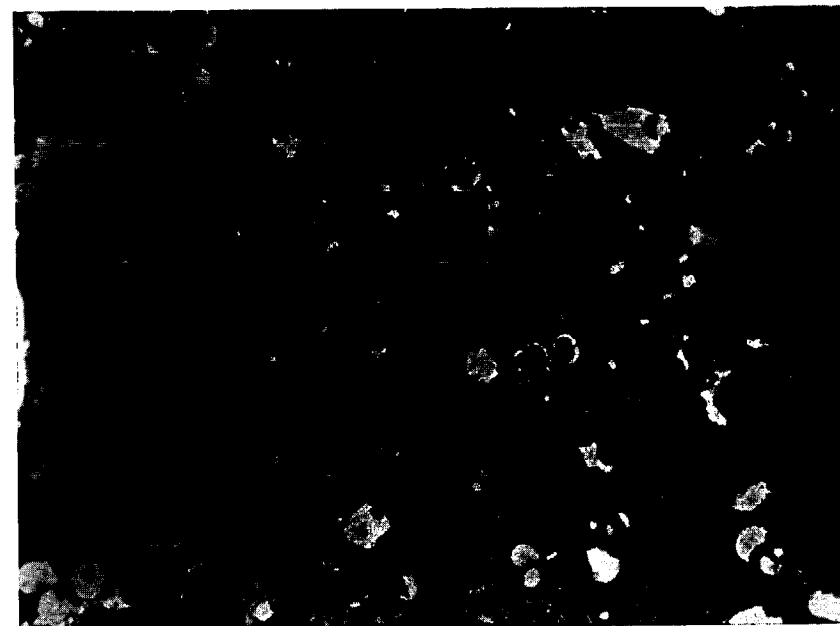


Fig. 49,  $\times 25$ .—La matriz es margosa y contiene un verdadero puré de Globigerínidos, acompañados por algunos otros Foraminíferos.—AQUITANIENSE-BURDIGALIENSE.



Fig. 50,  $\times 25$ .—La matriz es margosa y contiene frecuentes restos finos, en especial Globigerínidos, junto con espículas, Radiolarios, Lagénidos, Bulminidos, etc.—BURDIGALIENSE.



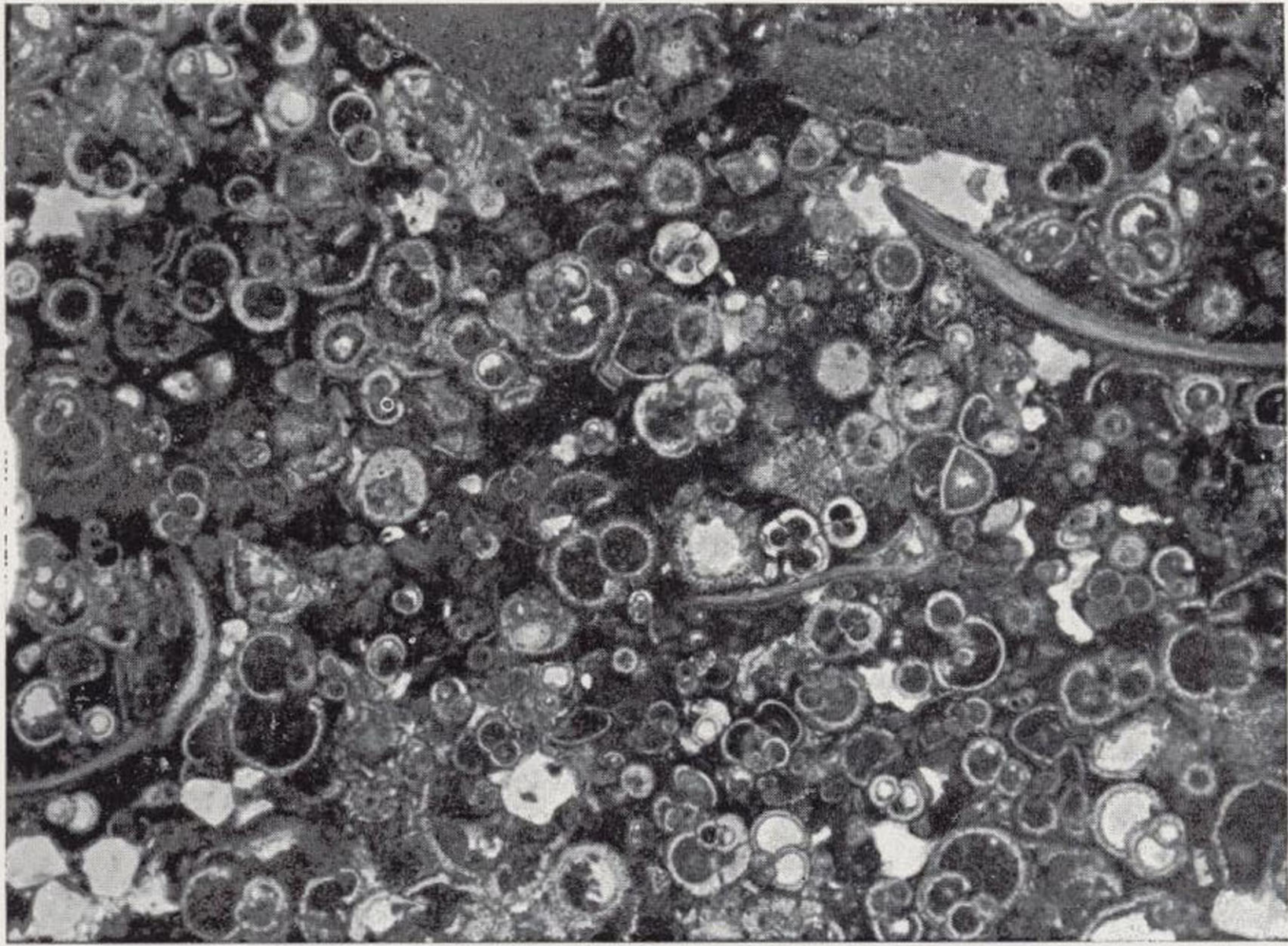


Fig. 49,  $\times 25$ .—La matriz es margosa y contiene un verdadero puré de Globigerínidos, acompañados por algunos otros Foraminíferos.—AQUITANIENSE-BURDIGALIENSE.

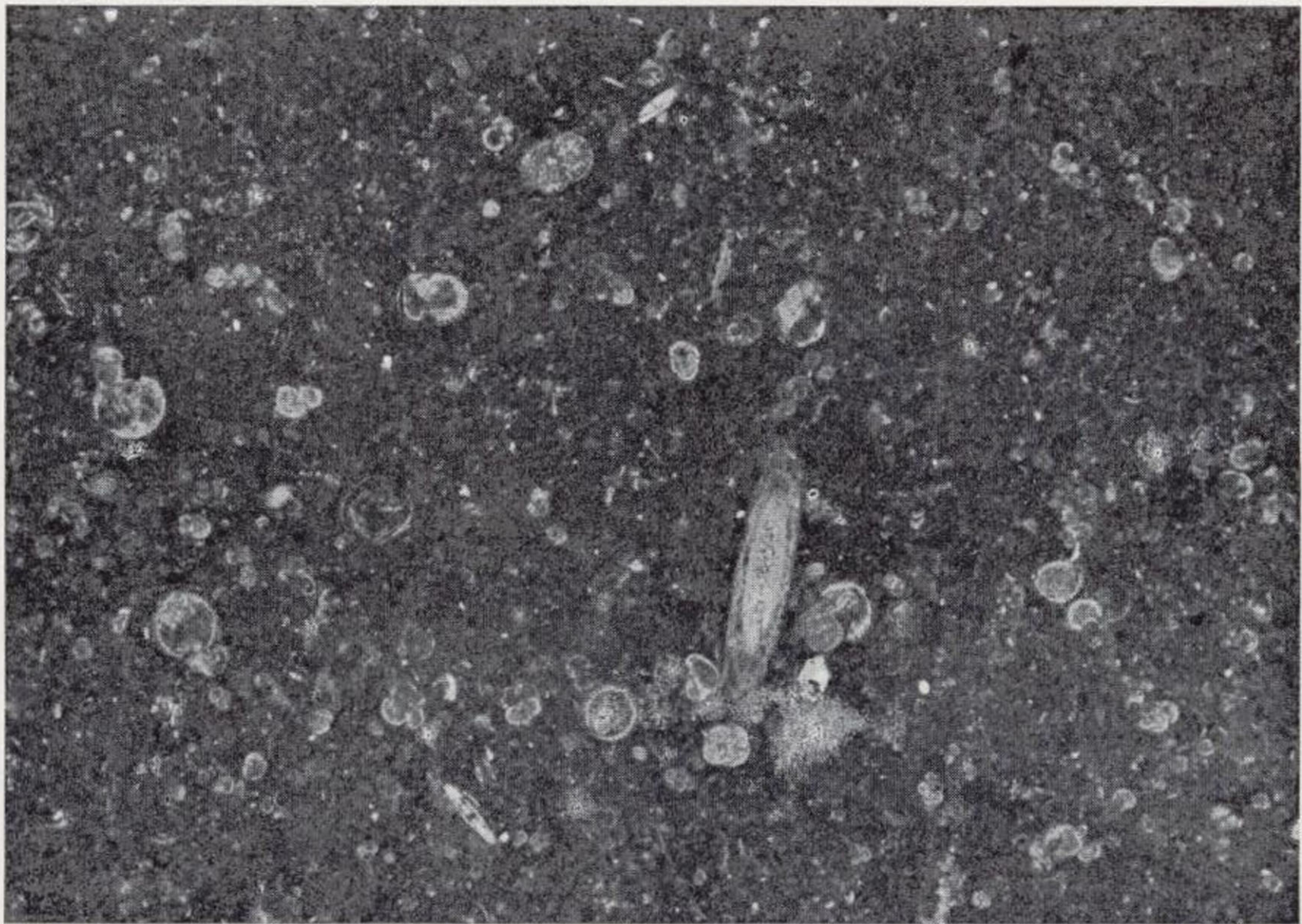


Fig. 50,  $\times 25$ .—La matriz es margosa y contiene frecuentes restos finos, en especial Globigerínidos, junto con espículas, Radiolarios, Lagénidos, Bulimínidos, etc.—BURDIGALIENSE.

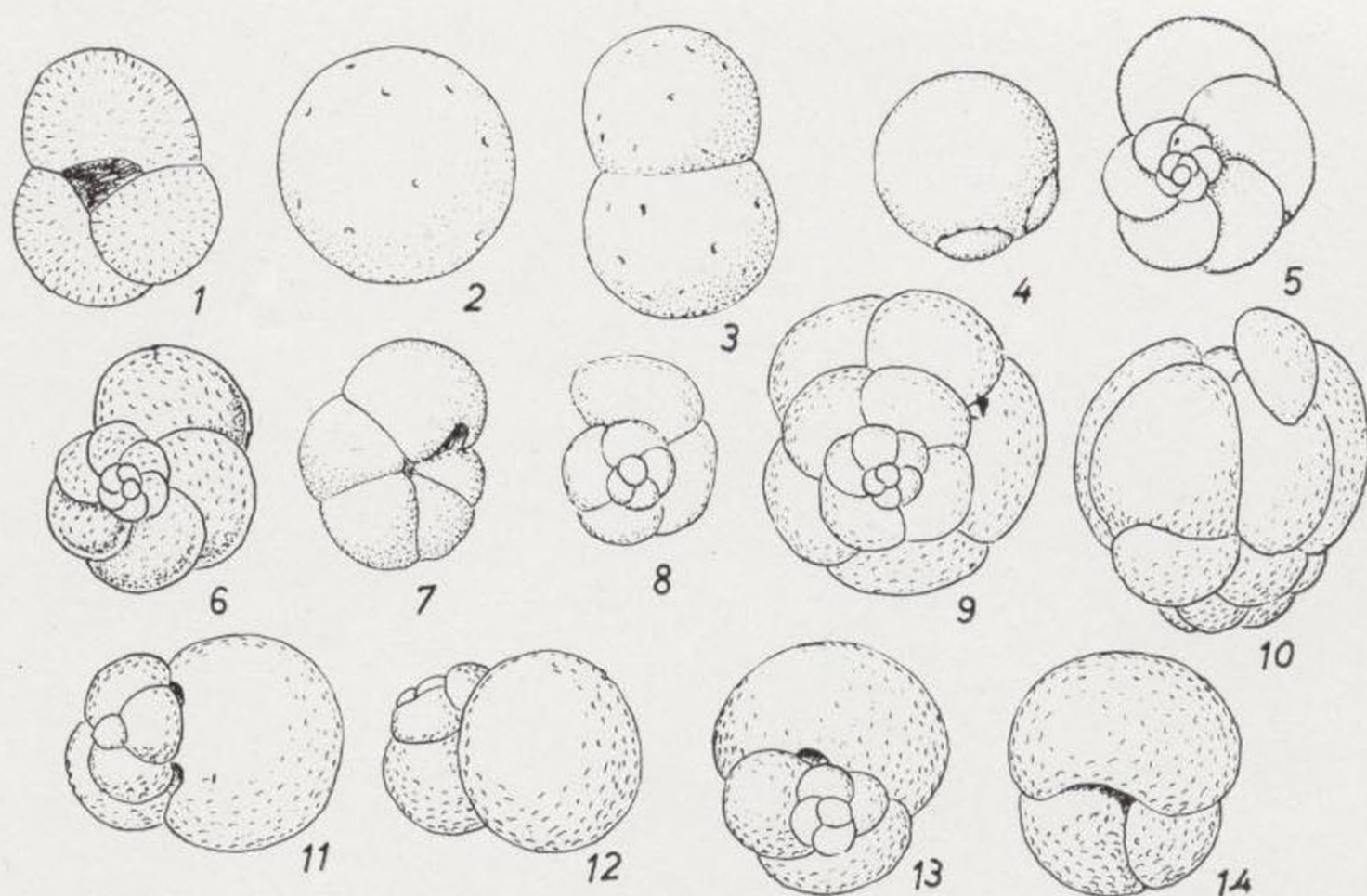


Fig. 51.—Especies pelágicas del levigado de la muestra 529 A: 1, *Sphaeroidinella seminulina* (Schwager); 2, *Orbulina universa* d'Orbigny; 3, *O. bilobata* (d'Orbigny); 4, *O. suturalis* Bronnimann; 5, *Globorotalia fohsi* Cushman y Ellisor; 6, *G. menardii* var. *praemenardii* Cushman y Stainforth; 7, *G. mayeri* Cushman y Ellisor; 8, *Globoquadrina dehiscens* (Chapman, Parr y Collins); 9-10, *G. altispira* (Cushman y Jarvis); 11-12, *Globigerinoides trilobus* (Reuss); 13-14, *G. bisphaericus* Todd.—BURDIGALIENSE INFERIOR.

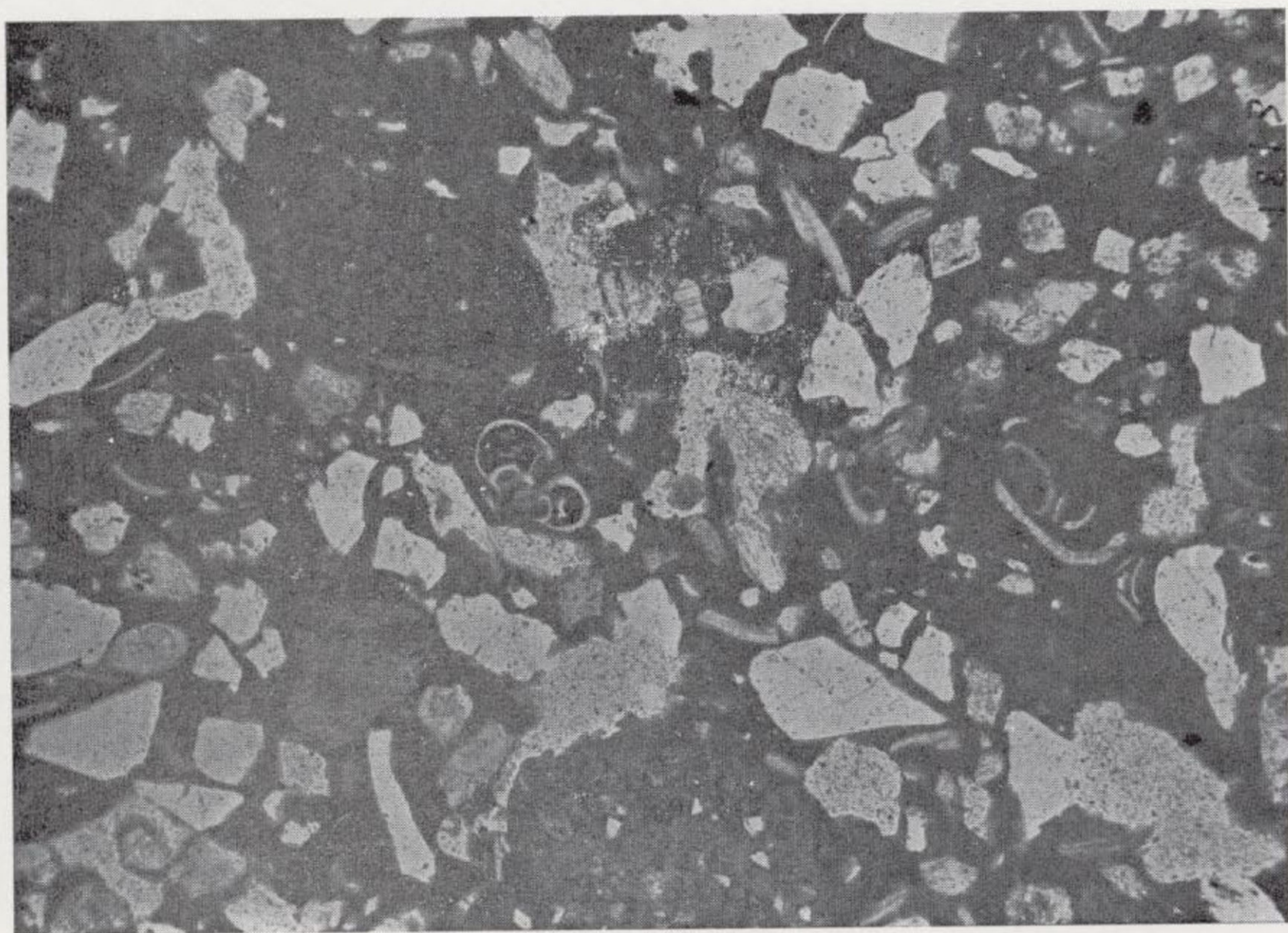


Fig. 52,  $\times 30$ .—La matriz es margosa, con cuarzo muy abundante, fragmentos de rocas metamórficas, Ostrácodos y numerosas Rotalias. — TORTONIENSE SUPERIOR.

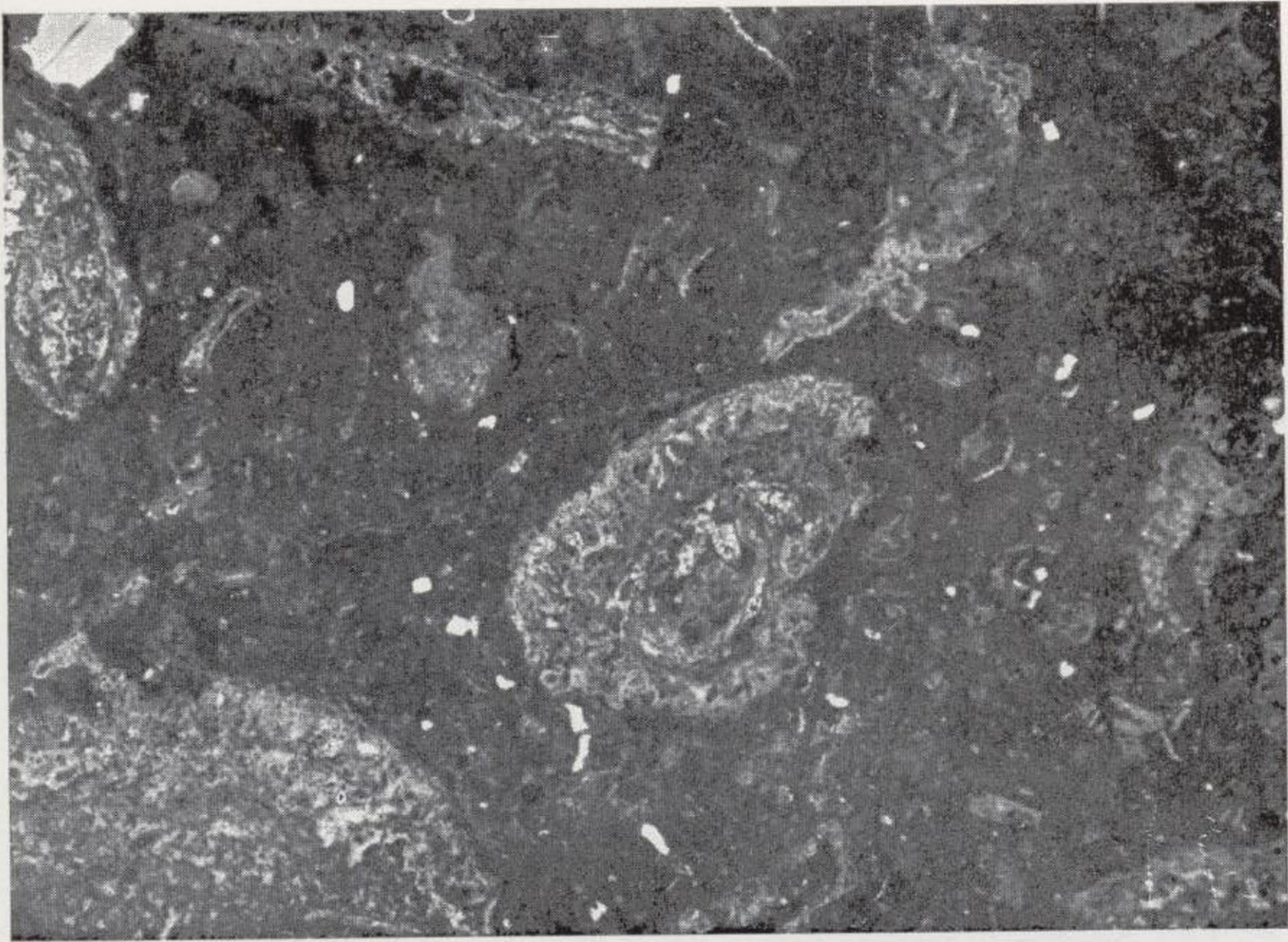


Fig. 53,  $\times 15$ .—La matriz es caliza y contiene muchas calcificaciones de Clorofíceas y Cianofíceas.—PLIOCUATERNARIO LAGUNAR.



Fig. 54,  $\times 15$ .—La matriz es margosa, llena de calcificaciones de Algas, acompañadas por restos de Ostrácodos, Limnaea, Planorbis y otros Gasterópodos.—PLICCUATERNARIO LACUSTRE. ¿VILAFRANQUIENSE?

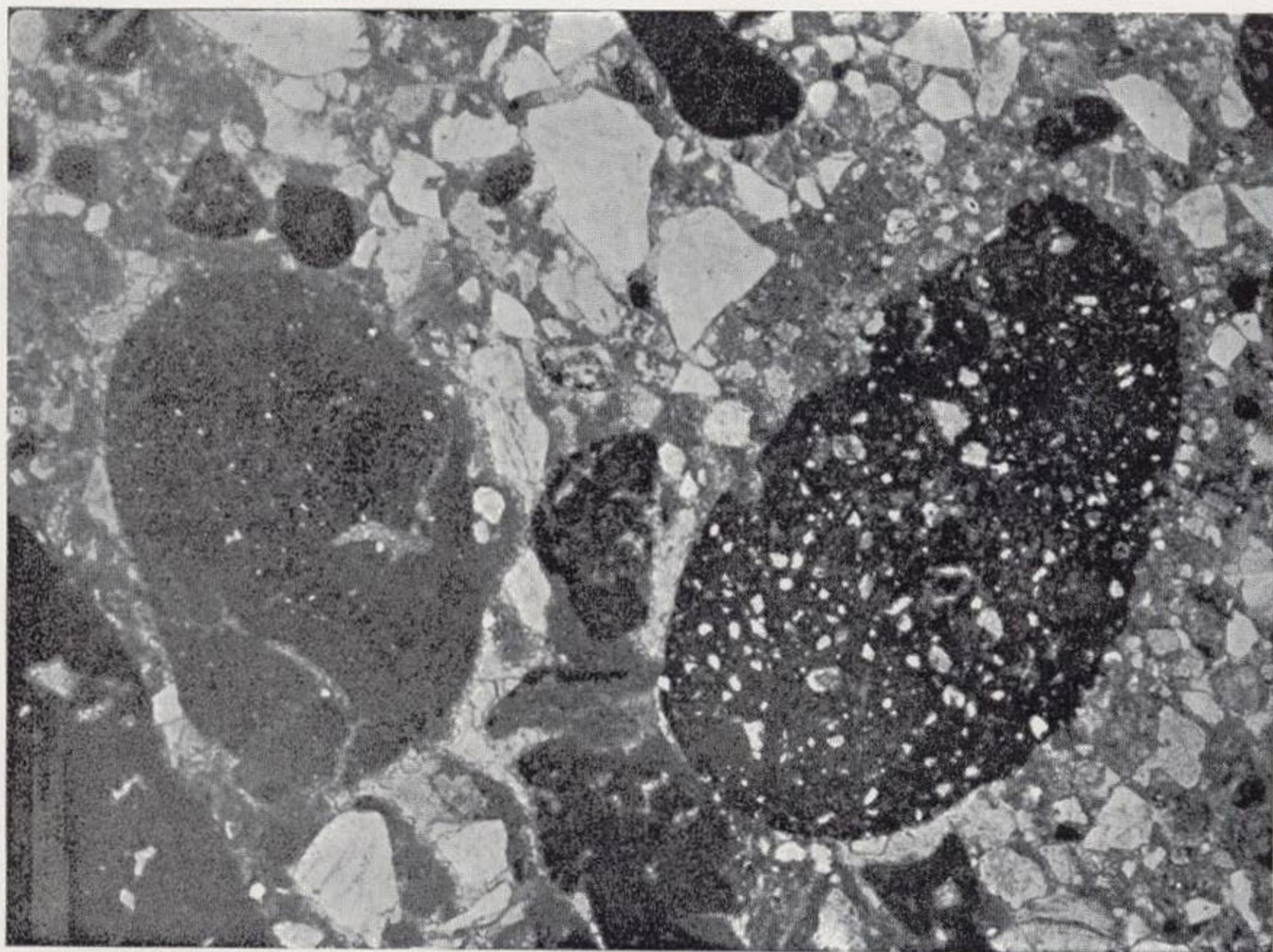
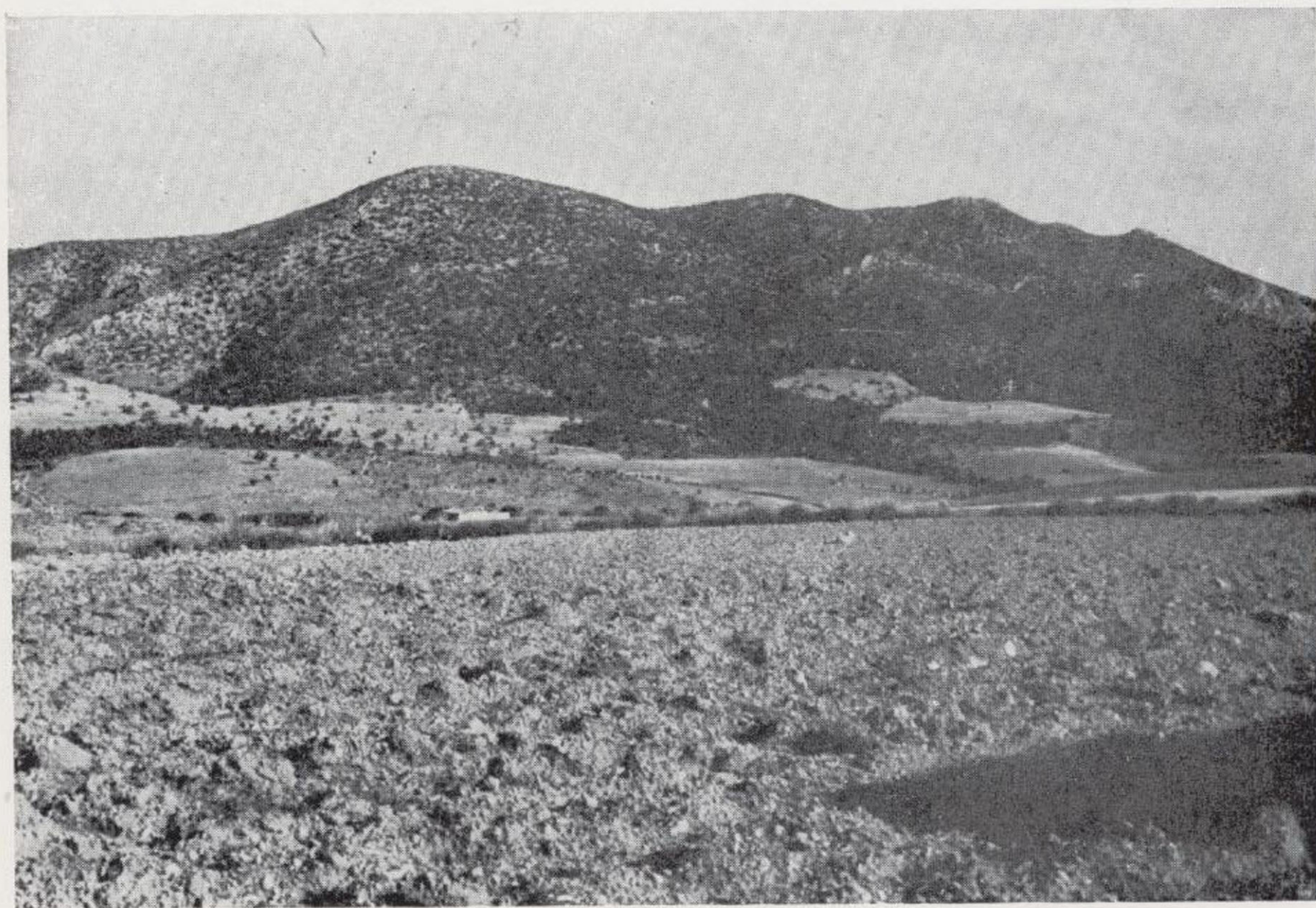


Fig. 55,  $\times 15$ .—Aspecto del conglomerado post-orogénico, cuyo cemento es de tipo areniscoso. — PLIOCUATERNARIO LACUSTRE. ¿VILLAFRANQUIENSE?

Finalmente, tenemos varias muestras de conglomerados, con cantos calizos muy bien rodados, cuyo cemento es, a veces, idéntico a la "costra" caliza de ambiente desértico tan común en el Cuaternario. Estos conglomerados deben ser pliocenos o cuaternarios (considerados por diversos autores como villafranquienses), y a ellos corresponden las muestras 18 LH, 33 LH, 15 A, 72 A, 114 A, 170 A, 197 A, 239 A, 311 A, 470 A, 525 A y 677 A. Todos ellos tienen un cemento margoso-areniscoso ocre o rojizo y los cantos son exclusivamente calizos (fig. 55).



A.—En último término, vertiente SE. del macizo de La Sagra. En primer término, retazos también del Jurásico subbético corrido.



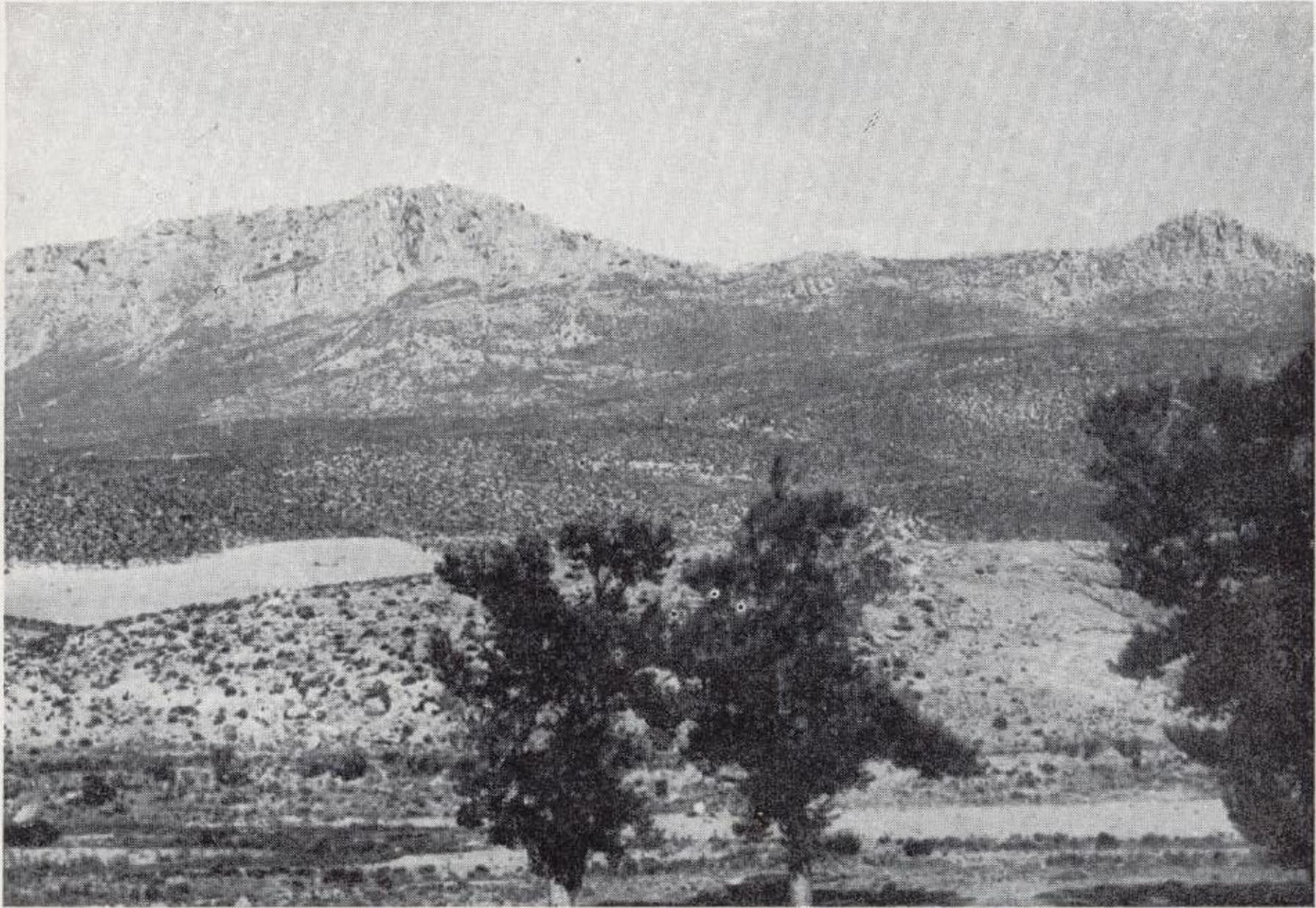
B.—Aspecto de la Sierra de Montilla, del Jurásico subbético.



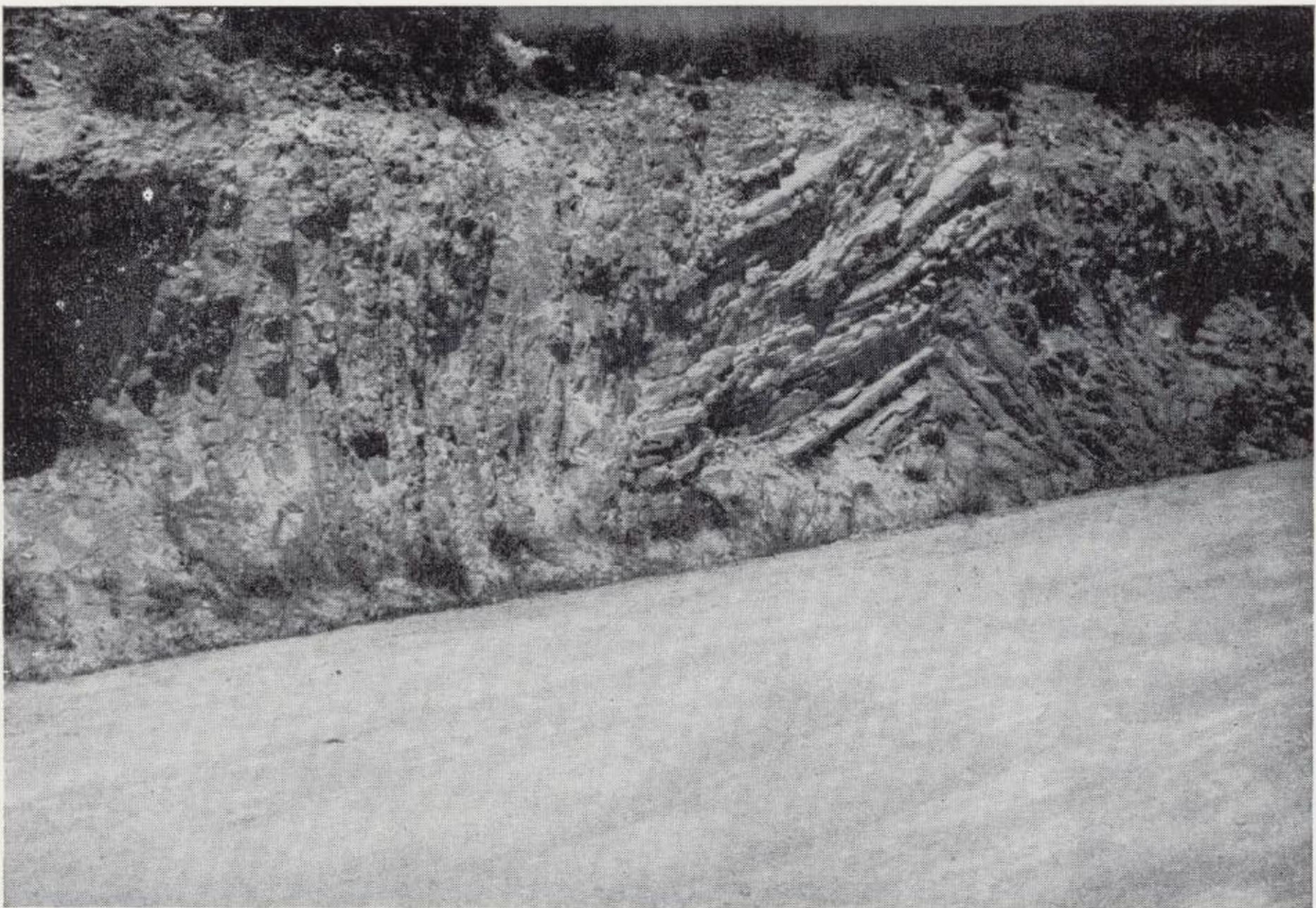
C.—Sierra Bermeja, al N. de Huéscar. Jurásico subbético relativamente tranquilo.



D.—Al fondo, Sierra de Marmolance, formada por calizas nummulíticas discordantes sobre el Cretáceo.



E.—En último término, terminación septentrional de la Sierra de Marmolance. En primer término, asomos del Cretáceo margoso infrayacente.

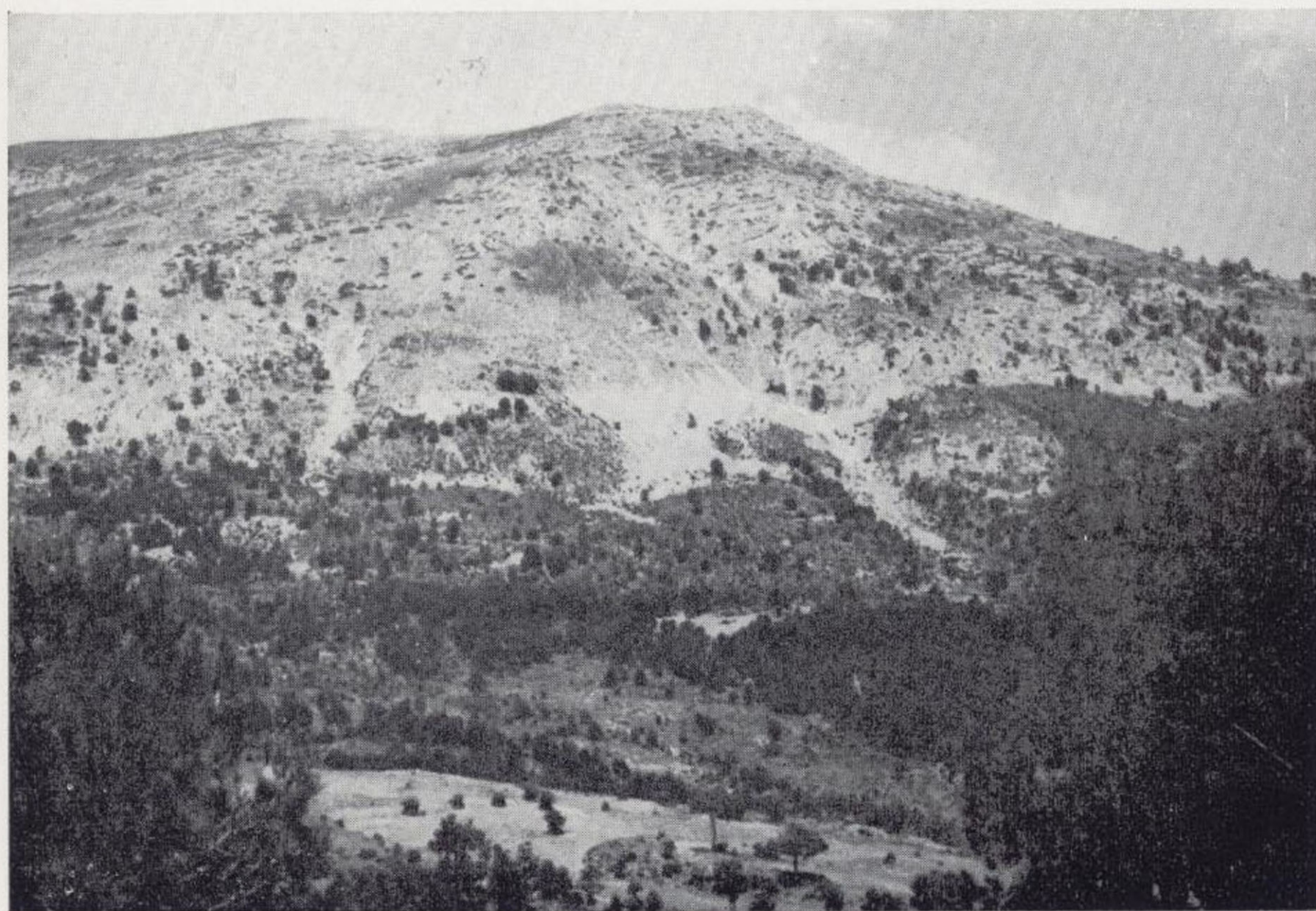


F.—Km. 11 de la carretera Huéscar-Santiago de la Espada. Violentos pliegues en margo-calizas del Jurásico alto.

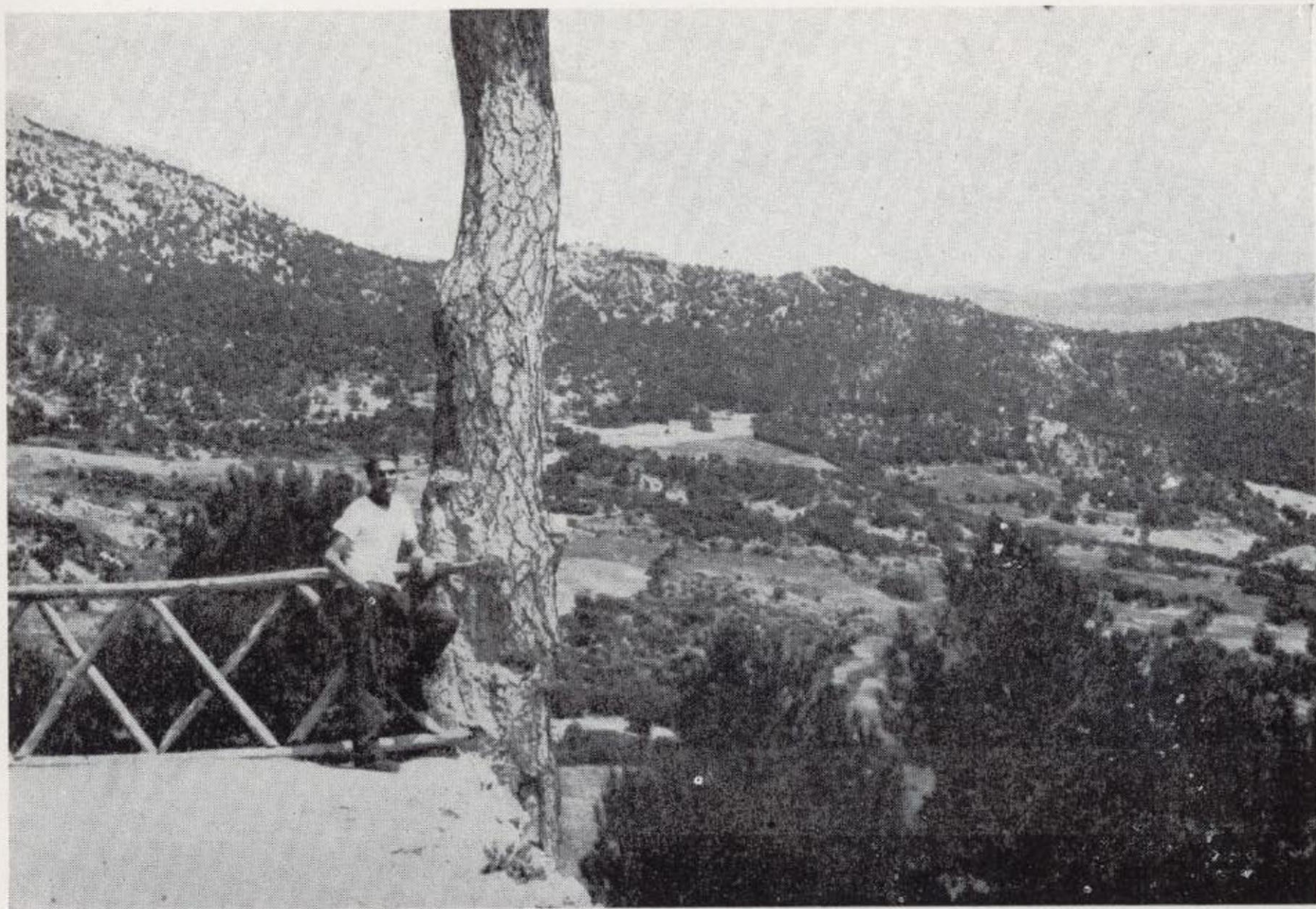




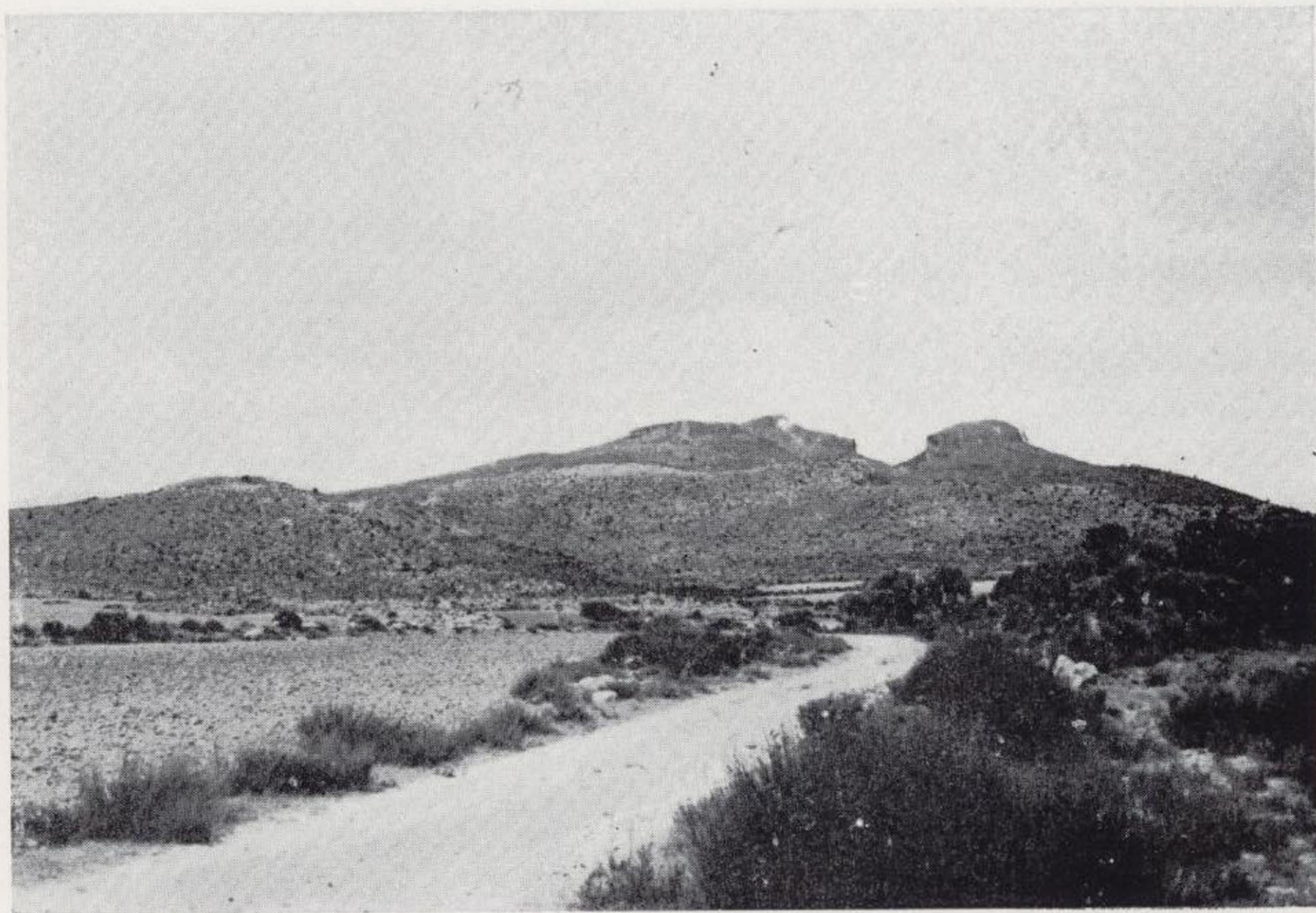
G.—Vertiente oriental de la Sierra Seca, con su Prebético regularmente plegado.



H.—Terminación NE. en forma anticlinaloide del macizo de La Sagra propiamente dicho. A la derecha, importante fractura.



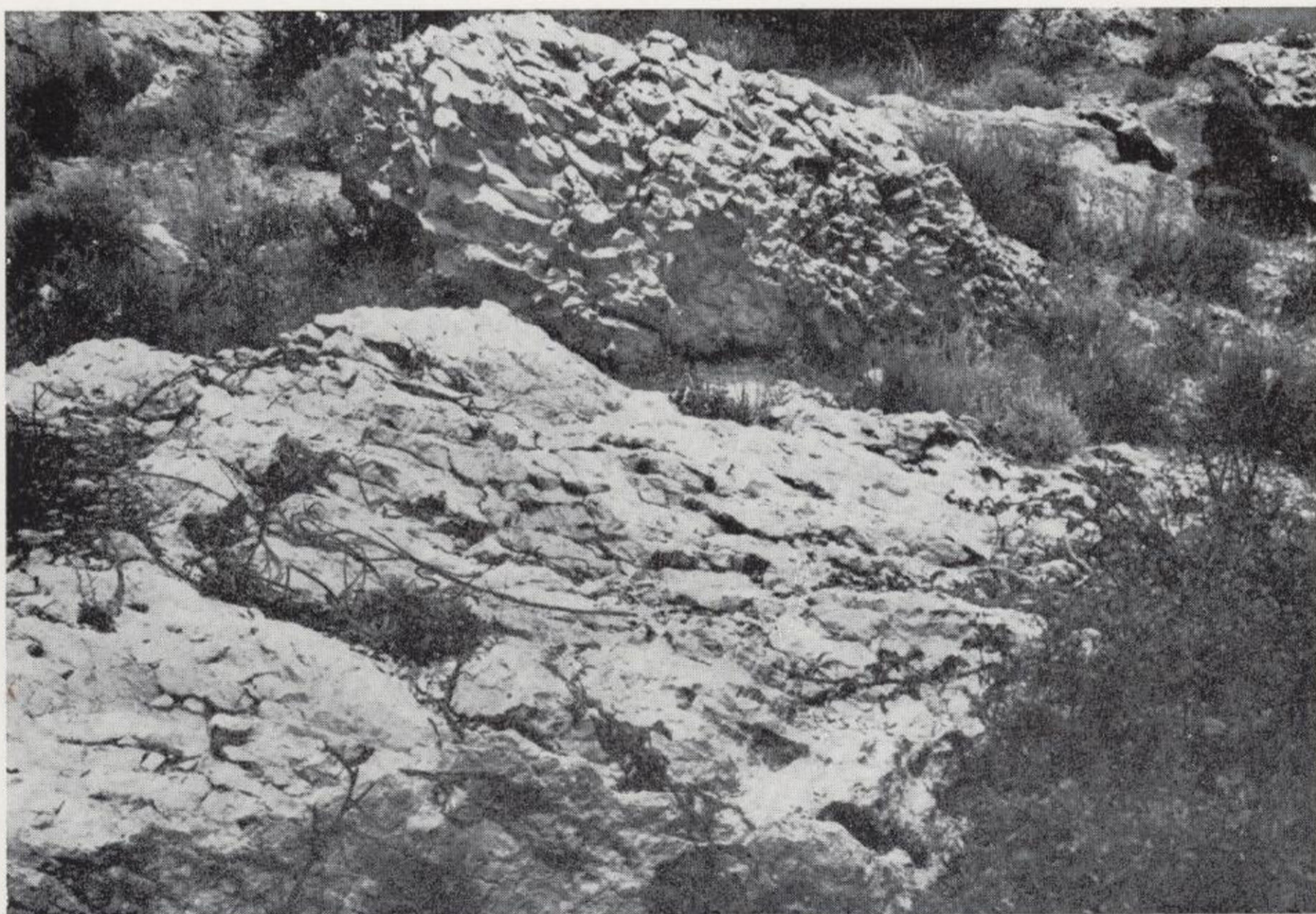
I.—Prolongación de La Sagra hacia el E. En primer término, terrenos recubiertos en los que se encuentran mogotes desgajados del Lías subbético, y afloramientos prebéticos por encima de los cuales pasó La Sagra.



J.—Estratos miocenos prebéticos suavemente plegados al NE. de la Ermita de las Santas.



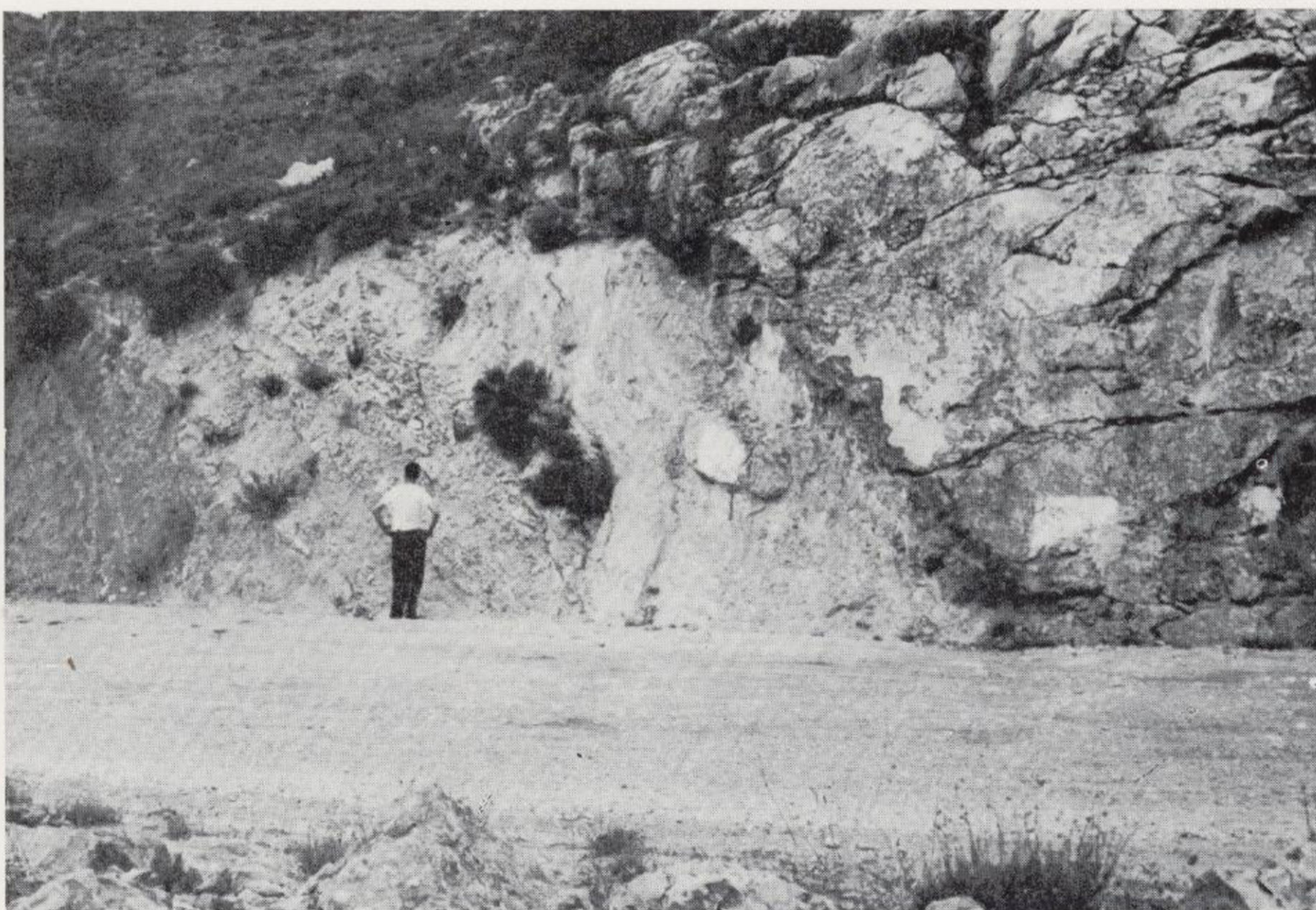
K.—Al fondo, frente norte terminal del Jurásico subbético al O. de La Puebla de Don Fadrique.



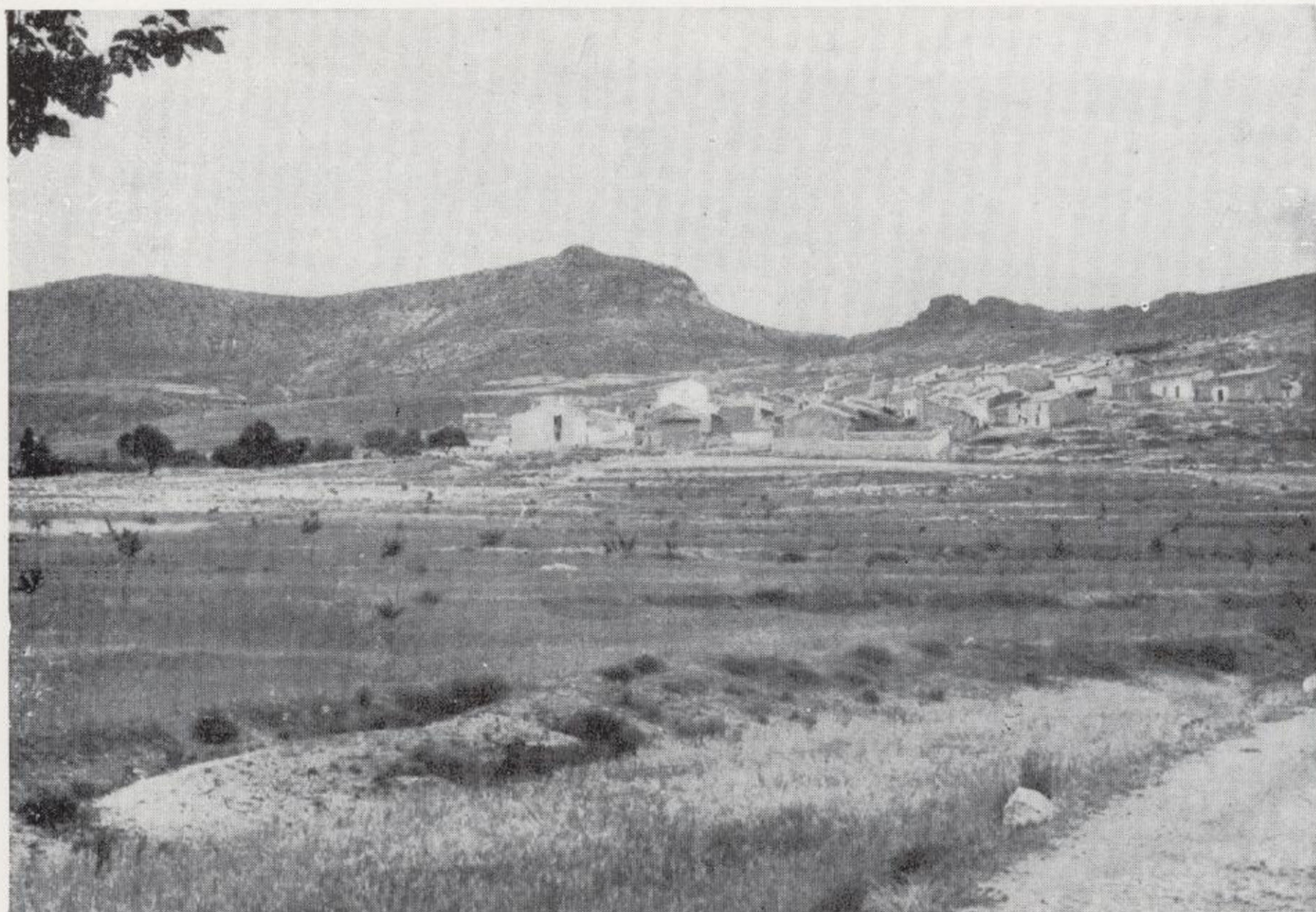
L.—Km. 3 de la carretera que sale de La Puebla hacia el NO. Peculiar estratificación algo apizarrada de la caliza miocena prebética.



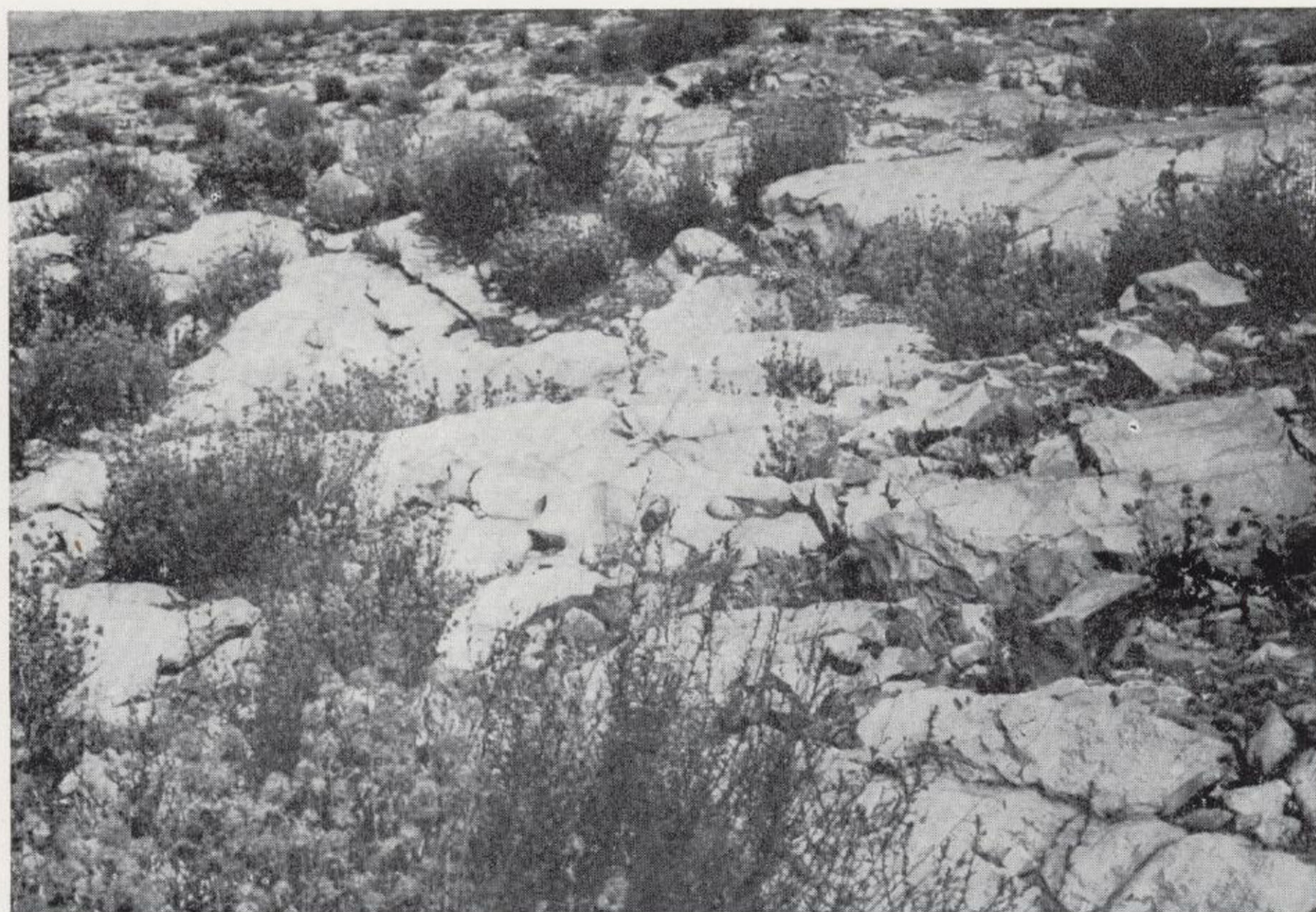
M.—Vista de conjunto de la misma roca y en el mismo sitio que la fotografía anterior. Suave buzamiento hacia la derecha, con otros importantes sistemas de diaclasa.



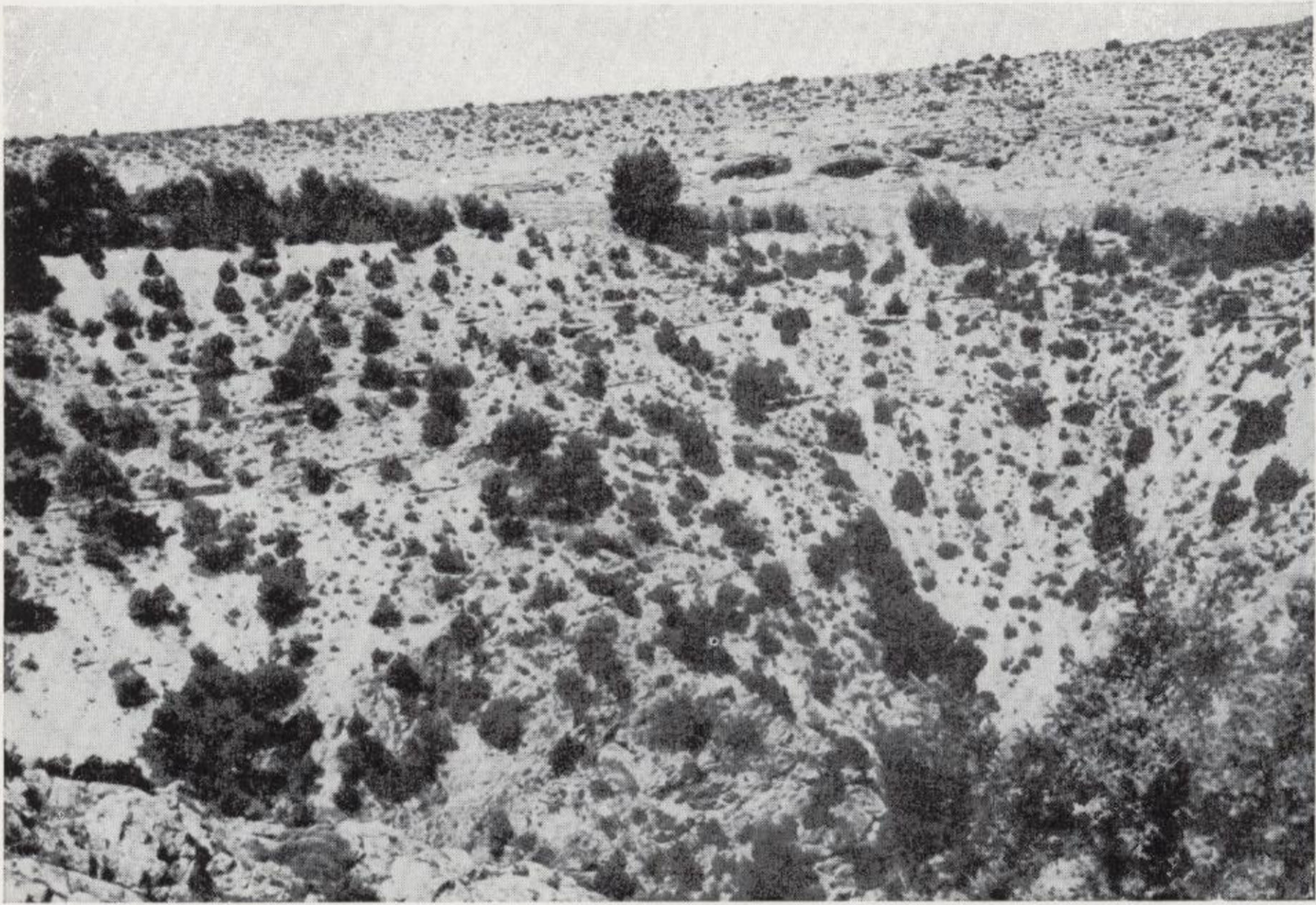
N.—Al O. del pueblo de Almaciles. En el Prebético; calizas arenosas del Eoceno sobre margas abigarradas del Cretáceo superior.



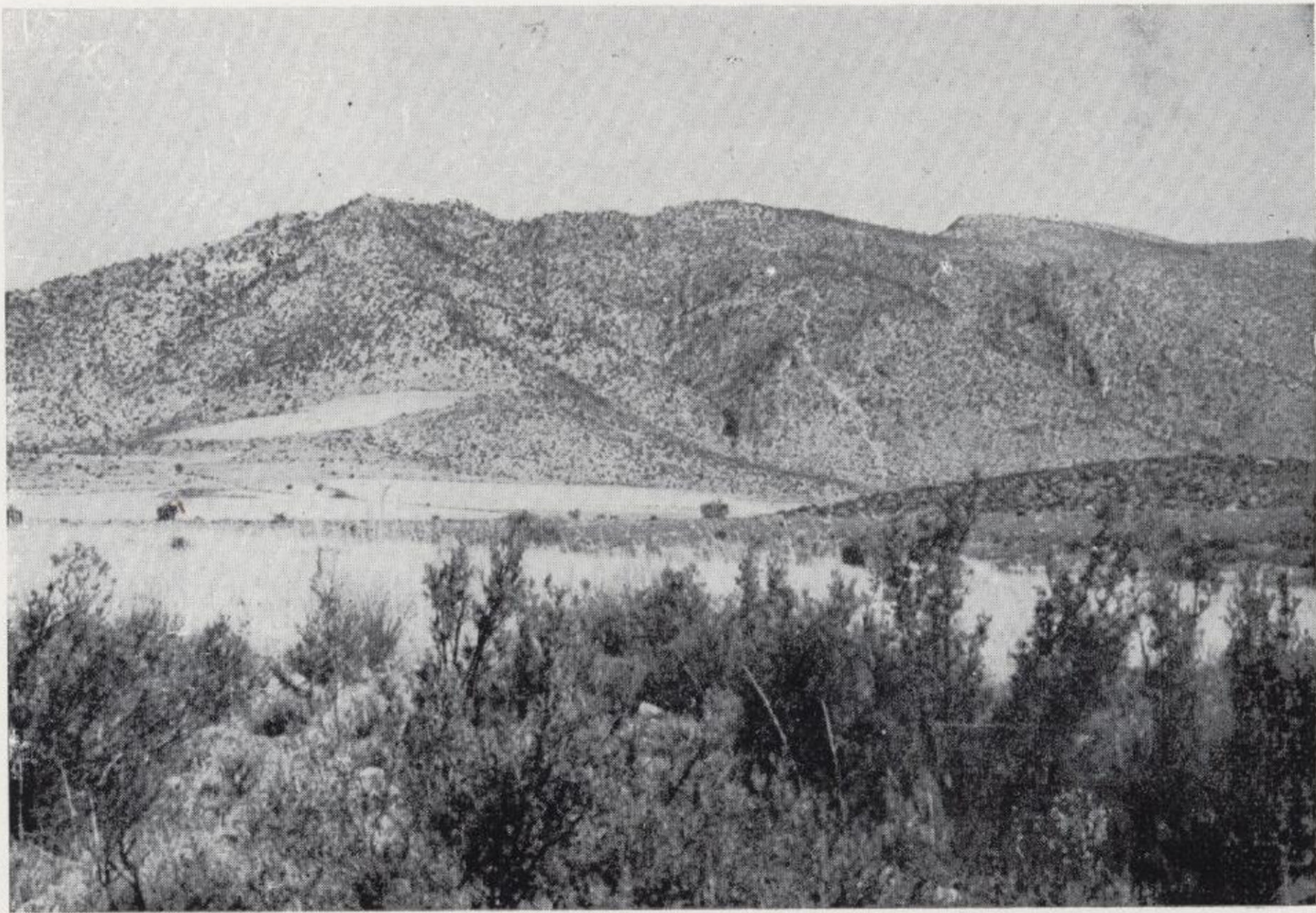
O.—El pueblo de Almaciles, y el Jurásico subbético en el extremo oriental de su frente de corrimiento. Aquí la magnitud del desplazamiento, en dirección norte, ha sido del orden de los 15 kilómetros.



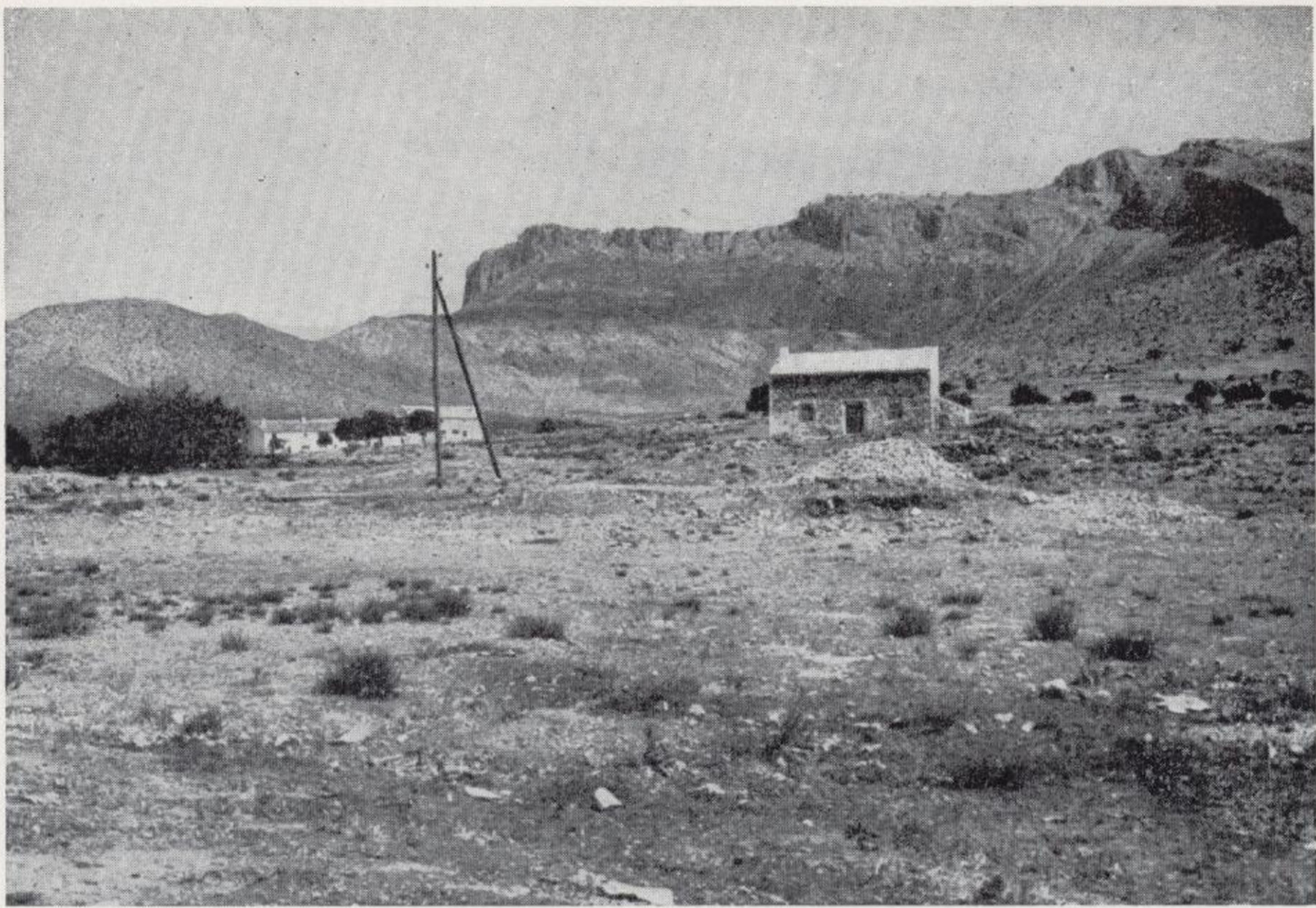
P.—Al S. de Puente Duda, en la Loma del Perro. Detalle de las calizas finas jurásicas con nódulos de sílex en forma de huevo.



Q.—Puente sobre el Guardal, de la carretera Huéscar-Castril. Discordancia entre las calizas jurásicas trastornadas (abajo) y formaciones subhorizontales modernas. Entre ambos paquetes hay algunos estratos de Cretáceo inferior subbético.



R.—Un poco a poniente de la fotografía anterior. Montañas de calizas jurásicas subbéticas vistas desde el sur.



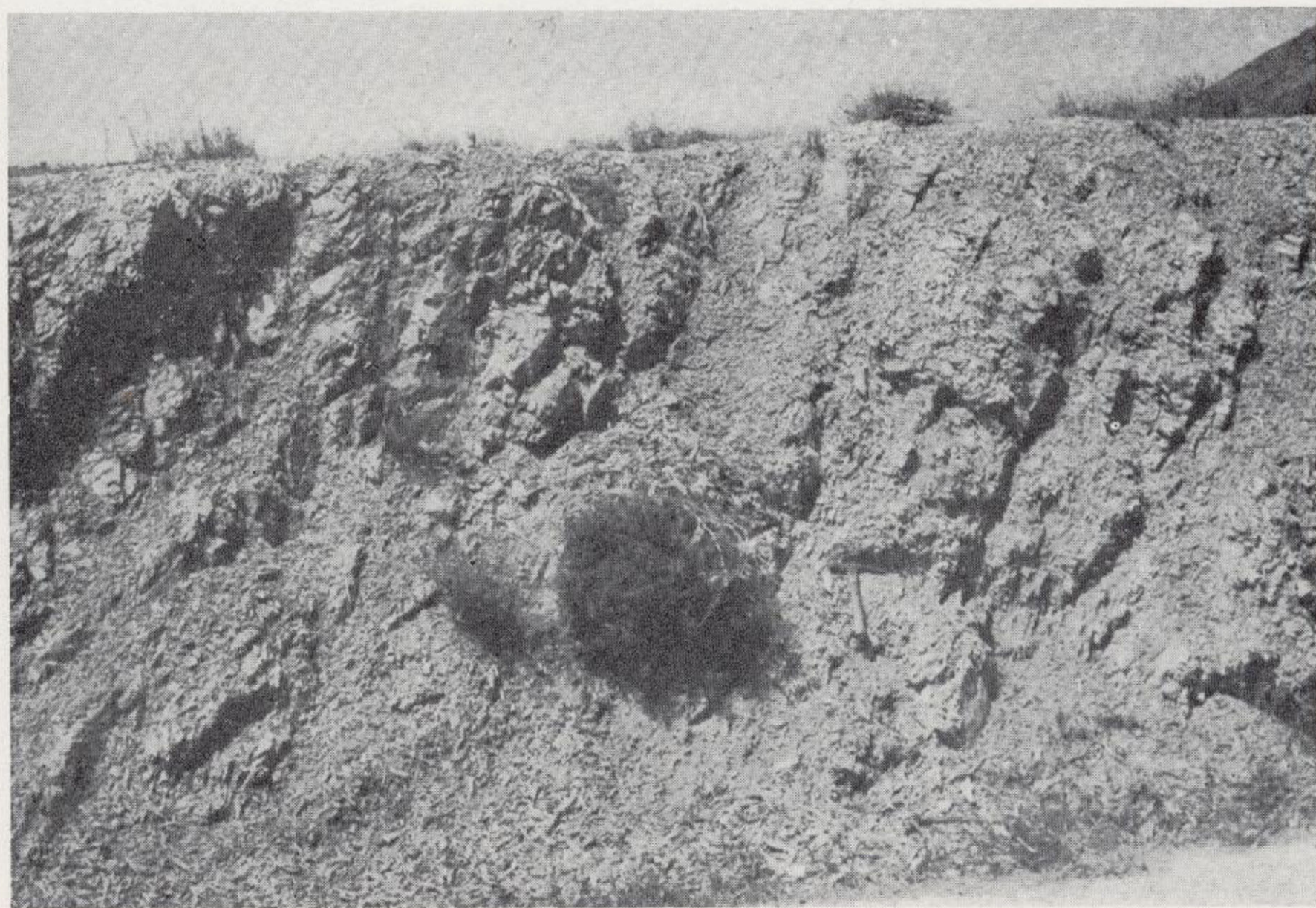
5.—Más al O. Los montículos situados encima de la casa de la izquierda los hemos atribuido al Jurásico prebético recristalizado? Encima, tramo blando del Cretáceo inferior prebético, y encima, cerrando en bóveda anticlinal, el Cretáceo medio calizo detrítico prebético.



T.—El pueblo de Castri desde el NE., con el crestón de milonita terciaria. Más al fondo, a la derecha, formaciones blandas del flysch cretáceo superior prebético.

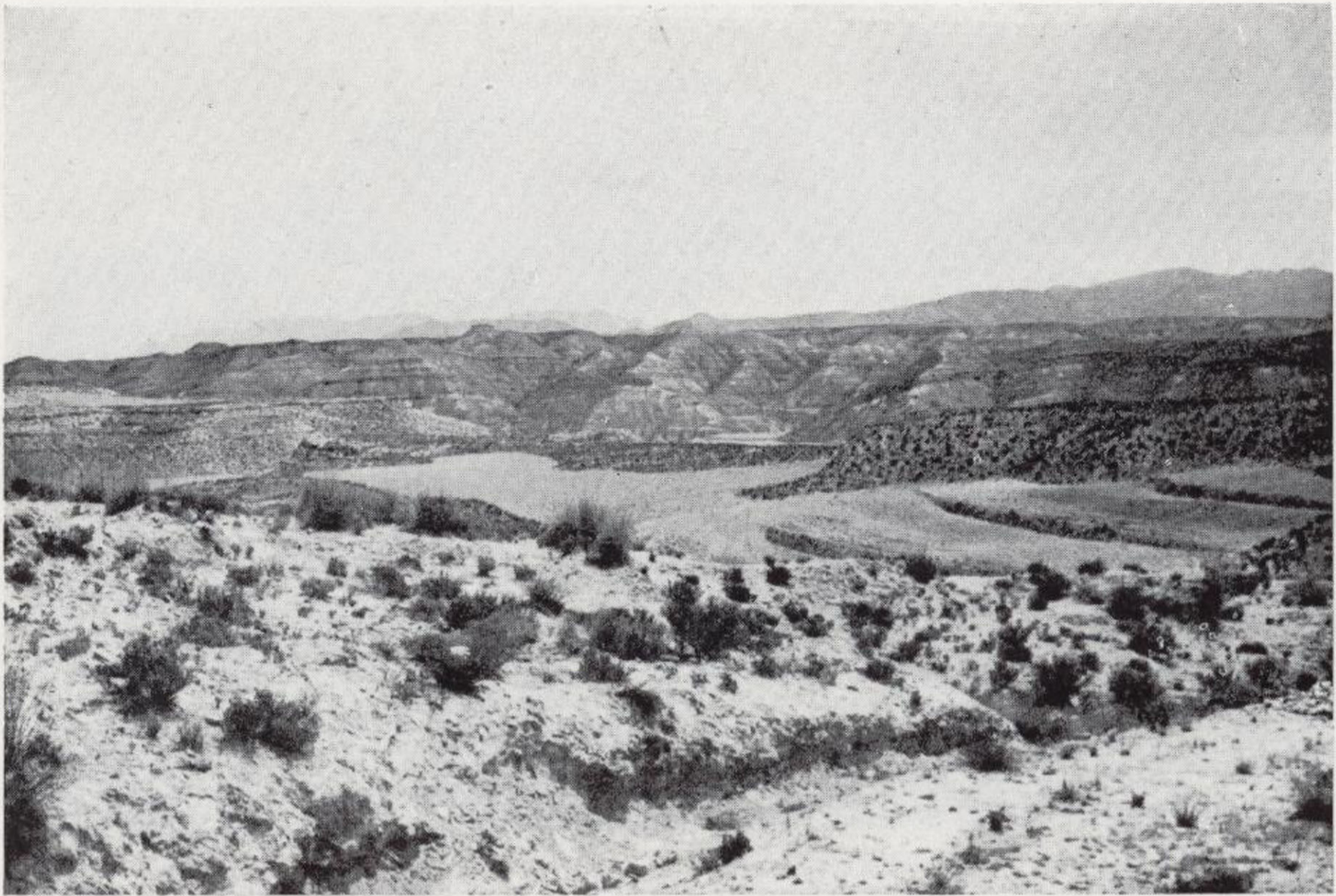


U.—Cerca del puente sobre el Castril, en dirección norte. El crestón de calizas detríticas del Cretáceo medio prebético atravisa el río abajo, a la izquierda, y arriba, a la derecha, se tumba en forma anticlinaloide que pronto queda truncada.

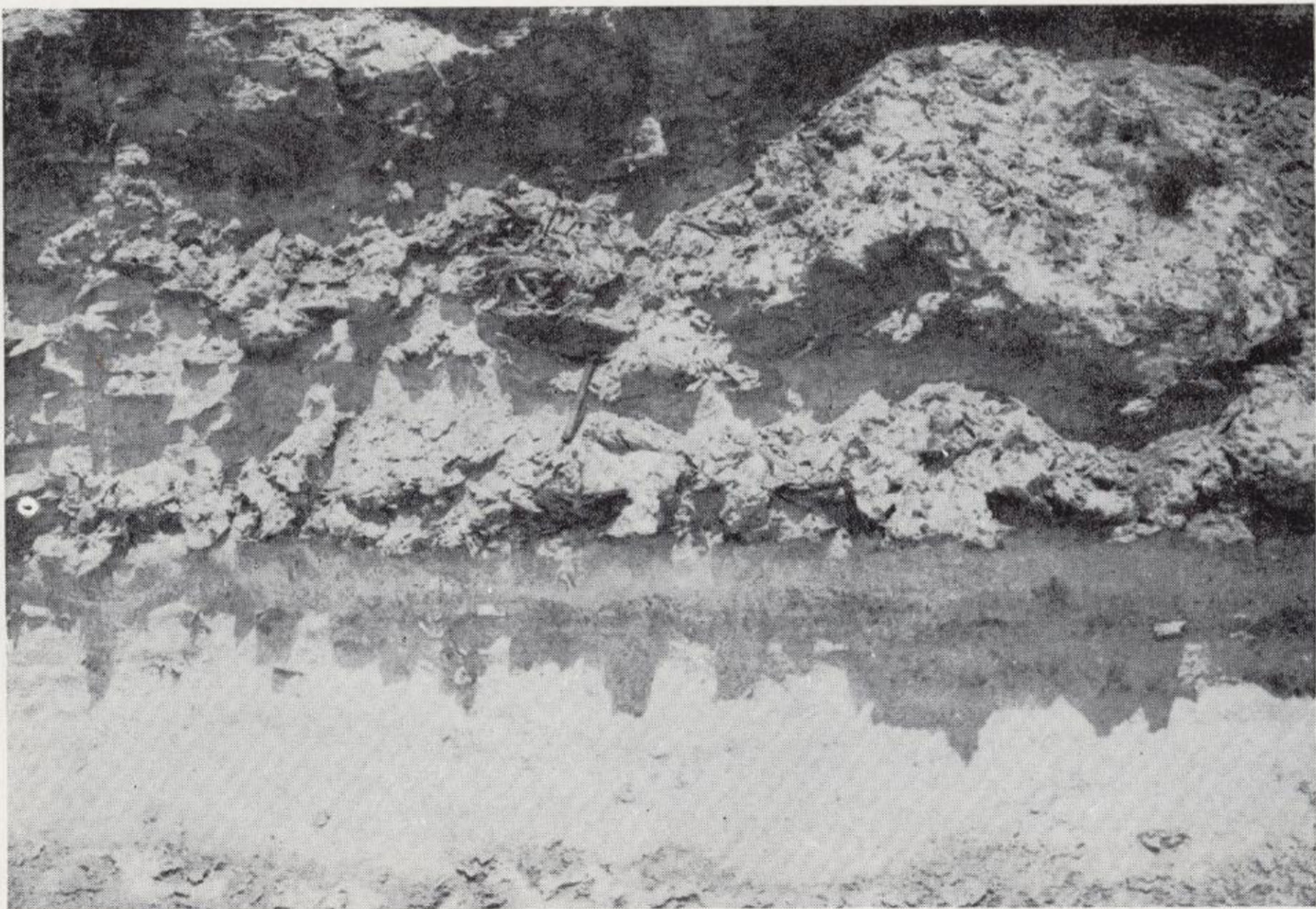


V.—Típicas pizarras de aspecto leñoso del Mioceno inferior prebético.





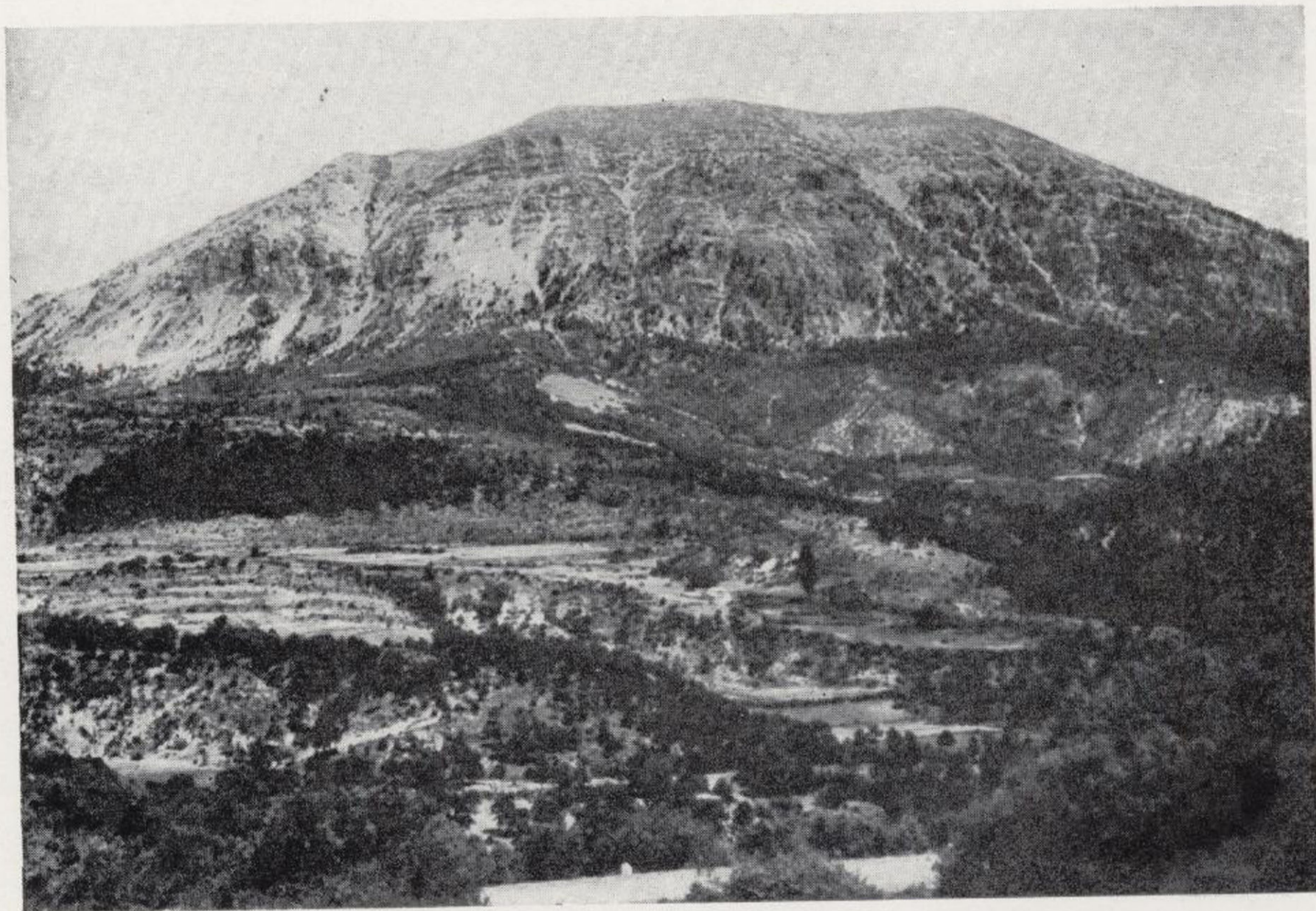
W.—Km. 9,500 de la carretera Huéscar-Castilléjar. Típico paisaje de margas y yesos horizontales de la cuenca pliocena.



X.—Al lado de la anterior. Detalle de la alternancia de yesos acaramelados oscuros y silts blancos.



Y.—Km. 15,500 de la carretera Huéscar-Santiago de la Espada. Al fondo, La Sagra. En primer término, estratos blandos claros del Mioceno inferior.



Z.—Desde las curvas de la carretera Huéscar-Santiago. Frente septentrional de La Sagra, corrida y cabalgando sobre el flysch cretáceo superior y sobre el Mioceno inferior prebético.

**Estudio hidrogeológico  
de la Sierra de Altomira (Cuenca)**

**POR**

**FRANCISCO MINGARRO MARTIN**

## RESUMEN

Se ha hecho un estudio hidrogeológico de la parte central de la Sierra de Altomira (Cuenca); se dan las características geológico-petrográficas que la definen, su estructura y las condiciones meteorológicas que le afectan.

Dada la importancia que tiene la estructura en el comportamiento hidrológico de las diferentes unidades litológicas, se confirmó ésta mediante medidas geoelectricas.

Se han recopilado 64 puntos de agua existentes en la zona estudiada y realizado los análisis químicos y espectroquímicos de las 36 localidades más significativas.

Con todos los datos obtenidos se determinó el comportamiento hidrológico de las distintas unidades litológicas, la génesis de las aguas que contienen y su disposición subterránea y escurrimiento, lo que se refleja en el mapa hidrogeológico que se adjunta. Deducimos, como dato más importante, la conexión hidrológica de todo el macizo mesozoico con los embalses de Entrepeñas y Buendía, debido a lo cual los caudales extraíbles de tales formaciones son de extraordinaria importancia a lo largo de una longitud de unos 120 kilómetros.

## SUMMARY

An hydrogeologic study of the central part of the Sierra of Altomira (Cuenca) has been done. This study established the geologic-petrographic characteristics that define it, its structure and the meteorological conditions that affect it.

Considering the importance that the structure in the hydrologic behaviour of the different lithological unities has, that one has been confirmed, by virtue of geo-electrical measures.

Sixty-four points of water, existing in the studied zone, have been collected, and chemical and spectrochemical analysis of thirtysix most significant localities, have been realized.

With all the data that have been obtained, the hydrologic behaviour of the different lithological unities, the genesis of the waters that countain, its subterraneous disposition and its slip, have been determinated, what is remarked in the joined map.

We deduce as the most important datum, the hydrologic connection of the whole Mesozoic Mass, with the dams of Entrepeñas and Buendía, therefore the quantities of water, that may be extracted out of such formations have an extraordinary importance along a longitude of 120 Km.

## RESUME

On a fait une étude hydrogéologique de la partie centrale de la Sierra de Altomira (Cuenca). Cette étude a établi les caractéristiques géologopetrographiques qui la définissent, sa structure et les conditions météorologiques qui l'affectent.

Etant donnée l'importance qu'a sa structure dans le comportement hydrologique des différentes unités lithologiques, celle-ci a été confirmée d'après des mesures géoélectriques.

On a récapitulé 64 points d'eau existants dans la zone étudiée, et réalisé les analyses chimiques et spectro-chimiques des 36 localités les plus significatives.

Avec toutes les données obtenues, on détermina le comportement hydrologique des différentes unités lithologiques, l'origine des eaux qu'elles contiennent, et sa disposition souterraine ainsi que son écoulement, ce que l'on remarque sur la carte hydrogéologique ci-jointe. Nous déduisons comme donnée la plus importante, la connexion hydrologique de tout le Massif Mésozoïque avec les réservoirs de Entrepeñas et Buendía. Par conséquent les débits d'eau que l'on peut extraire de telles formations, sont d'une importance extraordinaire le long d'une longueur de 120 Km.

## I. INTRODUCCION

El conocimiento de los recursos de agua superficial y subterránea, la evolución de sus reservas y sus medios de explotación son de una importancia capital para el desarrollo agrícola, económico e industrial de un país.

La explotación, sobre todo en las zonas áridas, donde todos los recursos de agua deben ser utilizados con un máximo de rendimiento, encierra una serie de problemas técnicos, que en la actualidad ocupa a numerosos investigadores de todas las naciones.

En España son prácticamente todas las provincias las que presentan problemas de agua, pues la cantidad de este elemento con que cuentan es casi siempre insuficiente para atender a sus necesidades agrícolas e industriales, e incluso para el abastecimiento urbano. De hecho, todas las regiones de nuestro país tendrían un mayor rendimiento económico, si contaran con un mayor abastecimiento de agua.

Nunca podemos hablar de un completo desarrollo de agua potable en un país si tenemos pérdidas de este elemento hacia el mar.

Si un adecuado desarrollo hidrográfico no es suficiente para aprovechar todo el caudal de la cuenca, y los ríos desembocan en el mar, este caudal se pierde, debido a las características de permeabilidad y estructura del vaso de los embalses, que provoca pérdidas, o bien a los factores topográficos no adecuados para retener las aguas.

De todas formas, este agua superficial, embalsada o no, tiene pérdidas por infiltración, y estas aguas que se acumulan o circulan por el subsuelo deben ser explotadas por numerosos factores: porque si no se aprovechan, se pierden hacia el mar, porque las obras de captación y explotación son mucho más económicas que las de embalses y porque es la única forma de abastecer zonas desérticas o semidesérticas, salvo costosísimas conducciones por canales y acueductos. En Israel se utilizan las capas subterráneas de terrenos permeables para conducir agua, haciendo perforaciones para introducirla y recargar los acuíferos, que son explotados en otros lugares.

Una de las zonas españolas más extensa y caracterizada por su sequedad es Castilla la Nueva. Esta gran cuenca de sedimentación presenta un zócalo de formaciones mesozoicas que afloran en diferentes puntos de sus bordes; uno de estos afloramientos es la Sierra de Altomira, que geológicamente debemos considerarla, no como un promontorio topográfico, sino más bien como toda una alineación o zona en que afloran tales depósitos mesozoicos.

Llamamos, pues, Sierra de Altomira a todo el conjunto de asomos del Secundario que, partiendo de los embalses de Entrepeñas y Buendía, en la provincia de Guadalajara, cruza la de Cuenca, abriéndose digitalmente hasta los límites de esta provincia con la de Ciudad Real y Albacete; en total, una zona de unos 120 Km. de longitud.

En el presente estudio nos restringimos a la parte central, comprendida entre los pueblos de Tarancón, Barajas de Melo, Huete y Carrascosa del Campo, todos ellos en la provincia de Cuenca, enclavados entre los paralelos 40°00' y 40°09' de latitud Norte y los meridianos 0°40' y 1°01' de longitud Este; en total, unos 425 Km<sup>2</sup>.

Indudablemente, si esta zona muestra unas características, en sus materiales, de permeabilidad y una disposición estructural favorable, puesto que todos los materiales de la Sierra de Altomira son análogos o idénticos, podemos considerar este Mesozoico conectado hidrológicamente con aquellos embalses que darán el nivel de base regional para esta amplia zona y, por tanto, habremos definido uno o varios acuíferos subterráneos, susceptibles a la explotación y, en consecuencia, la factibilidad de transformar en regadío bastas zonas próximas a esta alineación de más de 120 Km. de longitud.

Así pues, el objeto del trabajo es definir las características hidrogeológicas de la zona central de la Sierra de Altomira para, extrapolando los resultados obtenidos sobre un estudio concreto de aquellas regiones de características litológico-estructurales análogas, poder determinar los lugares más favorables para la explotación de las aguas subterráneas de esta extensísima zona, tan pobre en dichos recursos económicos.

Para el desarrollo de este plan de investigación se fijaron una serie de trabajos independientes que, relacionados entre sí, formasen los eslabones de una cadena que completase el estudio. Todos estos trabajos se engloban en cuatro apartados fundamentales:

- 1.º Estudio meteorológico.
- 2.º Estudio geolitológico.
- 3.º Estudio geofísico.
- 4.º Estudio hidrogeológico práctico.

Para establecer las características meteorológicas de la zona hemos utilizado los boletines del Servicio Meteorológico Nacional, recopilando los datos de un quinquenio, para establecer así unos porcentajes medios de pluviosidad, temperatura y evaporación que puedan reflejar un valor máximo para el desarrollo hidrológico de la Sierra de Altomira.

En el segundo estudio se ha resumido en un mapa geológico los mapas fotogeológico, fototectónico y litológico, para reflejar en una misma representación gráfica las características litológicas de los distintos terrenos, definidas por sus facies; de esta forma, podemos independizar aquellas formaciones litológicas iguales, pero de diferente edad, por lo que han de tener también un mismo comportamiento hidrológico.

El tercer apartado refleja un estudio geofísico, utilizado para confirmar las estructuras geológicas determinadas en el apartado anterior; este estudio está localizado en cinco zonas de la región.

El último apartado recopila los datos obtenidos en los anteriores y aplica sus características al comportamiento hidrológico de la zona; se completa con la hidrolitología (comportamiento hidrológico de los diferentes materiales que forman el suelo), hidroquímica (naturaleza del agua subterránea en cada formación) e hidrología práctica (funcionamiento y características de los acuíferos definidos).



## II. ESTUDIO METEOROLOGICO

Al intentar estudiar las características meteorológicas de la región que nos ocupa, hemos notado el gran déficit de estaciones existentes en nuestra Península, estaciones suficientes sólo para establecer unas características muy amplias de provincias, pero no para un estudio detallado como el que necesitamos hacer nosotros.

Los datos que hemos podido obtener del Servicio Meteorológico Nacional, si no muy abundantes y precisos, sí nos reflejan unas condiciones climatológicas generales para la comarca. No obstante hemos de hacer notar que para tener un dato medio de las precipitaciones en el país se han tenido que tomar las estaciones pluviométricas en un círculo de más de 75 kilómetros, de las cuales, sólo la estación de Huete pertenece a un extremo de la zona, situándose las restantes a más de 30 Km. de la región.

Las estaciones termométricas son todavía más escasas, y los datos recopilados en este trabajo abarcan un radio de más de 120 Km., con todo lo cual solamente existe la de Cuenca, a 52 Km. de la zona, la del embalse de Almoquera, a unos 20 Km., y la de Villanueva de Alcaudete, a unos 40 kilómetros.

Los datos referentes a humedad, presión, vientos, evaporación, etc., solamente se registraron en el observatorio meteorológico de Cuenca, que hemos tenido que tomarlos como únicos datos más próximos a la comarca.

Una serie de estaciones meteorológicas, al menos termométricas y pluviométricas, nos darían datos fidedignos acerca de la cantidad de agua que recibe la región, y sus pérdidas por evaporación, para una vez calculado el coeficiente de escorrentía determinar la cantidad de agua que pasa al subsuelo y es susceptible de explotación.

Por otra parte, la cuenca de recepción de agua en una zona puede ser muy extensa, y tener aportes no sólo meteorológicos, sino procedentes de

otras regiones; por tanto, el establecimiento de una red de estaciones termo-pluviométricas debe realizarse en toda la cuenca receptaria de aguas, que en nuestro caso tendría que ser toda la región definida como Sierra de Altomira.

De esta forma se comprende que los datos disponibles para el presente estudio sean suficientes para reflejar unas características climatológicas, y en todo caso obtener unos valores por defecto, en cuanto a la posibilidad de explotación de esas aguas.

El clima de la zona es típicamente continental, con inviernos fríos y húmedos, y veranos calurosos y secos, con una primavera húmeda y atemperada, y un otoño muy lluvioso y templado.

Se acusa un periodo de verano (julio y agosto) con temperaturas medias máximas de  $35,9^{\circ}$  y mínimas de  $-4,1$ ; en el invierno (noviembre, diciembre, enero y febrero) hay fuertes variaciones térmicas, que también se acusan a lo largo de los meses e incluso de cada día. La oscilación máxima registrada en un mes es de  $26,2^{\circ}$ , en septiembre del año 1958.

El aumento de la temperatura se acusa fuertemente a partir de marzo, en que comienza la subida, hasta julio y agosto, descendiendo rápidamente durante septiembre y octubre, en que ya se estabilizan las bajas temperaturas, hasta llegar a las mínimas en diciembre y enero.

El régimen de precipitaciones es el típico castellano, con dos claras épocas de precipitación en mayo y octubre, o mejor una otoñal y otra de primavera, siendo los periodos más intensos entre el 15 de septiembre y el 15 de octubre. Estas épocas se separan por un descenso de precipitación en un largo invierno, que alcanza su mínima en febrero y en un reseco verano.

El régimen de precipitaciones es generalmente tranquilo, y a lo largo del quinquenio que hemos tomado como referencia, la máxima precipitación en veinticuatro horas se registró el día 18 de septiembre de 1961, con 46 mm., siendo por regla general las máximas precipitaciones, en veinticuatro horas, entre los 15 y 20 mm. Por tanto, en nuestra zona, son muy escasos los regímenes tormentosos, aunque sean los meses de mayo y septiembre los más favorables para éstos; así en septiembre del año 1961, con sólo seis días de lluvia, se recogieron en Huete 100,1 mm. de agua.

Como reflejo de estas circunstancias, en el régimen pluviométrico, son muy escasas las precipitaciones en forma de granizo, que a lo sumo son de uno o dos días al año, aumentando las que lo hacen en forma de nieve, aunque sus valores sean también muy restringidos, de tres o cuatro días al año.

Aunque no se conocen los datos completos de un quinquenio de las estaciones pluviométricas más que de Huete, tomando valores análogos de otros años se puede obtener una media de la precipitación total, para la zona que estudiamos, de 631,5 mm.

Como es lógico, la curva de variación de la evaporación a lo largo del año guarda una íntima relación con las curvas termométricas, presentando un máximo en las épocas estivales de julio y agosto, y un mínimo en invierno, durante los meses de noviembre, diciembre y enero; la curva, como aquéllas, presenta una clara asimetría, descendiendo bruscamente la evaporación en otoño, mientras aumenta paulatinamente en la primavera, registrándose inclusive la inflexión de primavera, pero un poco adelantada, y así, en el aumento de la temperatura, hay una variación entre los meses de marzo y abril, en que ésta no aumenta con el ritmo constante, mientras que en la evaporación esta variación de febrero a marzo es cuando se acusa.

Según esto, el menor aumento de la temperatura no implica una nueva evaporación, y sin una variante en la temperatura, puede evaporarse más cantidad en agua.

En consecuencia, la identidad de las curvas termométricas y de evaporación indica que el régimen de vientos es muy constante a lo largo del año, en lo referente a velocidad; los escasos valores de evaporación indican que la velocidad del viento es muy reducida, predomina la calma a lo largo del año; la mayor época de tranquilidad es en febrero-marzo, por eso hay menos evaporación; en marzo-abril comienza un nuevo ciclo de vientos, generalmente frescos, que hacen aumentar la evaporación y disminuir en su ritmo ascendente la temperatura, se estabilizan ambas tendencias de evaporación y temperatura, que indica la constancia de vientos que ocasionan el máximo de lluvias de mayo y, finalmente, el régimen de vientos predominantes del SSE. se hace más cálido y seco, dando el verano las máximas temperaturas y evaporaciones y las mínimas lluvias.

Este estudio meteorológico se puede resumir en los siguientes datos:

## TEMPERATURA

Temperatura media anual... ..	13,2°
Temperatura media máxima anual... ..	34,7°
Temperatura media mínima anual... ..	— 3,3°
Temperatura máxima absoluta del quinquenio... ..	35,9°
Temperatura mínima absoluta del quinquenio... ..	— 4,1°
Oscilación térmica media, máxima... ..	24,8°
Oscilación térmica media, mínima... ..	7,7°
Oscilación térmica absoluta, máxima... ..	29,7°
Oscilación térmica absoluta, mínima... ..	5,8°

## PRECIPITACIÓN

Media anual de días de lluvia... ..	75
Media anual de días de granizo... ..	1
Media anual de días de nieve... ..	4
Precipitación media total... ..	602,1 mm.
Precipitación máxima en veinticuatro horas... ..	50 mm.

## EVAPORACIÓN

Evaporación total al año... ..	58,6 mm.
Media máxima al año (julio)... ..	8,9 mm.
Media mínima al año (enero)... ..	1,6 mm.

## III. ESTUDIO GEOLOGICO

## I. ESTRATIGRAFIA

La zona objeto de este trabajo muestra una estratigrafía muy variada y compleja, mucho más de lo que hasta la fecha se había considerado.

Comprende una parte central mesozoica, que corresponde a la Sierra de Altomira, limitada oriental y occidentalmente por las formaciones cenozoicas.

La Sierra se descompone en estos lugares en tres alineaciones unidas septentrionalmente, una oriental, al SE., y las dos occidentales al sur. En conjunto forman un gran anticlinorio muy replegado, de los terrenos Cretácico y Jurásico, recubiertos en sus zonas centrales por los depósitos terciarios.

La mayor extensión de la Sierra queda constituida por las calizas y margas senonenses, que con gran potencia recubren los sedimentos turonenses, cenomanenses y albenses, que presentan poco espesor y que descansan sobre el sistema Jurásico, representado por los conjuntos del Liásico, que sólo afloran en las zonas axiales de los anticlinales más pronunciados.

Hacia el E. la sierra queda limitada por los sistemas paleógenos del Eoceno y Oligoceno, que a su vez son recubiertos por las formaciones miocenas y pliocenas.

Los mismos sistemas, con análogas características, definen las zonas limítrofes occidentales, pero mientras en éstas predominan fundamentalmente los terrenos miocénicos, en las orientales este sistema se encuentra mucho más alejado de la Sierra, separándole una amplia faja de sedimentos arenosos y arcillosos eocenos, lo que se explica fácilmente, teniendo en cuenta la asimetría parcial y general del gran sinclinorio de Altomira, con sus flancos del oeste con mayor buzamiento que los de levante, por lo cual el Eoceno,

concordante con los conjuntos mesozoicos, se tiende más hacia esta vertiente, separando los límites miocenos de la sierra.

En esta zona del E. los depósitos paleógenos se ensanchan mucho hacia el S., debido sin duda al levantamiento del zócalo cretácico-jurásico que aflora en un pequeño anticlinal, en el suroeste de Carrascosa del Campo.

El resto de la región, junto con las zonas de poniente, queda determinado por el Mioceno medio, en su mayor extensión formado por margas yesíferas y bancos de yesos, sobre los que descansan las arenas, margas y calizas del Pontense.

Se han considerado como oligocenas unas formaciones arcillosas rojizas, del sur de Barajas de Melo, y unas margas yesíferas suprayacentes con bancos de yesos y anhidritas granulares, así como unas pudingas arcillosas de cuarcita, que recubren las plegadas samitas y arcillas del Eoceno, y que sólo quedan representadas en el centro de la zona oriental.

En todos estos depósitos, que constituyen la geología de la zona que nos ocupa, no se ha encontrado resto fósil alguno, por lo que para establecer la estratigrafía correspondiente se ha tenido que recurrir a la litofacies comparativa y relacionar estos terrenos con otros lo más próximos posible, pero cuya edad se puede establecer concretamente por los contenidos en estos restos.

Las características azoicas de la región explican que los diferentes geólogos que la han visitado no estén completamente de acuerdo en cuanto a su datación cronológica, pero las diferencias no son demasiado extremas y cada día estos métodos, únicos disponibles, aportan más datos para su mejor conocimiento.

### 1. Jurásico

Las formaciones jurásicas, representadas por el Liásico, son consideradas como basamento de toda la zona estudiada, por ser los terrenos más antiguos que afloran; se presentan formando las zonas axiales de los grandes anticlinales que definen la Sierra de Altomira; los dos anticlinales paralelos al este de Vellisca, el del sur de Paredes y el del suroeste de este mismo pueblo.

A excepción del último citado, los anteriores presentan sus flancos occidentales fallados, lo que es un claro indicio de lo acentuado de la asimetría de tales pliegues, cuyo flanco oeste, con gran frecuencia, se transforma en fallas, hundiendo la mayor parte de los pliegues, que posteriormente se recubren por sedimentos más modernos.

Estos depósitos liásicos quedan constituidos esencialmente por calizas amarillentas, más o menos claras, o tomando coloraciones algo rojizas, de color vinoso, tendiendo a amaratado, seguramente debido a una mayor abundancia de manganeso y hierro férrico.

Estas calizas liásicas son muy coherentes y duras, presentan una textura cristalina o semicristalina, con mucha frecuencia completamente reticulada por filoncillos de calcita o concreciones del mismo mineral, lo que le da un aspecto brechoideo en sus casos más exacerbados, que incluso ha sido motivo para que algunos autores diferencien dos tramos dentro de este piso, el superior brechoideo y el inferior más estratificado y compacto.

Como el resto de formaciones que define la zona que estamos estudiando, hemos de calificarla como estéril, al no haber conseguido ningún ejemplar fósil y no haber encontrado en los datos bibliográficos citación alguna, por lo que la estratigrafía ha tenido que hacerse por correlaciones de litofacies comparativas con aquellas comarcas que, situadas al sur de nuestra zona, muestran restos fósiles concretos para su datación cronológica a la vez que presentan una continuidad estratigráfica con nuestras formaciones.

Estas consideraciones nos hacen atribuir a tal conjunto la edad liásica, aunque, como es natural, con todas las reservas a que la paleontología nos obliga, pues los hallazgos fósiles más próximos se encuentran a más de 40 kilómetros de distancia y, por tanto, en condiciones litológicas no muy identificables y correlacionables con las de esta región.

### 2. Cretácico

Las formaciones cretácicas afloran en sus facies arcillosas, margosas o carbonatadas, circundando los anticlinales jurásicos, pudiendo seguirse sus estratificaciones casi sin interrupción, en los flancos orientales más tendidos, mientras que en los occidentales, por la asimetría que caracteriza estos pliegues, con frecuencia fallados, sucumben rápidamente bajo los depósitos terciarios más recientes.

Estos terrenos de edad cretácica se han dividido en los pisos: Albense, Cenomanense, Turonense y Senonense, según las diferencias de litofacies que presentan.

a) ALBENSE.—Las formaciones albenses constituyen un conjunto de estratos de poca potencia, formados por samitas y pelitas más o menos margosas, de coloraciones diversas, pero generalmente abigarradas.

Parece ser que comienza la formación por unas samitas conglomeráticas, poco cementadas y constituidas por granos angulosos de cuarzo y pequeños fragmentos areniscosos duros. Este sedimento basal se cementa por pelitas caolínicas de poca coherencia, por lo que el conjunto sigue siendo una formación bastante suelta, a la vez que el tamaño del grano se hace inferior.

Seguidamente se depositan estratos pelíticos margosos o ampelíticos, pero siempre algo arenosos.

Así pues, el Albense de esta zona debe quedar constituido por los siguientes tramos: pelitas margosas, pelitas arcillosas, samitas margo-arcillosas de cuarzo, samitas brechoideas de cuarzo.

El escaso cemento que traba los granos cuarcíticos muestra, según hemos dicho, una naturaleza caolínica susceptible de impregnar ciertos minerales que proporcionan las coloraciones abigarradas tan características de estas facies, generalmente rojizas, de tonos vivos o bien blancas u ocres, siendo los tramos superiores por regla general de colores verdosos o amarillentos.

No es fácil establecer tal secuencia litológica para este piso del Cretáceo, ya que no siempre se pueden reconocer estos tramos ni incluso la verdadera existencia del piso. Con gran regularidad, aunque no siempre muy bien identificables se presentan estos estratos descansando sobre las formaciones liásicas, pero estos afloramientos, casi siempre samíticos, a veces son pelíticos, lo que hace pensar en posibles cambios laterales de facies, no bien determinados por la anarquía con que se presentan estos afloramientos.

Por otra parte, la identificación del Albense no siempre es perfecta, pues la poca coherencia de sus tramos, encerrados entre duras formaciones calcáreas, lo hacen más factible a la erosión y con gran frecuencia estos conjuntos son transformados en tierras de labor, lo que motiva que algunos autores presuman que el Albense no constituye un piso continuo, sino que sólo se presenta en ciertos lugares.

Es posible que este piso, cuyos espesores máximos no sobrepasan los 20 metros y que en localidades próximas pueden sólo alcanzar uno o dos metros, presente ciertamente una disposición lenticular, pero con los lentejones unidos entre sí, como puede seguirse perfectamente en la fotografía aérea, haciendo notar que tales lentejones o simples cambios bruscos de potencia de los estratos son frecuentemente encontrados en estas formaciones continentales y torrenciales, como indica la estratificación cruzada de todos los conjuntos samíticos, por lo que pueden acumularse en algunos lugares más sedimentos que en otros muy próximos.

Estos terrenos albenses se presentan formando una estrecha faja, entre

las calizas del Liásico y las cenomanenses; aparecen con mayor claridad en los flancos orientales de los grandes anticlinales liásicos, pues la gran asimetría de estos pliegues los falla al oeste, perdiéndose la continuidad de las formaciones hacia poniente.

b) CENOMANENSE.—El Cenomanense constituye uno de los pisos más significativos y potentes del Cretáceo de la región; se presenta principalmente en los núcleos de los anticlinales, donde el Liásico no aflora por erosión; al norte de Huelves, este de Barajas de Melo y al norte de Paredes; presentándose también en los bordes del anticlinal liásico de Huelves y hacia levante del otro gran sinclinal de Paredes.

En estas formaciones cenomanenses, aunque bien caracterizadas, no es fácil su cartografía e identificación, pues aun presentando una faceta común de un Cenomanense inferior, principalmente calizo, y otro superior calco-margoso, al establecer la secuencia estratigráfica con detalle ésta varía mucho de unos puntos a otros y, por tanto, son difíciles de correlacionar unas columnas con las otras.

Como norma general, parece comenzar la serie una formación de calizas margosas a veces semicristalinas, de colores claros, rosados o amarillentos, sobre la que se depositan unas margas blancas, que por su fácil erosión están frecuentemente transformadas en tierras de labor, que se extienden enmascarando los afloramientos inferiores calizos o hasta los albenses, por lo que se dificulta extraordinariamente la cartografía o identificación de estos tramos.

Sobre esta base se deposita una potente capa de calizas bien estratificadas y que, si no en todos los lugares, sí en muchos, puede identificarse su primer tramo de calizas margosas blancas, seguido de otro de calizas calco-margosas cristalinas, sobre el que reposan unas calizas gris-amarillentas o algo rosadas muy duras, que se recubren por un último tramo de calizas margosas blancas, con las que podemos considerar que termina el Cenomanense inferior, para continuar el superior con una formación de margas arenosas de color gris claro, que se continúa con calizas calco-margosas semicristalinas, de los mismos colores o algo amarillentas.

Prosigue la serie con un conjunto de samitas de grano fino, entre las que se intercalan pequeños estratos arcillosos. Esta formación detrítica constituye después unas samitas calcáreas y unas calizas sabulosas, que dan paso a una alternancia de margas arcillosas y samitas arcólicas de grano fino, terminando la serie con unos estratos de samitas calcáreas de colores grises o verdosos.

Así pues, el Cenomanense podemos caracterizarlo, según hemos indicado, por dos series: la inferior, predominantemente carbonatada, y la superior detrítica, pero sujetas a una serie de alternancias y cambios laterales de facies, que impiden determinar con exactitud una correlación detallada de los diferentes afloramientos; esto explica las diferentes columnas estratigráficas que se han descrito de los afloramientos cenomanenses de la Sierra de Altomira, variando mucho, incluso en aquellos estratos en que son correlacionables los espesores o potencias de los diferentes estratos.

Así, al sur de la zona y fuera de ella, en la Sierra de Uclés, se ha determinado la siguiente serie: margas arcillosas (tierra de labor), 35 metros; calizas margosas grises, 10 m.; margas calcáreas detríticas, 10 m.; calizas margosas alternando son caliza cristalina gris, 20 m.; caliza margosa blanca, 6 m.; margas arcillosas, 10 m., y calizas margosas rojizas, 4 m.

El profesor Oriol Riba, más al sur, en la carretera de Mota del Cuervo a Belmonte, determina una columna para este piso en los siguientes términos: margas arcillosas, limosas, cobráceas o rosadas con intercalaciones de arenas, 14 m.; areniscas de grano fino y cemento calcáreo ocre, 17 m.; margas arcillosas detríticas, 17 m.; calizas limosas, ocre, muy fosilíferas, 5 metros; calizas rojizas duras con oquedades, 3 m.; limos calcáreos ocre y rojizos finamente estratificados, 31,5 m.; calizas limosas duras, tableadas, con nódulos feruginosos, 22 m., y margas limosas, duras, tableadas, con nódulos ferruginosos, 3 metros.

Al este de Paredes, en la Sierra de los Ladrones, hemos podido identificar sobre el anticlinal allí definido, y como el mejor exponente de lo representado en la zona, los siguientes tramos:

Margas laminares verdosas, 2 m.; margas calcáreas verdosas, 8 metros; calizas compactas estratificadas, 12 m.; calizas margosas brechoides, 3 metros; caliza detrítica, 2 m.; caliza compacta blanca, microcristalina, alternando en estratos de 20 cm. con calizas margosas, 50 m.; calizas rojizas, 10 m., y calcarenitos, 3 m.

A veces se encuentran descripciones en las que figuran tramos detríticos, de naturaleza samítica, datados como arenas o areniscas, especialmente en las formaciones cenomanenses superiores. Estos estratos son evidentemente locales y no continuos, en forma más o menos lenticular, y corresponden a calcarenitos, rocas calizas con clastos de caliza muy pura y empastados con un cemento carbonatado, posiblemente por un proceso de autocementación. De un total de tres muestras analizadas de este tipo petrográfico, se obtiene un valor medio de un 53,27 por 100 de OCa, con un 0,40 por 100 de OMg, valores que corresponden casi a una calcita.

Sin embargo, en algún punto próximo a superficies de fractura, estos calcarenitos se han dolomitizado fuertemente y presentan, como en la falla del anticlinal de Paredes, 30,28 por 100 de OCa y un 19,55 por 100 de OMg, lo que corresponde a una roca con más del 75 por 100 de dolomita; este hecho es perfectamente explicable si tenemos en cuenta la gran permeabilidad de este tipo de materiales, especialmente comparándolos con las rocas vecinas.

En conjunto se han reconocido para este piso potencias de 60 metros, y en otros lugares, más al sur, se han determinado espesores de 100 y hasta 200 metros.

c) TURONENSE.—El conjunto turonense forma un piso de escasa potencia, que separa las formaciones cenomanenses de las senonenses.

Su exacta determinación no se puede fijar concretamente y algunos autores asimilan estas formaciones al tramo inferior del Senonense, mientras que otros lo incluyen en el Cenomanense superior.

Algunas diferencias litológicas nos aconsejan independizar este conjunto de estratos en una formación intermedia que atribuimos al Turonense.

Este pequeño tramo del Cretáceo, de tan difícil identificación, al menos en algunos afloramientos, representa una alineación que circunda los grandes anticlinales de Vellisca, Paredes y Huelves. Principalmente queda constituido por unas calizas algo margosas de colores rojizos, vinosos o rosados, muy duras y cristalinas, que pasan en su base a formar unas calizas magnesianas dolomíticas, con estructura de carniolas, que reposan sobre una base samítica muy dura, y también con las mismas coloraciones.

El paso superior al Senonense está menos definido, y casi siempre se efectúa por una interposición de calizas margosas, de estructura semilitográfica, de tonos rosados, con dendritas de pirolusita, o bien margas calcáreas de tonos claros y mucho más blandas.

Todos estos tramos muestran una potencia variable, y mientras el paquete principal de calizas dolomíticas duras tiene un espesor de 8 a 10 metros, los otros estratos, cuando se presentan, lo tienen de 2 a 5 metros como máximo.

d) SENONENSE.—Las formaciones que hemos datado como senonenses, aun no siendo las más potentes de los conjuntos cretácicos aquí representados, sí son las más extensas, ocupando grandes espacios de los bordes anticlinales, o definiéndolos por sí mismos, como el suroccidental de Carrascosa del Campo.

Parece comenzar este tramo con un paquete margoso de colores verdosos y grisáceos, que en su parte alta pasa a tonalidades rojizas, poniéndose así en contacto con unas calizas compactas, blanquecinas o amarillentas, de grano fino, que luego se van estratificando para intercalarse y pasar a formaciones margosas rojizas y calizas tableadas blancas, en estratos de unos veinte centímetros.

Este conjunto podría considerarse como un Senonense inferior, que tal vez correspondería a los tramos del Coniaciense y de calizas estratificadas del Santoniense, con litofacies; estas últimas análogas a las descritas por Dupuy de Lôme en la zona de Mota del Cuervo, con restos fósiles típicos de este piso.

El Senonense superior se define como una alternancia de paquetes de calizas y margas de unos 10 a 15 m. de potencia, que alternan hasta alcanzar potencias totales próximas a los 100 metros.

De esta forma, los cortes más típicos se denuncian a lo largo de la carretera Tarancón-Cuenca, aunque la estructura de la región enmascare los afloramientos y no permita obtener nunca la secuencia completa.

Empiezan los tramos inferiores con una serie de pasos margosos, puestos al descubierto al este de Huelves, en el brazo de Cuclillo, con la siguiente secuencia: margas calcáreas blancas, 1,5 m.; margas samíticas grises, 3 metros; margas arcillosas blancas con estructura laminar, 2 m.; margas arcillosas grises, 3,50 m.; margas arcillosas pardo-rojizas, 1,50 m.; arcillas margosas gris-azuladas, 0,30 m.; arcillas rojas, 0,15 m.; margas calcáreas blancas, 0,60 m.; calizas margo-arcillosas verdes, 6,20 m.; calizas compactas en estratos de 0,20 cm., 5 m.; arcillas margosas grises con laminaciones, 4 m.; caliza compacta amarillenta, 2,80 m.; marga arcillosa gris-verdosa, 0,25 m.; caliza margosa blanca, 2 m.; marga calcárea con recristalizaciones reticulares de calcita, 1,80 m.; marga arcillosa gris, 2 m.; marga abigarrada, 8, m., y calizas compactas blancas.

En el kilómetro 10 de la carretera Tarancón-Cuenca se define un valle-falla relleno por margas calcáreas con clastos calizos y fuertes colores rojizos por alteración.

Antes de llegar a la estación del ferrocarril de Huelves se practicó una trinchera en el kilómetro 70,5, en la que se definen los siguientes tramos: margas calcáreas, 10 m.; margas grises-amarillentas, 1 m.; caliza compacta milonitizada; caliza compacta amarillenta menos triturada, hasta el final de la trinchera, en el kilómetro 70,6.

Pero antes de estos tramos colocados en posición inferior, se pueden reconocer en la carretera formaciones margo-arcillosas de colores rojos, que aflo-

ran con poca potencia, por ser el labio oriental de la falla y haberse cebado en estos materiales los agentes erosivos.

Consideraciones geoquímicas que hacemos al final de este capítulo nos hacen sospechar que en el núcleo de estos brazos reseñados aparecen calizas cenomanenses, pero imposibles de diferenciar en el campo.

Un segundo tramo senonense o santoniense queda representado al final del anticlinal de Huelves, pasado el túnel de Paredes, en el kilómetro 14,2 de la antigua carretera Tarancón-Cuenca, en el que aparece, sobre unas calizas margosas rojizas-amarillentas, una potente formación de calizas blanco-rosadas, tableadas, con una potencia superior a los 10 m., que fuera de la trinchera del ferrocarril se continúan, pudiendo presentar una potencia superior a los 40-50 m. En esta trinchera del ferrocarril se puede observar el siguiente corte:

1. Calizas compactas estratificadas en tramos de 0,50-1 m. con potencia total de 18 m.
2. Margas laminares verdosas, 1,50 m.
3. Calizas estratificadas rojizas, 0,50 m.
4. Margas calcáreas abigarradas rojizas, 3 m.
5. Calizas compactas amoratadas (tres estratos), 3 m.
6. Calizas brechoides rojizas, 4 m.
7. Calizas margosas rojizas, 2 m.
8. Calizas rojizas, 3 m.
9. Calizas margosas rojo-amarillento, 4 m.
10. Calizas tableadas blanco-rosadas, 8 m.

En este corte, los paquetes inferiores margosos no se hacen presentes, y mientras los tramos 1 y 2 corresponderían al Cenomanense, los 3, 4, 5, 6 y 7 representarían al Turonense, y sólo el 8 y 9 podrían ser correlacionados con aquellos paquetes mayores, tan extensos en los brazos de Cuclillo, ya citados, y que darían paso a las formaciones calcáreas tableadas superiores.

El borde oriental de este anticlinal presenta también, buzando al este, un conjunto de paquetes margosos y calizos, que deben corresponder al tramo superior del Senonense.

Sobre las formaciones samítico-arcillosas de colores abigarrados del Albense, y mediante contacto por falla, aparece la siguiente secuencia: calizas compactas cristalinas blancas, 5 m.; calizas cristalinas amarillentas, 3 metros; caliza dolomítica blanca, 13 m.; margas calcáreas amarillentas, 15 me-

tros; calizas algo magnesianas, cristalinas, 15 m.; margas calcáreas amarillentas, 12 m.; calizas cristalinas blancas, 5 m.; margas calcáreas, 18 metros; caliza cristalina, 80-90 m., y calcarenito amarillento ?

Esta alternancia de tramos calizos y margosos es la más típica del Senonense de la región y tal vez la más representativa del mismo.

Los tramos arenáceos, representados en los últimos paquetes, deben corresponder a calcarenitos cataclásticos, íntimamente relacionados, por tanto, con fracturas. Estas rocas, reseñadas por algunos autores como areniscas, se presentan, tanto en el Cenomanense como en el Senonense, con aspectos análogos, pero más parecidos a carniolas en el Cenomanense que en aquél, con oquedades, rugosidades, etc.; sin embargo, son los que tienen menor contenido en magnesio y más calcio, mientras las cenomanenses son aún más compactas, unas auténticas dolomías, con cerca del 10 por 100 de OMg; los fenómenos de levigación e iluviación son los causantes de tales hechos, junto con procesos de autocementación, que vienen reflejados por la mayor redondez de los clastos superiores y la mayor cementación de los inferiores.

#### CONSIDERACIONES GEOQUÍMICAS.

La ausencia absoluta de fósiles y las características estructurales definidas en la zona, junto con la finalidad perseguida en este trabajo, han aconsejado realizar una serie de análisis de los materiales carbonatados que constituyen los tramos cretácicos, persiguiendo dos finalidades: primero, establecer anomalías que permitiesen diferenciar y correlacionar formaciones, y segundo, definir la composición de los materiales que establecerían el carácter hidroquímico de las aguas subterráneas.

El primer resultado obtenido es que los carbonatos cenomanenses corresponden a dolomías, o a lo sumo a dolomías calcáreas, mientras que los senonenses son calizas puras o algo magnesianas. Quedan estos hechos reflejados en la relación Ca/Mg, que para los cenomanenses es siempre inferior a 5; lo más frecuentemente es que tome valores comprendidos entre 1 y 2, mientras que los senonenses tienen esta relación superior a 7, aunque lo más corriente es que adquiera valores mayores de 30.

Al analizar el corte calizo de Cuclillo se obtuvieron los resultados expresados en el cuadro I (muestras A), tomando las muestras en la dirección E.-W. y separadas aproximadamente unos 50 m.

En el segundo brazo, que pasa por el Cerro Cuclillo, se analizaron sólo dos muestras (cuadro I, muestras B).

CUADRO I

MUESTRA	% OCa	% OMg	% CO <sub>2</sub>	Ca/Mg
A-1 ... ..	53,84	1,61	42,01	33,62
A-2 ... ..	50,21	3,07	42,39	16,35
A-3 ... ..	37,01	12,90	45,64	2,84
A-4 ... ..	33,95	14,92	45,04	2,42
A-5 ... ..	34,77	17,33	45,06	2,00
A-6 ... ..	43,23	4,31	42,19	10,30
A-7 ... ..	44,59	3,69	41,93	12,39
B-1 ... ..	45,23	3,15	42,01	14,35
B-2 ... ..	48,33	2,01	42,31	21,55
C-1 ... ..	48,23	6,45	43,07	7,53
C-2 ... ..	49,35	5,63	42,96	8,76
C-3 ... ..	52,71	1,81	41,53	29,27
C-4 ... ..	52,11	1,33	42,01	39,18
C-5 ... ..	53,27	0,40	41,45	133,25
C-6 ... ..	53,20	2,01	42,31	31,03
C-7 ... ..	53,64	17,14	42,67	1,96
C-8 ... ..	30,28	19,55	42,01	1,55
C-9 ... ..	32,53	18,14	42,48	1,79
C-10... ..	37,85	13,10	42,71	2,88
C-11... ..	31,62	10,03	43,11	3,01
C-12... ..	29,16	19,35	45,18	1,50
C-13... ..	30,11	11,26	42,31	2,67
C-14... ..	29,72	8,87	31,45	3,37
C-15... ..	31,44	5,12	40,66	6,14
C-16... ..	47,67	6,85	42,07	7,01
C-17... ..	48,91	5,37	42,12	9,10

Todos los análisis corresponden al tramo senonense, como se había supuesto en principio, a excepción de las muestras A-3, A-4 y A-5, localizadas en el centro del primer brazo, lo que podría suponer que estos tramos correspondieran al Cenomanense, pero los valores obtenidos para la relación Ca/Mg son intermedios entre unos y otros, por lo que pensamos se trata de unas calizas dolomitizadas como consecuencia de la fracturación tan intensa que ha sufrido esta comarca.

En el anticlinal de Paredes se han obtenido los siguientes resultados, expresados también en el cuadro I con la letra C, y de los cuales representan las cenomanenses las muestras 7 a la 14, y el resto, con valores muy elevados, al Senonense; pero destaca la muestra C-5, que es una caliza purísima.

Se han realizado otros siete análisis de la zona, por considerarlos de interés para la correlación y definición de estos materiales, los cuales se expresan en el cuadro II con las letras D, E, F y G.



CUADRO II

LOCALIDAD	Muestra	% OCa	% OMg	% CO <sub>2</sub>	Ca/Mg
Km. 17,7... ..	D-1	49,07	0,81	38,16	61,37
Km. 17,7... ..	D-2	51,88	0,60	43,51	86,5
Canteras de ... ..	E-1	50,39	0,57	41,63	88,4
Riansares... ..	E-2	49,16	1,01	40,32	48,67
Vellisca.. ..	F-1	52,36	1,22	40,15	51,11
Donace.. ..	G-1	35,47	12,93	41,13	2,73
Donace.. ..	G-2	30,17	17,31	42,65	1,74

Podemos comprobar que estas muestras nos dan valores análogos a los que veníamos obteniendo para estos materiales, valores que aunque por sí solos no nos sirven para realizar una correlación concreta, sí al menos para reflejarnos un mayor contenido de magnesio en las formaciones cenomanenses, lo que es bien explicable, dado que descansan sobre conjuntos arcillo-margosos, en que por su facies marina han de presentar gran contenido de minerales de arcilla, con abundancia de magnesio, el cual, durante la diagénesis de la roca, ha podido ascender en las aguas expulsadas durante estos estados de transformación, dolomitizando los sedimentos calizos superiores.

De estos resultados cabe esperar que los acuíferos de fisuración, definidos en tales depósitos carbonatados, deben presentar un carácter híbrido, de una dureza relativamente alta, pues las aguas allí albergadas tendrán en solución cierta cantidad de bicarbonato cálcico y magnésico.

**PALEÓGENO.**—Las formaciones paleógenas, concordantes con el Cretácico, se encuentran bordeando el gran anticlinorio de la Sierra de Altomira, especialmente su flanco oriental, donde alcanzan gran extensión y potencia, sin duda mejor conservadas por lo tendido de este flanco, mientras al oeste son relativamente escasos sus afloramientos, que a modo de cordones orientados de norte a sur se apoyan sobre el Mesozoico, e incluso sin llegar a aflorar son recubiertos por los sedimentos miocénicos.

La ausencia de datos paleontológicos dificulta enormemente la división del Paleógeno, e incluso su separación del Mioceno suprayacente, teniendo en cuenta también las analogías petrográficas de estos sistemas, lo cual lleva consigo que en su estudio y descripción no coincidan todos los geólogos que se han ocupado de la región, debido a la diferencia de criterios seguidos en sus interpretaciones, puesto que sólo pueden tomarse las consideraciones estratigráficas estructurales.

Son precisamente estas consideraciones estructurales las que nos inducen

a separar el Paleógeno en un Eoceno plegado y concordante con el infrayacente cretácico y un Oligoceno horizontal, discordante por tanto con el Eoceno y la base del Mioceno.

### 3. Eoceno

Las formaciones eocenas se extienden de una manera primordial al este de la Sierra de Altomira, formando una franja entre los anticlinales del norte de Paredes y el de Huelves, así como unos pequeños cordones a poniente de este anticlinal y sureste de Barajas de Melo.

La zona oriental queda recubierta por estos depósitos, desde Vellisca a Loranca del Campo, pasando el límite de la formación entre Vellisca y Huete y al suroeste de Loranca, englobando los pueblos de Carrascosa del Campo y Alcázar del Rey, aflorando también en las inmediaciones de Huete.

De una manera general, estas formaciones se constituyen por tres alterancias de margas arcillosas rojizas y samitas de las mismas coloraciones, que por su mayor dureza forman una serie de alineaciones que a modo de crestas surcan la zona en dirección sensiblemente norte-sur.

Como primera intención, parece tratarse de una repetición ciclotemática de estos paquetes, pero una vez estudiados con detenimiento se determinan como unidades independientes, análogas en lo general, pero distintas en su secuencia, pudiendo definir las unidades de cada paquete como entes de una estratificación microlenticular, ya que aun abarcando gran extensión, no implica una desarmonía en la secuencia general de los terrenos, ni siquiera un verdadero cambio lateral de facies.

Según las correlaciones que hemos podido hacer entre varios afloramientos de Loranca del Campo, Carrascosa del Campo, carretera de Vellisca a Garcinarro, este de Altomira, etc., se debe establecer una secuencia para el Eoceno en cada uno de sus paquetes en los siguientes términos:

Samitas cuarcíticas semigruesas bien cementadas pardo-amarillentas (6 m.); samitas arcillosas de cuarzo, finas, bien cementadas y duras (5 m.); samitas arcillosas de cuarzo, muy finas, amarillentas claras con estratificación laminar (0,55 m.); samitas conglomeráticas cuarcíticas (2 m.); pelitas margosas blancas (0,20 m.); samitas margosas de cuarzo, finas, grises (1 m.); samitas amarillentas, estratificación cruzada (1 m.); samitas rojizas (0,25 m.); margas arenosas rojas (0,60 m.); margas arcillosas rojas (0,30 m.); margas

calcáreas blancas (0,15 m.); margas arenosas amarillentas (0,50 m.), y margas arcillosas verdes (0,35 m.).

Esta secuencia de elementos detríticos rudáceos o arenosos, y formaciones híbridas lutáceas y químicas, se repite, pero sin conservar concretamente sus elementos; así, cerca del Chozo de La Loma, tres kilómetros al sur del kilómetro 22 de la carretera de Tarancón a Carrascosa del Campo, bajo una capa de unos 0,70 metros de tierra de labor, aparece la siguiente secuencia con un buzamiento general de 20° E.:

Caliza margosa blanca (0,50 m.); margas calcáreas amarillentas (1,50 metros); samitas blanquecinas con fisuras yesíferas (4 m.); margas amarillentas claras (0,60 m.); margas amarillo-rojizas (0,40 m.); samitas amarillentas (0,20 m.); margas arcillosas grises (0,60 m.); samitas margosas amarillentas (3 m.); margas arcillosas grises (0,80 m.); samitas margosas amarillentas (3 m.); arcillas margosas rojas (0,30 m.); margas arenosas amarillentas (0,20 m.), y margas arcillosas verdes (0,60 m.).

Mientras que en La Raga, al NE. de Carrascosa del Campo, la secuencia es:

Samitas calcáreas amarillo claro; samitas compactas con estratificación cruzada amarillentas; arcillas rojas (0,20 m.); margas calcáreas blancas, y margas arenosas amarillentas.

Estas formaciones eocenas se extienden de una manera concordante sobre el Cretácico, pero dulcificando la tectónica, ya que en las zonas orientales, a lo largo de unos 10 kilómetros, solamente se define un sinclinal, y hacia el este un anticlinal, como lo justifica el afloramiento de las calizas senonenses en su parte axial, definiendo este anticlinal al SW. de Carrascosa del Campo.

#### 4. Oligoceno

Consideramos como Oligoceno, un conjunto de tres facies distintas que, dispuestas en discordancia sobre el Eoceno, se presentan concordantes infrayacentes con el Mioceno, perfectamente reconocido y definido en la región.

El tramo inferior queda constituido por un conglomerado arcilloso de cuarcita, que se forma de cantos cuarcíticos muy redondeados, con un coeficiente de esfericidad grande, y bien trabajados, presentándose diversos tamaños, siendo de uno a dos centímetros el diámetro medio, pero pudiendo alcanzar hasta ocho o diez. Los cantos son casi exclusivamente de cuarcita, y se encuentran trabados por una matriz arcillo-sabulosa de color rojo vivo, permaneciendo esta pudinga oligomítica muy poco endurecida, por lo que el

sedimento es fácilmente erosionable, extendiéndose en la actualidad por zonas que no estuvieron recubiertas por dicho sedimento, o que ya había desaparecido por la erosión, por todo lo cual es difícil su cartografía exacta.

Esta formación rudácea se presenta únicamente en una gran mancha entre Carrascosa del Campo, Alcázar del Rey, Vellisca y Loranca del Campo, al parecer discordante sobre las samitas y arcillas eocenas, pero sin mostrar clara estratificación.

Si tenemos en cuenta el carácter detrítico del Eoceno, y el color rojo de sus tramos arcillosos, podemos comprender la asimilación que de este paquete se ha hecho al Eoceno o Paleógeno en general, pero en realidad no se puede identificar con él, ya que aun no apreciándose la estratificación, el sedimento no se continúa como aquellos conjuntos, y sus afloramientos deberían guardar la misma dirección que los eocenos, en vez de presentarse como un único manchón, precisamente en la zona axial de un anticlinal eoceno.

Así pues, hemos de admitir la discordancia entre esta formación y la eocena infrayacente, fijando una edad oligocena para este depósito.

El tramo intermedio y superior se presenta con una extensión muy reducida al sur y suroeste de Barajas de Melo, sobre los valles del río Calvache y su afluente el arroyo de Vallehondo.

Se forma el tramo inferior por unas margas arcillo-yesíferas rojas, de gran homogeneidad, y en las cuales la proporción de sales no es excesiva, ya que no llegan casi nunca a constituir depósitos salinos independientes. No se aprecia bien la estratificación, ya que este afloramiento es debido a la erosión del río Calvache, y, por tanto, aparte de destruir los estratos, va creando a sus expensas nuevos depósitos cuaternarios aluviales, que enmascaran los terrenos primitivos.

Sobre estos sedimentos se depositó un tramo de unos 50 metros de potencia de margas arcillo-yesíferas, con yesos que constituyen el tramo intermedio del Oligoceno.

Esta formación comprende un conjunto de estratos, con potencia media de un metro, de margas arcillosas, que engloban nódulos salinos o capas salinas, con algo de margas arcillosas. Sus coloraciones son rojas y generalmente el yeso toma estructura sacaroidea blanca, si bien en muchos casos esta formación no llega a ser yesífera y se conserva como depósitos de anhidrita.

Su disposición es concordante con su muro y techo yacente, y sus estratos se muestran sensiblemente horizontales.

NEÓGENO.—Las formaciones neógenas ocupan grandes extensiones entre

Huete, Loranca del Campo, Alcázar del Rey y Vellisca, en la zona este, y toda la región occidental del conjunto de Altomira.

Con una disposición horizontal, o ligeramente ondulada, se muestra en su mayor extensión el Mioceno, representado por sus tramos Sarmatiense y Pontiense, mientras que las formaciones pliocenas, muy restringidas, se reducen a depósitos de pied-mont, en las laderas de la Sierra cretácica.

Generalmente, estos depósitos del Plioceno no se han considerado, y respecto al Mioceno, si bien hemos de admitir las reservas a que nos obliga la paleontología, los geólogos que han trabajado en estos lugares están de acuerdo en atribuir tal edad a estos depósitos inconfundibles; en sus tramos inferiores engloban también los depósitos oligocénicos, que en nada guardan relación con los clásicos tramos miocenos de toda Castilla la Nueva, perfectamente identificados, aun sin ser extraordinaria la abundancia de fósiles que presentan.

### 5. Mioceno

Las formaciones miocenas representadas en la zona, muestran dos tipos de facies diferentes: una facies arcillo-margosa y salina en la zona de levante, también presente en el oeste, pero que en estas comarcas se ve coronada con la otra facies arcillo-sabulosa y calcárea.

Pertenecen pues estos terrenos, a los dos pisos representativos de este sistema, el Sarmatiense y el Pontiense, que predominantemente afloran al este y al oeste respectivamente.

Para estos autores, estos pisos solamente deben asimilarse a un Vindoboniense inferior y superior, e incluso admiten haber sido afectados por una tectónica mucho más acentuada que la que reflejan sus estratos, especialmente en las comarcas más próximas a la Sierra de Altomira.

Se han descrito anticlinales calizos como pontienses, con buzamiento mucho más acentuado que los de las formaciones cretácicas, lo cual, sin duda alguna, quiere decir, que el plegamiento que hizo emerger la citada Sierra fue posterior a tales depósitos pontienses, cosa inadmisibles, dada la intensidad de las fases orogénicas post-pontienses, y también teniendo en cuenta la estructura de estos depósitos terciarios en toda la Meseta Castellana.

Tales anticlinales en realidad no son pontienses, sino senonenses, como se demuestra en un estudio de litofacies, comparativo y detallado, teniendo en cuenta las analogías estructurales y tectónicas de toda la región.

a) VINDOBONIENSE.—Los estratos que definen el piso vindoboniense comprenden, en realidad, la mayor extensión del Mioceno de la zona; incluyen casi todos los afloramientos occidentales y gran parte de los orientales.

Abarca este piso las laderas del río Calvache y su afluente el arroyo Vallehondo, extendiéndose hasta los confines del Paleógeno y Secundario de Altomira, entre las elevaciones de Capitana y Loma de Matorral. Más al sur, aflora en el valle del arroyo de Belinchón, con sus afluentes Vejas y Cañada, formando un amplio circo al NE. de Tarancón, que completa los afloramientos occidentales con las laderas del río Riansares.

En la parte central, el Vindoboniense ocupa los bajos del sinclinal de Paredes-Huelves, y el definido entre Huelves y Pedro Serrano-Cuclillo.

A occidente, exceptuando los afloramientos pontienses de Loranca del Campo, todo el Terciario representado corresponde a este piso.

En concordancia estratigráfica con el Oligoceno, aparecen unas margas arcillosas con gran abundancia de yesos, las cuales presentan toda la gama posible de texturas: granudo-cristalinas en capas muy potentes, compacta con aspecto de marga calcárea en lechos de poco espesor, maclada en cristales lenticulares de diferente aspecto, e incluso, entre las margas, cristales que al partirse, según planos de fácil exfoliación, dan lugar a láminas triangulares en forma de punta de flecha, que reciben el nombre de "espejuelo".

Este tramo de margas yesíferas, a veces presenta tal proporción de yesos, que éstos son mucho más abundantes que aquéllas, y toma dos aspectos principales: en capas o lentejones, con estructura finamente granuda y espesores muy potentes, o bien formando una apretada masa de cristales que completa todo el espesor de la marga, la cual se reduce a pequeñas intercalaciones entre los cristales.

Es precisamente en estos grandes bancos de margas yesíferas o yesos margosos donde, como es natural, aparecen las mayores proporciones de sulfatos sódicos, tales como la thenardita o sulfato sódico-cálcico; la glauverita, poco soluble en agua, pero que en contacto con la humedad atmosférica se recubre de una capa farinácea de sal de Glauber (mirabilita), minerales que hablan de una formación de lagunas saladas sometidas a elevadas temperaturas.

Junto a estas sales aparecen también cloruros sódicos, unas veces en lentejones o en capas irregulares, y otras en forma de sarpujido de cristales entre las margas y yesos.

Entre estos estratos margo-salinos se presentan también capas no salinas, y como es lógico toda una serie de rocas intermedias entre margas, arcillas y yesos.

En estos tramos vindobonienses son frecuentes los fenómenos metasomáticos, y por una parte los primitivos depósitos de anhidrita, al hidratarse para transformarse en yeso, sufren un aumento de volumen que obliga a replegarse al estrato salino comprendido entre dos capas margosas, pero otras veces sufren una silificación, como ocurre a lo largo del contacto Alcázar del Rey-Huete, originando una serie de afloramientos silíceos con estructura más o menos concéntrica o estalactítica, como producto del metasomatismo del yeso en sílex, apreciándose perfectamente los relictos salinos entre el sílex autigénico.

A veces, estos intersticios o cavidades que resultan de la transformación salina son invadidos por aguas calcáreas, que originan una formación local de sedimentos de caliza tobácea bastante dura y compacta.

Sobre esta formación es frecuente encontrar algunos tramos de margas amarillentas, algo sabulosas, así como arenas finas de idénticas coloraciones, y por lo general están muy humedecidas por aguas salobres, lo que origina que, en las épocas más calurosas del año, se forme una película de sales blancas en las partes externas de sus afloramientos, donde es más intensa la evaporación de las aguas que las contienen; de esta manera se forman unos curiosos afloramientos más o menos sabulosos, que aparecen como capas completamente blancas en superficie.

b) PONTIENSE.—Sobre este conjunto de formaciones margo-yesíferas, y en perfecta concordancia estratigráfica, se depositan los sedimentos pontienses, que comprenden al lado oriental sólo los cerros de Torero, al NE. de Loranca del Campo, y el de Sotechón, al WSW. del mismo pueblo, así como los del Monte, Morilla y del Cristo, al NE., E. y SE. de Alcázar del Rey, respectivamente.

En la zona occidental este piso, mucho más extenso, se localiza al norte de Barajas de Melo, en Navarredonda, Las Rozas, al SE. del mismo pueblo, y bordeando las estribaciones cretácicas de Altomira, en los cerros Capitana y El Tejado.

Los extremos más occidentales quedan casi en su totalidad constituidos por estas formaciones en Tarancón y sus proximidades por la carretera de Barajas de Melo, formando los cerros Veguillas y Pichón, y al oeste los cerros Miralbueno, Mojón Rubio, El Pinar y El Matorral.

Sobre las margas yesíferas del Vindoboniense, y de una manera insensible, dejan de dominar los depósitos salinos para constituir una serie de estratos de margas arcillosas, arcilla y samitas cuarcíferas, más o menos conglomeráticas, que toman coloraciones amarillentas.

A la vez que se constituyen estos tramos alternantes detríticos, se sustituyen insensiblemente los depósitos salinos por los carbonatados, haciéndose cada vez más calcáreas las arcillas y margas, a la vez que más duras y coherentes; algunos de estos tramos llegan a formar auténticas calizas tobáceas.

Sobre estos depósitos reposan unas samitas gruesas, que gradualmente se hacen más finas, pasan después a samitas polimícticas groseras, que de un modo insensible se hacen oligomícticas y finas, conservándose los colores grises o amarillo-cenicientos.

De esta forma se constituye un tramo intermedio entre el Vindoboniense y el Pontiense propiamente dicho, que se podría definir en la siguiente secuencia: samitas calcáreas, margas calcáreas, samitas conglomeráticas, arcillas grises, margas calcáreas, samitas calco-cuarcíticas, caliza tobácea, samitas finas, margas.

Este conjunto de estratos, que forman un término intermedio entre los depósitos margo-yesíferos sarmatienses y las calizas pontienses, los hemos datado como pertenecientes al Pontiense inferior, mientras que el Pontiense superior queda formado por unas calizas tobáceas y travertínicas, que rellenan las fisuras, orificios y cavidades entre los estratos de calizas granulares y compactas, adquiriendo en algunos puntos auténtico aspecto litográfico.

Estos depósitos calizos, en su base originan con frecuencia una serie de nódulos silíceos, por metasomatismo, que a veces, aumentando su extensión, llegan a unirse, formando un verdadero estrato de sílex, que puede llegar a adquirir una gran potencia y da un carácter muy generalizado y típico a todo el Pontiense de Castilla la Nueva.

## 6. Plioceno

Atribuimos la edad pliocena a una serie de sedimentos representados en la zona, que tienen unos caracteres totalmente distintos por su composición y estructura.

En primer lugar aparecen unos conglomerados o pudingas arcósicas de cuarcita, con cantos muy redondeados y una matriz esencialmente cuarcítica, aunque también se encuentran granos de feldespatos y algunas laminillas micáceas.

Estos conglomerados, de escasa potencia, se encuentran sobre las formaciones calcáreas pontienses, al parecer concordantes con ellas, pero no se presentan en todos los afloramientos de este piso.

Algunos autores atribuyen a este depósito la edad cuaternaria, mientras que para otros corresponde a un tramo superior del Pontiense.

Cierto es que su disposición concordante sobre el Pontiense puede sugerir esta idea, o bien que se trate de un tramo de este piso análogo a los ya definidos en su base, de naturaleza rudácea, pero al no ser potente en todos los afloramientos de tal edad en la Cuenca Sedimentaria Castellana, más bien debemos pensar que se trata de la base de una formación post-pontiense, y atribuirle una edad pliocena, o todo lo más plio-pleistocena, pues tal formación recuerda los depósitos de "raña" en las márgenes de los grandes ríos de esta edad.

Teniendo en cuenta la escasa potencia y extensión de tales depósitos en la zona que nos ocupa, no los hemos cartografiado en el mapa geológico.

El otro tipo de sedimentos que hemos atribuido al Plioceno lo constituyen unos conglomerados brechiformes polimícticos, que a modo de acumulaciones de pied-mont forman guirnaldas a lo largo de las formaciones cretácicas o entre unas y otras alineaciones, presentándose discordantes sobre el Cretácico y el Eoceno o Mioceno suprayacente.

Estos depósitos, sin estratificación, están formados por cantos angulosos, principalmente calcáreos, de diferentes tonalidades y aspectos, cementados por una matriz margo-sabulosa, de coloraciones rojizas, que parece ser el resultado de la alteración de calizas, arcillas y samitas que traban estos cantos.

Por su génesis y estructura, estos depósitos también podían ser datados como plio-pleistocenos, pero su distribución y relación con los sedimentos preexistentes, así como el escaso transporte que han sufrido los elementos detríticos, nos induce a considerarlos como pliocenos.

## 7. Cuaternario

Concluyendo esta descripción estratigráfica de las distintas formaciones que definen la geología de la zona, debemos citar, aunque no se hayan representado en el mapa geológico, unos depósitos fanglomeráticos y sabulosos que forman el cauce o sus laderas más próximas de los principales ríos de la zona: Calvache y Riansares.

Estos depósitos, de escasísimo espesor, se constriñen al cauce de las aguas, y representan en sus cantos todos aquellos terrenos por los que corre el río, trabándose tales fragmentos subangulares con aquellos materiales más blandos, que han sido arrastrados por las aguas, y que por lo general sólo han su-

frido, y no muy intensamente, una acción química de hidratación y algo de oxidación.

La escasa importancia de estos materiales, al objeto que se persigue con este estudio, nos aconseja no representarlos gráficamente, e incluso casi ni considerarlos.

## 2. ESTRUCTURA

La estructura o disposición de los diferentes estratos que constituyen los terrenos o formaciones geológicas de la zona que estudiamos, queda reflejada mejor que toda descripción en el mapa geológico que adjuntamos, y en los cortes geológicos que completan su significado.

Como puede apreciarse, gran parte de la zona forma una amplia llanura estructural, de terrenos terciarios y cuaternarios, más o menos modificados topográficamente por la erosión normal, pero presentan sus estratos sensiblemente horizontales, o a lo más con pequeños buzamientos no superiores a los 10°, lo que indica un ligero plegamiento muy suave, no siempre atribuible a fenómenos tectónicos.

En la zona central se eleva un gran promontorio secundario, que si bien, en su mayor extensión, no origina un relieve topográfico, los estratos constituyentes sí se elevan y descienden bruscamente, determinando un gran anticlinorio seminormal asimétrico disarmónico, con su flanco oriental más tendido que el abrupto y casi siempre fallado occidental.

Este gran anticlinorio, con dirección norte-sur, se abre meridionalmente, separando e independizando la serie menor en forma digital hacia el sur, a la vez que se inclina su eje, para terminar periclinalmente muy al sur de la zona que estamos describiendo.

Esta gran estructura secundaria, sin duda debe descansar sobre un zócalo paleozoico, según se deduce de los afloramientos meridionales de las provincias de Ciudad Real y Albacete.

Indudablemente, la estructura de este zócalo debe influir notablemente sobre la disposición de los terrenos del Secundario suprayacente, y así son varias las circunstancias que influyen en la disposición actual de estos sedimentos.

Una de estas circunstancias es la disposición y estructura de este zócalo, que a juzgar por la que adquiere en nuestra Península, debía estar formando amplios sinclinorios y anticlinorios muy replegados, con dirección

sensiblemente NW.-SE., disposición primaria que se completa con todo el reticulado de fallas que lo dividen en bloques, que definen fosas o mesas tectónicas, y a lo largo de toda la historia de la Tierra, juega y bascula determinando una estructura muy complicada y concreta.

En este estado de cosas se deposita el Secundario, amoldándolo a la topografía que aquella estructura y la erosión normal habían definido, por lo cual, este gran manto de estratos toma aquella configuración, si bien la va atenuando paulatinamente.

Con posterioridad, las fuerzas tangenciales endógenas modifican tales sedimentos, plegándolos, a la vez que se reajustan y sufren nuevas modificaciones los depósitos basales.

Contemporáneamente, o en episodios posteriores, nuevos efectos tectónicos modifican el conjunto, elevando la estructura, plegada como una unidad, y definiendo el anticlinorio; son los agentes erosivos externos los que lo denudan, haciendo aparecer los distintos terrenos que actualmente afloran.

En estos afloramientos se determinan estructuralmente una serie de anticlinales y sinclinales, que con una casi constante uniformidad tienen dirección sensiblemente norte-sur, pero que no afloran en continuidad estructural, es decir, conservándose paralelos unos a otros o, según lo indicado antes, terminando periclinalmente, antes o después, hacia el sur, sino que afloran y desaparecen bajo el Terciario, formando una serie de cúpulas estructurales características con sus anticlinales en cofre.

Este tipo de estructuras parciales refleja, en sí, que la dirección o, mejor, el eje del anticlinorio no es recto, inclinado al sur, sino que a su vez está plegado, arqueado, formando una línea más o menos sinusoidal, lo cual sólo debemos explicarnos por reajustes en el zócalo, elevándose bloques o anticlinales de él, que hacen elevarse al Secundario y al eje del sinclinorio; esta es la causa por la que tales cúpulas parecen alinearse según aquellas direcciones NW.-SE.

De esta manera, tenemos definido y explicado el aspecto y forma de los afloramientos del Secundario, pero aún se complica más su estructura al jugar bruscamente los bloques del zócalo, según las fallas de dirección norte-sur, o casi deberíamos decir, al no aguantar la plasticidad de los terrenos mesozoicos la intensidad de la fuerza tectónica; entonces estos depósitos se deforman hacia poniente, se desarmonizan, y fácilmente dan lugar a pliegues falla, rompiéndose estas estructuras en su flanco oeste y se definen bloques que se hunden hacia levante.

Estas circunstancias definen la disposición actual de los terrenos fallados longitudinalmente hacia poniente, y la desaparición bajo el Terciario, de los

principales flancos de los pliegues, a la vez que también los buzamientos hacia el oeste son más acentuados que los levantinos.

Como es natural, estas fallas principales de dirección N.-S. se conjugan con sus perpendiculares E.-W., para definir el sistema primordial de fracturas, completándose toda la estructura fallada con el sistema secundario NW.-SE. y NE.-SW.: fracturas y sistemas de fracturas que retocan la estructura general del Secundario.

Todo lo anterior implica que los empujes principales, que ocasionaron al menos los finales, procedían casi exclusivamente del este, mientras dicho conjunto sedimentario se apoyaba sobre un cratón ya consolidado a poniente.

En este conjunto de formaciones se observa una zona central plegada, que abarca los sedimentos jurásicos, cretácicos y eocenos, y otras zonas laterales que en discordancia angular se presentan horizontales o subhorizontales, y pertenecientes al Oligoceno y Mioceno.

Indudablemente, si no se puede establecer una cronología exacta de los terrenos, por falta de elementos fósiles concretos, tampoco podemos fijar taxativamente la edad de los plegamientos, pero sí se puede afirmar que el plegamiento principal es pre-oligoceno y post-eoceno, por lo que obedecen a la orogenia alpina, y como máximo, han debido actuar los movimientos meso-alpinos hasta su fase pirenaica, o si admitiéramos, con otros autores, que nuestro Oligoceno inferior fuese Eoceno, o al menos Paleógeno, y el Oligoceno medio y superior miocenos, podríamos tolerar hasta la fase sábrica como final de los movimientos meso-alpinos o principio de los neo-alpinos.

Por otra parte, y según se dijo anteriormente, parece ser que el Mioceno presenta ciertas ondulaciones muy débiles y amplias; estos amplios pliegues, que han sido atribuidos con frecuencia a la hidratación de las anhidritas infrayacentes del Vindoboniense, hoy transformadas casi en su totalidad en yesos, pues en este fenómeno de transformación por hidratación, sabido es que aumenta el volumen del sedimento un tercio del volumen primitivo, sin embargo, en estos fenómenos de hidratación los plegamientos que se originan son muy locales y casi se reducen a repliegues de los estratos salinos, mientras se conserva la horizontalidad o estructura general de las restantes capas, generalmente margo-arcillosas.

No puede tampoco fijarse una discordancia estratigráfica entre el Vindoboniense y el Pontiense que pudiera atribuirse a la fase stábrica de los movimientos neo-alpinos, pero sí es evidente el amplio plegamiento del Pontiense, como muy bien se aprecia en las zonas más occidentales de la provincia de Madrid (entre Arganda y Perales de Tajuña), que debemos atri-

buir a la fase rodánica de estos mismos movimientos que separan el Mioceno del Plioceno.

Así pues, la Sierra de Altomira constituye un anticlinorio mesozoico, que descansando sobre el Paleozoico sirve de basamento a las formaciones terciarias y cuaternarias de Castilla la Nueva, dividiendo en dos esta gran cuenca, la occidental, de Madrid, y la oriental, de Cuenca.

Las formaciones mesozoicas parecen acuñarse hacia el oeste, y así aparece el Cretáceo a poniente, en contacto con el macizo granítico de Guadarrama, mientras a levante, en Altomira, aflora el Jurásico inferior, al igual que al este de Cuenca.

Todos estos afloramientos del Secundario, de Altomira, se muestran fallados, independizándose en bloques que basculan hacia poniente, tomando una estructura de tipo sajónico, en pliegues falla, como resultado del empuje en dirección E.-W., que comprime la sierra contra el escudo espérico del oeste.

Por tanto, no debemos considerar únicamente la tectónica germánica como la causante de esta estructura, sino establecer que la Sierra de Altomira pertenece a un tipo mixto, participando de los tipos tectónicos orientales y suroccidentales, entre la tectónica sajónica celtibérica y la bética de tipo alpino.

En resumen, la zona que nos ocupa presenta una parte occidental constituida por estratos horizontales o subhorizontales, que se ponen en contacto discordante con los conjuntos mesozoicos centrales, que forman en sí la verdadera Sierra de Altomira, continuándose hacia levante por otras formaciones terciarias de idéntica estructura que la del oeste.

En el macizo central se define un anticlinorio, constituido por tres unidades, que definen unos siete anticlinales con sus correspondientes sinclinales de separación.

Este macizo central se muestra fallado, con las fallas principales al oeste, que definen bloques orientados al este, por lo que sus buzamientos son más tendidos hacia levante que hacia poniente.

Para no alargar demasiado esta memoria, prescindiremos de la descripción y enumeración de estos pliegues, ya que los indicamos en el mapa geológico y cortes que adjuntamos.

#### IV. ESTUDIO GEOFISICO

##### COMPROBACIONES HIDROESTRUCTURALES POR PROSPECCION GEOELECTRICA

Con el fin de comprobar el conocimiento de la estructura litológica en algunos lugares fundamentales de la zona, se ha efectuado una investigación geoelectrónica, cuyos resultados e interpretación son objeto del presente capítulo.

No se trata de realizar una prospección geofísica de la zona, sino de comprobar especialmente las estructuras falladas, que al poner en contacto brusco materiales muy dispares, pueden confirmarnos la inclinación del plano de falla y la posible existencia de cambios de litología en los paquetes subterráneos de interés hidrológico. Con tal fin, se han planteado unos cortes geoelectrónicos en diversos lugares de la zona, determinados por sondeos eléctricos (S. E.) efectuándose las medidas mediante las configuraciones electrónicas Wenner y Schlumberger. Mediante estas medidas, se intenta establecer la litología del subsuelo y sus características estructurales, fundándose en la distinta resistividad eléctrica de los materiales que lo constituyen. Una vez efectuado el estudio geológico, del que se deducen estos materiales y su estructura, se confirma su existencia y profundidad exacta con este tipo de prospección.

##### 1. Mediciones geoelectrónicas efectuadas

Se ha efectuado un total de 31 sondeos eléctricos, distribuidos en cinco zonas, y agrupados dentro de ellas en perfiles. Estos sondeos eléctricos, realizados por los métodos Wenner (W.) y Schlumberger (S.), tuvieron las si-

guientes características: los sondeos W., con número más denso de mediciones, fueron dobles, esto es, medidos dos veces con corriente alterna y continua, asegurando la precisión de las medidas al poder descartar las erróneas por efectos laterales, falsos contactos e irregularidades topográficas.

Las características de los perfiles investigados y la distribución de los sondeos eléctricos por zonas es la siguiente:

#### ZONA A.—“CUCLILLO”.

Al N. del Cerro Cuclillo se realizó un perfil de sondeos eléctricos, paralelo a la dirección seguida por la carretera de Cuenca, el ferrocarril y el río Riansares, con objeto de cortar el primer afloramiento cretácico de la distribución digital, con que meridionalmente se reparte la Sierra de Altomira, y en consecuencia dilucidar la estructura de este brazo, determinando taxativamente el buzamiento de sus flancos y, por tanto, la mayor extensión en profundidad de los acuíferos en ella definidos.

En dirección N. se realizó el SE/A/20, para enlazar este perfil con el correspondiente a la zona B.

*Perfil I.*—Longitud: 1.300 metros. Orientación aproximada: ENE.-WSW.

Sondeos eléctricos que comprende:

SE/A/1 (S.)	SE/A/5 (S.)
SE/A/2 (S.)	SE/A/20 (W. c. a.)
SE/A/3 (S.)	SE/A/20 (W. c. a.)
SE/A/4 (S.)	

#### ZONA B.—“HUELVES”.

Se denomina Huelves a la zona B, localizada al N. del pueblo de igual nombre, sobre el angosto que el río Riansares ha trabajado al cortar el segundo brazo de la distribución hacia el sur de la Sierra de Altomira.

Al igual que en la zona A, se pretendía determinar la extensión de sus flancos, bajo los sedimentos terciarios, a profundidades económicamente aceptadas para la explotación de los caudales englobados en dichos flancos. También interesaba la corroboración de la existencia de materiales samíticos eocenos profundos, debajo de los afloramientos de poniente.

*Perfil I.*—Longitud: 2.900 metros. Orientación aproximada: ENE.-WSW.

Sondeos eléctricos que comprende:

SE/B/20 (W. c. a.)	SE/B/7 (S.)
SE/B/20 (W. c. a.)	SE/B/8 (S.)
SE/B/6 (S.)	

#### ZONA C.—“PAREDES”.

Comprende la zona de afloramientos cretácicos, localizada al este del pueblo de Paredes, sobre la carretera de Cuenca; se han realizado dos perfiles de sondeos eléctricos para mejor determinar la complicada estructura fallada de este núcleo mesozoico, que constituido por bloques esencialmente calizos, circundado por materiales menos permeables, eocenos y miocenos, podrían independizar y aislar hidrológicamente uno de éstos.

*Perfil I.*—Longitud: 1.600 metros. Orientación aproximada: E.-W.

Sondeos eléctricos que comprende:

SE/C/10 (S.)	SE/C/12 (S.)
SE/C/9 (S.)	SE/C/13 (S.)
SE/C/11 (S.)	

*Perfil II.*—Longitud: 350 metros. Orientación aproximada: E.-W.

Sondeos eléctricos que comprende:

SE/C/14 (S.)
SE/C/15 (S.)

#### ZONA D.—“CARRASCOSA DEL CAMPO”.

Al sur del pueblo de Carrascosa del Campo se ha realizado un perfil de sondeos geoeléctricos, con objeto de dilucidar la estructura y distribución de los paquetes samíticos eocenos, susceptibles de constituir acuíferos de posible explotación, y si bien estos paquetes se arrumban isoclinalmente hacia levante, no siempre puede determinarse su buzamiento de modo concreto, e incluso nunca puede asegurarse que modificaciones tectónicas no expresadas en la superficie, puedan hacer desaparecer tales paquetes en el subsuelo, o al menos que su presencia no se haga a profundidades económicas adecuadas.

*Perfil I.*—Longitud: 3.300 metros. Orientación aproximada: E.-W.

Sondeos eléctricos que comprende:



SE/D/16 (W. c. a.)	SE/D/18 (W. c. a.)
SE/D/16 (W. c. c.)	SE/D/18 (W. c. c.)
SE/D/17 (W. c. a.)	SE/D/19 (W. c. a.)
SE/D/17 (W. c. c.)	SE/D/19 (W. c. c.)

#### ZONA E.—“BARAJAS DE MELO”.

Al este del pueblo de Barajas de Melo se ha determinado una zona, cuya investigación geofísica se ha intensificado notablemente, debido a ser este lugar el más importante, desde el punto de vista hidrológico, para la región objeto del presente estudio.

Esta zona es fundamental para dilucidar el comportamiento hídrico de la Sierra de Altomira, debido a tres circunstancias: el existir los únicos pozos profundos de la región, el ser el punto de cota más bajo de esta zona y el presentar el movimiento de agua más importante de la misma. Estas tres circunstancias fueron el motivo de intensificar más la prospección geoelectrica, pues conociendo todos los datos hidrogeológicos de la comarca, se pueden interpretar correctamente los resultados geoelectricos de esta zona y, por tanto, de las demás investigadas.

*Perfil I.*—Longitud: 1.800 metros. Orientación aproximada NE.-SW.

Sondeos eléctricos que comprende:

SE/E/21 (S.)	SE/E/25 (S.)
SE/E/22 (S.)	SE/E/26 (S.)
SE/E/23 (W. c. a.)	SE/E/27 (S.)
SE/E/24 (W. c. c.)	

*Perfil II.*—Longitud: 1.100 metros. Orientación aproximada: NE.-SW.

Sondeos eléctricos que comprende:

SE/E/28 (W. c. a.)	SE/E/30 (S.)
SE/E/29 (S.)	SE/E/31 (S.)

La situación de las zonas estudiadas, y la distribución de perfiles y sondeos eléctricos, se puede ver en los esquemas adjuntos de investigación geofísica.

## 2. Interpretación de resultados

De las curvas correspondientes a cada sondeo eléctrico se han deducido los estratos geoelectricos, previa determinación de su espesor y resistividad real, comparándolas con una colección de curvas patrón.

Debe puntualizarse que no se trata de investigaciones de detalle en cada zona, sino de buscar comprobaciones generales de estratigrafía y estructura. No se ha intentado una correlación estratigráfica entre puntos geoelectricos, ya que para esto sería necesario una mayor densidad de medidas geoelectricas, lo cual queda fuera de los límites del presente estudio, puesto que de él no se pretenden obtener características geoelectricas y una distribución de isoresistividades, sino el comportamiento hidrológico de la Sierra de Altomira.

Para cada perfil se ha efectuado la interpretación correspondiente, determinando la columna estratigráfica de cada S. E., de acuerdo con los datos suministrados por el estudio geológico precedente.

La representación gráfica de las resistividades aparentes de los distintos S. E. se adjuntan en gráficos, que los agrupan por zonas y perfiles.

Los sondeos S. se han representado en escala bilogarítmica, tomando en ordenadas las separaciones interelectródicas, en metros, y en abcisas las resistividades aparentes  $\rho_a$ . Los sondeos W. se han representado en escala lineal.

Analizamos a continuación brevemente los resultados obtenidos para cada una de las zonas, y la interpretación de los datos geofísicos.

#### ZONA A.—“CUCLILLO”.

La zona constituye geológicamente un anticlinal asimétrico al norte, de formaciones cretácicas del Senonense, dividido meridionalmente en dos por una fractura ensanchada por erosión y rellena de materiales terciarios.

Ambos flancos están en contacto con las formaciones terciarias del Mioceno, y el flanco occidental, más abrupto, fallado.

Perpendicularmente al eje del anticlinal, y en dirección de la carretera Tarancón-Cuenca, existe una línea de fractura que separa en dos al bloque cretácico.

El SE/A/1 se sitúa al pie del bloque cretácico, y comprueba claramente la existencia de la falla que afecta al flanco oeste del anticlinal cretácico, o al menos denuncia un buzamiento muy fuerte para este flanco.

Bajo dos metros de recubrimientos, compuestos de derrubios arcillo-

calcáreos, existe un tramo de elevada resistividad (350  $\Omega$  m.), con una potencia de cinco metros, que podría corresponder a un estrato calizo del anticlinal cretácico; a partir de esta profundidad empieza un gran paquete de margas y margas arcillosas de espesor mayor de 200 metros, cuya resistividad no sobrepasa los 25  $\Omega$  m.

Este gran paquete, que de por sí independiza hidrológicamente al macizo calizo de las formaciones terciarias occidentales, debe corresponder al conjunto margo-arcilloso vindoboniense, ya que, de no ser así, habría que pensar en una fuerte flexura cretácica, merced a la cual, los estratos de esta formación se colocarían verticales, y el S. E. reflejaría la resistividad de un único estrato margoso, el cual, por otra parte, dado el contenido de carbonato cálcico, debería tener una mayor resistividad. De todas formas, el valor medio, tan reducido para este paquete, también asegura la escasez de yesos o depósitos salinos, que siempre deben aumentar su resistividad, a no ser que estén impregnados de agua.

Sobre la línea de fractura que sigue al cauce del río Riansares se sitúa el SE/A/2. A pesar de su emplazamiento topográfico y estructural, desfavorables para la medición, se identifica en la curva correspondiente, descontados los tres primeros metros de recubrimiento, una serie de tres tramos bien diferenciados:

El primero, hasta los 20-25 metros, tiene una resistividad de 250  $\Omega$  m. y debe corresponder a materiales de naturaleza heterogénea, con cemento calizo, probablemente constitutivos de un milonito de falla.

El tramo siguiente, con una resistividad de 450  $\Omega$  m., corresponde ya a un Senonense de calizas duras, compactas y cristalinas, seguido a los 70 metros por un tramo de calizas margosas y margas de 126  $\Omega$  m. de resistividad. A los 150-170 metros parece iniciarse un nuevo estrato calizo, de resistividad similar a los anteriores.

Aunque no puede asegurarse taxativamente, parece concluyente la existencia de una fractura de salto no superior a 25 metros.

El sondeo 3, localizado en la parte axial del anticlinorio cretácico, demuestra la existencia de materiales posiblemente de recubrimiento.

Tienen estos materiales un espesor de 25 metros, y son de naturaleza margo-arcillosa (30  $\Omega$  m.), sin que tampoco en este caso se compruebe la aparición de yesos en extensión y espesor apreciables.

A la profundidad de 25 metros comienzan las calizas senonenses, con una resistividad de 345  $\Omega$  m., sin intercalaciones de estratos margo-arcillosos, lo cual refleja una potencia de más de 150 metros de caliza.

En la curva SE/4, realizada en el borde oriental del anticlinorio cre-

tácico, se refleja con su irregularidad una estructura más tendida de este flanco, pues los resultados obtenidos señalan una estratigrafía en profundidad.

Bajo un ligero recubrimiento margoso aparece un primer tramo, entre los 2 y 13 metros, constituido por alternancia de estratos calco-margosos y margo-calcáreos, que dan al conjunto una resistividad media de 190  $\Omega$  m.

De los 13 a los 25 metros aparece un tramo predominantemente margoso, que descansa sobre un estrato calizo de 310  $\Omega$  m., de unos 50 metros de potencia, apareciendo bajo él, otro paquete margoso de resistividad comprendida entre los 50 y 100  $\Omega$  m.

La estratigrafía geoelectrica del sondeo número 5 y su interpretación geológica es la siguiente:

Profundidades (metros)	Resistividades ( $\Omega$ m.)	Interpretación
0 - 4	60	Vindob. . . } Recubr. arc. Arcill. y mar. Arcill. yesíf. Cal. cretác. ?
4 - 20	25	
20 - 108	70	
108 -	570	

El tramo final, dado como calizas cretácicas, pudiera corresponder a la aparición, a partir de los 108 metros, de capas de yesos de considerable potencia a las que correspondería la resistividad de 570  $\Omega$  m., anormalmente elevada para las calizas senonenses. De todas formas, hemos de tomar estas interpretaciones con muchas reservas, pues los tramos finales de las curvas siempre encierran en sí el mayor número de errores.

#### ZONA B.—“HUELVES”.

Las estructuras de esta zona son muy similares a las de la anterior. Se trata de un anticlinal asimétrico, de zona axial más compleja, ya que el Cretácico está representado por sus pisos Senonense y Cenomanense, lo que indica que es un anticlinal más pronunciado y elevado, por lo que el desmantelamiento erosivo ha sido más intenso, dejando al descubierto las formaciones de más antigüedad. Como consecuencia de este acentuado plegamiento, la estructura es más complicada, estando cortado transversalmente por una falla que, acomplexada con otras longitudinales, definen bloques que juegan indistintamente.

El flanco occidental, más abrupto que el de levante, muestra el Cretácico en contacto con las formaciones eocenas, mientras al este, los sedimentos cretácicos se hunden bajo los terrenos miocénicos.

El sondeo SE/B/6 está situado próximo al flanco occidental y sobre las formaciones terciarias que lo recubren.

A partir de los ocho metros de profundidad, muestra la curva un único conductor de resistividad 138  $\Omega$  m. Estos materiales se identifican como samitas areno-arcillosas del Eoceno o del Albense.

Es evidente que las calizas senonenses del flanco, aflorantes a pocos metros del emplazamiento de este sondeo, desaparecen en una profundidad no inferior a 200 metros.

Los dos primeros elementos geoelectrónicos, de cinco y tres metros de espesor, corresponden respectivamente a un primer tramo arcilloso de 10  $\Omega$  m. y a un recubrimiento heterogéneo de 40  $\Omega$  m. de resistividad.

La medida SE/B/7 se sitúa sobre la parte central del anticlinal. El fuerte buzamiento de los estratos en este punto dificulta la interpretación de la curva del S. E., introduciendo errores en los valores obtenidos para la potencia de los estratos geoelectrónicos.

La estratigrafía obtenida es la siguiente:

Profundidad (m.)	Resistividades ( $\Omega$ m.)	Interpretación
0 - 7	185	Calizas margosas.
7 - 12	18	Margas.
12 - 46	345	Calizas compactas.
46 - 130	90	Margas calcáreas.
130 -	340	Calizas.

Hacia levante se realizó, ya sobre las formaciones vindobonienses, la medida SE/B/8, que atestigua una profundidad de estos materiales margo-arcillosos yesíferos, con resistividad media de 25  $\Omega$  m., de 63 metros, que recubre las calizas senonenses con 315  $\Omega$  m. de resistividad.

Estos materiales miocenos quedan a su vez enmascarados por una cobertera de derrubios y materiales meteorizados que, con 40  $\Omega$  m. de resistividad, llegan a tener hasta tres metros de potencia.

Como complemento a la investigación general realizada en las dos zonas "Cucillo" y "Huelves", se efectuó un sondeo de gran profundidad sobre los sedimentos terciarios que rellenan la zona entre los dos anticlinales ya estudiados, al que se le dio la sigla SE/AB/20, utilizando el método Wenner con corriente alterna y continua, para mejor determinar o interpretar las resistividades de los distintos tramos del subsuelo.

Comienza la medida señalando un pequeño recubrimiento inferior a los cinco metros, que es soportado por una pequeña capa arcillosa, bajo el

cual se determinan dos tramos: el primero de unos 100 metros de potencia, que presenta una tendencia resistiva ascendente hacia los 30  $\Omega$  m., y otro con resistividad también ascendente, pero que tiende hacia los 100  $\Omega$  m.

El primer tramo, sin inflexiones importantes, denuncia la homogeneidad del terreno, que sólo en su parte final la disminución de la resistividad puede indicar la existencia de un tramo más arcilloso, que soporta un gran paquete de naturaleza samítico-arcillosa, típica de los depósitos eocenos de esta región.

El tramo final, con mayor resistividad, muestra claramente tres inflexiones decrecientes, lo cual puede interpretarse como intercalaciones arcillosas entre tramos samítico-conglomeráticos, también del Eoceno (150-160; 180-190; 200-205; 220-250 metros), que al estar localizadas bajo el nivel piezométrico regional, muestran un aumento considerable de resistividad, a diferencia del paquete superior, posiblemente impregnado de aguas selenitosas procedentes del Vindoboniense, que provocan un descenso de la resistividad, pues la capa arcillosa de los 75-100 metros aísla este posible nivel freático del regional más profundo.

#### ZONA C.—"PAREDES".

El Cretácico en esta zona constituye un bloque isoclinal de materiales calizos del Senonense, que buzan a levante y están rodeados por sedimentos eocenos samítico-arcillosos. El bloque está delimitado por fallas al este y al oeste, así como por una transversal de dirección aproximada a la de la carretera Tarancón-Cuenca; es decir, que representa una estructura típica fallada en el flanco E. del último anticlinal en que se divide la Sierra de Altomira. Los bloques así definidos, juegan a modo de dovelas, hundiéndose unos y sobresaliendo los otros.

La fractura oriental separa, hacia el sur, un gran bloque cretácico, dejando una fosa a poniente que se rellena y recubre casi en su totalidad por materiales pliocenos brechoideos.

*Perfil I. Tramo 1.º*—Constituyen este tramo los sondeos 9 y 10, efectuados al W. del bloque cretácico, y determinan concluyentemente la situación de la falla, pocos metros al E. del punto 9, a la vez que añaden nuevos datos sobre la estratigrafía de las formaciones eocenas.

Para no alargar en demasía la extensión del presente estudio, expresamos a continuación los cuadros resumen de la interpretación de los sondeos SE/C/9 y SE/C/10.

## S. E. núm. 9.

Profundidad (m.)	Resistividades ( $\Omega$ m.)	Interpretación
0 - 4	54	Recubrimiento.
4 - 7	6	Arcillas.
7 - 18	150	Samitas.
18 - 21	6	Arcillas.
21 - ¿100?	100	Samitas arcill.
¿100? -	180	Samitas conglom.

## S. E. núm. 10.

Profundidad (m.)	Resistividades ( $\Omega$ m.)	Interpretación
0 - 2	20	Recubrimiento.
2 - 22	82	Samitas arcill.
22 -	164	Samitas conglom.

Existe una diferencia aproximada de cota de 20 metros entre ambos puntos, por lo que la alternancia superficial de arcillas y samitas eocenas, que tiene precisamente 21 metros en el primer punto, no aparece en el SE/C/10, por lo que estos dos puntos sólo pueden ser correlacionables en sus dos tramos finales, cuyas diferencias de resistividad obedecen tan sólo a la presencia o ausencia de los tramos superiores.

En el punto 9, los siguientes tramos del Eoceno arcillo-arenoso y Eoceno arenoso son correlacionables con los correspondientes del punto 10.

*Perfil I. Tramo 2.º*—Este tramo queda definido por los puntos de medida geoelectrica números 11, 12 y 13, que determinan la estructura oriental del bloque cretácico.

Las formaciones senonenses quedan recubiertas por los materiales terciarios pliocenos en el SE/C/11, donde alcanzan una potencia de 19 metros. Comienza con un recubrimiento al que sigue una capa arcillosa de cinco metros de potencia y 3  $\Omega$  m. de resistividad, que deja paso a un segundo tramo de brechas arcillosas de caliza, con resistividad de 30  $\Omega$  m.

Las formaciones cretácicas comienzan a los 19 metros, con las formaciones calcáreas senonenses, compactas y cristalinas, de elevada resistividad (400  $\Omega$  m.).

La medida SE/C/12, localizada sobre el segundo bloque cretácico, permite establecer, dentro de la irregularidad de la curva, la estratigrafía, que comienza con un recubrimiento muy resistivo, que deja paso a un material arcillo-margoso soportado por un paquete samito-conglomerático eoceno, hasta los 11 metros de profundidad, donde un nuevo estrato samítico de 190  $\Omega$  m., caracterizable como eoceno, establece el contacto hacia los 26 metros, con las calizas senonenses de idéntica resistividad que la registrada en medidas anteriores.

Se concluye el perfil con el S. E. número 13, localizado más al este del segundo bloque y que demuestra la suave pendiente de los estratos cretácicos hacia levante.

Las calizas senonenses comienzan con idéntica constitución que en los anteriores puntos, hacia los 18 metros, con una resistividad de 500  $\Omega$  m., recubiertas por sedimentos arcillosos eocenos de baja resistividad (12  $\Omega$  m.).

*Perfil II.*—Constituido por los S. E. números 14 y 15, ponen de manifiesto la fosa definida entre ambos bloques cretácicos, rellena de sedimentos pliocenos, así como la existencia de la falla oriental con la que comienza el último eslabón cretácico.

En el SE/C/14, localizado al pie del borde oriental del primer bloque, muestra, bajo un recubrimiento de dos metros de potencia, de materiales brechoides margosos de caliza, un paquete de 10 metros de espesor, subdividido eléctricamente en dos estratos de 170  $\Omega$  m. y 70  $\Omega$  m., respectivamente, que pueden corresponder a la base pliocena más conglomerática y al principio del Eoceno arenoso, que luego se continúa con un tramo arcilloso de 12  $\Omega$  de unos 10 metros de espesor.

A partir de esta profundidad (unos 22 metros) aumenta la resistividad considerablemente, hasta tender a infinito, lo cual se interpreta como el comienzo de las calizas senonenses, aunque esta anomalía sea debida probablemente a efectos laterales y heterogeneidades superficiales.

La medida número 15, próxima al borde oriental de la cuenca, presenta un espesor de 35 metros de arcillas de baja resistividad (8  $\Omega$  m.), recubiertas por materiales de meteorización, que con espesor de dos metros, sólo llegan a alcanzar los 12  $\Omega$  m.

A partir de los 35 metros aumenta la resistividad, tendiendo a los 325  $\Omega$  m., lo que pone de manifiesto la presencia de los materiales calizos del Cretácico. Este hecho denuncia un salto de falla a levante de unos 35-40 metros aproximadamente.

### ZONA D.—“CARRASCOSA DEL CAMPO”.

Forma parte esta zona, de la gran masa de depósitos terciarios eocenos, constituyentes de una amplia franja que se extiende desde el norte de Vellica y Loranca del Campo, hasta Carrascosa del Campo, límite de la región estudiada, y bordeando la parte oriental de la Sierra de Altomira.

El perfil investigado consta de cuatro S. E. y comienza a la altura del kilómetro 1 de la carretera de Carrascosa a Palomares del Campo, y termina en las estribaciones de la rama oriental del anticlinal periclinal cretácico situado al SW., poniendo de manifiesto, los sondeos eléctricos realizados, la estratigrafía eocena de la región.

El sondeo número 16 comienza con un recubrimiento pequeño, sobre un primer tramo eoceno, con resistividad de 150  $\Omega$  m.; tan elevada resistividad relativa se corresponde con la sucesión de samitas cuarcíticas y conglomeráticas de las formaciones eocenas. Estas tienen una potencia de 25 metros y finalizan con un estrato arcillo-margoso de 15 metros de espesor y 85  $\Omega$  m. de resistividad.

A la profundidad de 45-50 metros comienza un segundo tramo samítico que termina a los 135-140 metros, con un estrato arcilloso que se prolonga hasta los 150 metros, profundidad total investigada. Los materiales que lo constituyen forman un conjunto homogéneo en que alternan las margas sabulosas y samitas, con una resistividad media de 30  $\Omega$  m.

El sondeo número 17 presenta los mismos dos tramos con resistividades de 80 y 40  $\Omega$  m., respectivamente; en el primero, de similar constitución que el ya descrito, se incluyen estratos de samitas arcillosas que hacen descender la resistividad media del tramo; el segundo es idéntico al correspondiente en el sondeo número 16; ambos tramos tienen potencias de 75 y 65 metros, respectivamente.

No se observan en las curvas de estos dos puntos inflexiones importantes que puedan corresponder a alteraciones substanciales en la estratigrafía descrita.

Los S. E. números 18 y 19 son muy diferentes entre sí y distintos a los anteriores. Comienzan ambos con el acostumbrado recubrimiento de pequeño espesor sobre un tramo arcilloso; el sondeo número 18 empieza a los 20 metros del primer tramo, cuya resistividad de 80  $\Omega$  m. es idéntica a la del primero en los sondeos anteriores (S. E. núm. 17), por lo que le asignamos la misma constitución geológica que a éste. El primer tramo del sondeo número 19 es de naturaleza predominantemente arcillosa, como indica su reducida resistividad media de 25  $\Omega$  m.

La terminación de estos dos primeros tramos no se señala con claridad en las curvas. A partir de los 100 metros, en el sondeo número 18, comienza una zona irregular, en la que existe discordancia entre las curvas de c. a. y c. c.; tiene una resistividad ligeramente más alta que la del tramo superior, y aparecen en ella algunas inflexiones indicativas de estratos de areniscas de grano grueso sobre arcillas.

El tramo irregular comienza en el sondeo número 19, a los 70 metros. La coincidencia entre las curvas de c. a. y c. c. es, en este caso, relativamente buena, señalándose claramente un estrato de 20 metros de potencia y resistividad superior a 200  $\Omega$  m., de constitución idéntica al ya descrito en el sondeo número 18, sobre un tramo final margo-arcilloso de 15  $\Omega$  m. de resistividad.

### ZONA E.—“BARAJAS DE MELO”.

Constituye esta zona el borde nor-occidental del gran anticlinorio que forma la Sierra de Altomira. Este borde es a su vez un anticlinal replegado cuyo flanco oeste está cortado por una gran falla, que al mismo tiempo que separa pequeños bloques cretácicos, pone en contacto éstos con los sedimentos terciarios.

*Perfil I.*—Se inició este perfil ligeramente transversal a la dirección de la falla, según se señala en el estudio geológico de la zona, dividiéndose el perfil, para su mejor análisis, en tres tramos bien definidos: el primero lo constituyen los sondeos 21 y 22, situados sobre el bloque cretácico; en efecto, la caliza cretácica aparece claramente a una profundidad media de 17 metros con una resistividad de 500  $\Omega$  m.; sobre ella, el tramo superior del Cenomanense, formado por margas arcillosas y calcáreas con cemento margo-arcilloso, con una resistividad de 25  $\Omega$  m.

El recubrimiento lo forma una cobertera de materiales de naturaleza brechoide, constituido por cantos calizos con matriz arcillosa y resistividad entre 60 y 100  $\Omega$  m.; el espesor medio de este recubrimiento es de tres metros.

Los sondeos números 25, 26 y 27 forman el segundo tramo del perfil sobre el bloque hundido al W. de la falla.

Estos tres sondeos ponen de manifiesto materiales de naturaleza predominantemente arcillosa, cuya resistividad máxima es de 60  $\Omega$  m., por lo que puede descartarse la existencia de caliza cretácica bajo este tramo del perfil, que determina en esta zona un salto de falla, no inferior a los 200 metros.

El estrato superficial está constituido por materiales terciarios meteorizados, con resistividades de 20-60  $\Omega$  m. y un espesor medio de cuatro metros. En el punto 26 se incluye un metro de brechas calcáreas muy resistivas (210  $\Omega$  m.); esta formación cubre a los estratos oligocenos y miocenos, en los que se señalan dos tramos, cuya superficie de contacto se define geoelectricamente con claridad.

El tramo más superficial es absolutamente arcilloso (16-20  $\Omega$  m.), y tiene un espesor entre 16 y 22 metros.

El Terciario profundo, de potencia indefinida, pero superior a 100 metros, es de resistividad más elevada, lo que indica que los materiales del tramo superficial alternan con otros constituidos por margas, arcillas yesíferas y yesos, que elevan la resistividad media del tramo a 45-65  $\Omega$  m.

Como puede verse, no existe distinción geoelectrica entre los materiales del Oligoceno y del Vindoboniense. El primer tramo arcilloso es idéntico en ambos, y el infrayacente yesífero resulta ser algo más resistivo en el Vindoboniense, sin que de todos modos pueda establecerse una diferencia clara.

El tramo central del perfil (puntos 23 y 24) corresponde a la zona de corte con la falla. De los sondeos efectuados, se obtuvieron curvas de difícil interpretación, por dejarse sentir influencias laterales, debidas a la posición de las alas de medida sobre puntos de muy diferente resistividad.

En el sondeo número 23, las calizas cenomanenses parecen comenzar a los 10 metros de profundidad, sobre un tramo margoso, seguido de nuevos estratos de calizas y calizas margosas. La alternancia se expresa en el siguiente cuadro:

Profundidad (m.)	Resistividades ( $\Omega$ m.)	Interpretación
40 - 85	300	Calizas.
85 - 120	130	Calizas margosas y margas.
120 - 200	350	Calizas.

Los primeros 40 metros pueden corresponder a materiales heterogéneos, predominantemente calizos, producto de la falla próxima.

El sondeo número 24, evidentemente sobre formaciones terciarias, presenta un primer plano irregular hasta los 70 metros de 75  $\Omega$  m. de resistividad, que debe interpretarse lógicamente como continuación del segundo tramo del Terciario, hasta su contacto con la superficie de fractura del bloque calizo; su resistividad, ligeramente más alta que la de los materiales

terciarios, debe indicar que éstos aparecen en este punto mezclados con derrubios calizos, producto del milonito de falla.

El conductor base tiene 5  $\Omega$  m. de resistividad, y corresponde ya al Terciario arcilloso.

*Perfil II.*—Los cuatro sondeos que constituyen este perfil se sitúan sobre el Cretácico cenomanense, al E. de la falla.

El terreno de alteración oscila entre uno y tres metros, con resistividades variables, correspondientes a la heterogénea naturaleza de los materiales que lo forman.

Comienza el Cenomanense, a lo largo del perfil, con un primer tramo de margas calcáreas de 28 metros de espesor y resistividad de 25-35  $\Omega$  m. Se exceptúa el punto 28, en que la potencia de este estrato es solamente de 15-18 metros.

La caliza cretácica infrayacente tiene una resistividad de 300-500  $\Omega$  m., que en el punto 30 desciende a 190  $\Omega$  m., lo que demuestra su constitución margosa bajo este punto.

El sondeo 28, efectuado con un intervalo de medición de tres metros, muestra estratos margosos de pequeño espesor, dentro del tramo calizo cenomanense (51-54 metros, 72-75 metros).

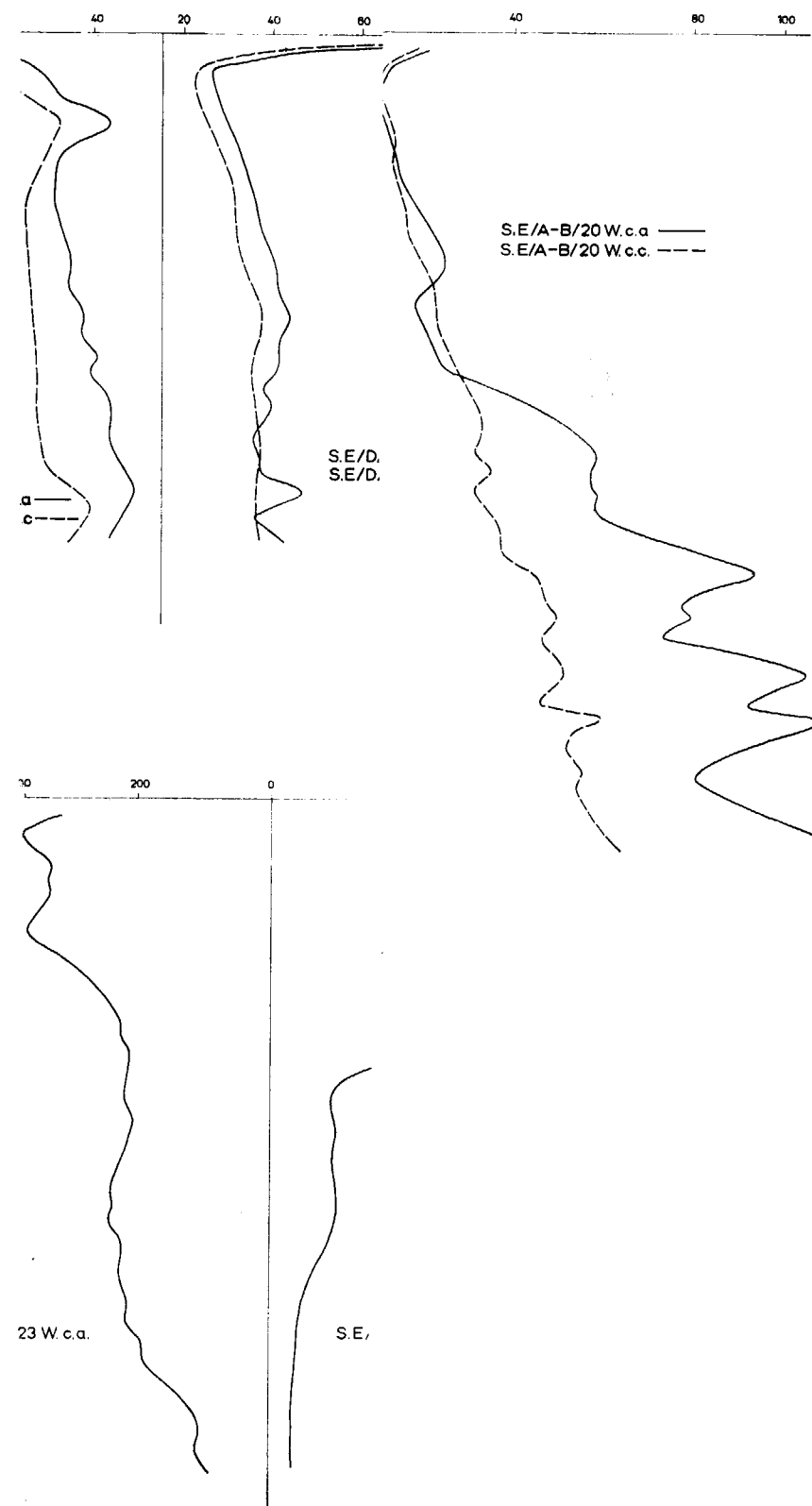
Como consecuencia de todo lo expresado en este capítulo, el estudio geoelectrico confirma los datos estructurales definidos por la geología, dividiéndose la Sierra de Altomira en tres brazos digitales, que constituyen pliegues asimétricos fallados, o abruptamente buzando un pliegue falla a occidente, mientras los flancos orientales se hunden lentamente bajo los depósitos terciarios.

A efectos hidrológicos, estas terminaciones a poniente de los sedimentos mesozoicos son verdaderas murallas que retienen e independizan los acuíferos definidos en una u otra formación, y solamente a grandes profundidades, donde las presiones sean suficientemente elevadas, puede producirse alguna infiltración, que en todo caso no podrá considerarse desde un punto de vista económico, ya que el agua así infiltrada gozará de todos los inconvenientes de su explotación: gran salinidad, mucha profundidad y pocos caudales.

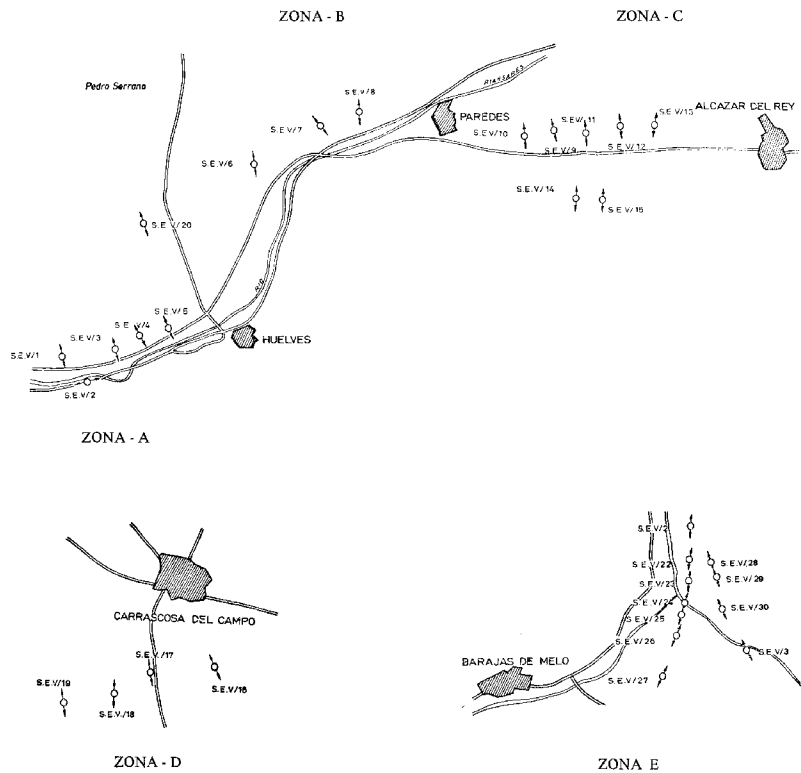
Hacia levante se prolongan los acuíferos mesozoicos, bajo los terrenos eocenos u oligocenos, e incluso por la naturaleza de éstos puede ser que, en profundidad, tengan una recarga de aguas mesozoicas, y en determinados lugares, poder surgir en forma artesisiana o subartesisiana, hasta alcanzar niveles estáticos económicamente explotables.

Respecto a la confirmación de roturas, demuestra perfectamente la geofísica su existencia; unas veces separando netamente los conjuntos calizos de los miocénicos, y otras intercretácicas, que sólo se denuncian por disminución de resistividad, fácilmente explicable por ser buenas recolectoras de agua, que impregna el milonito.

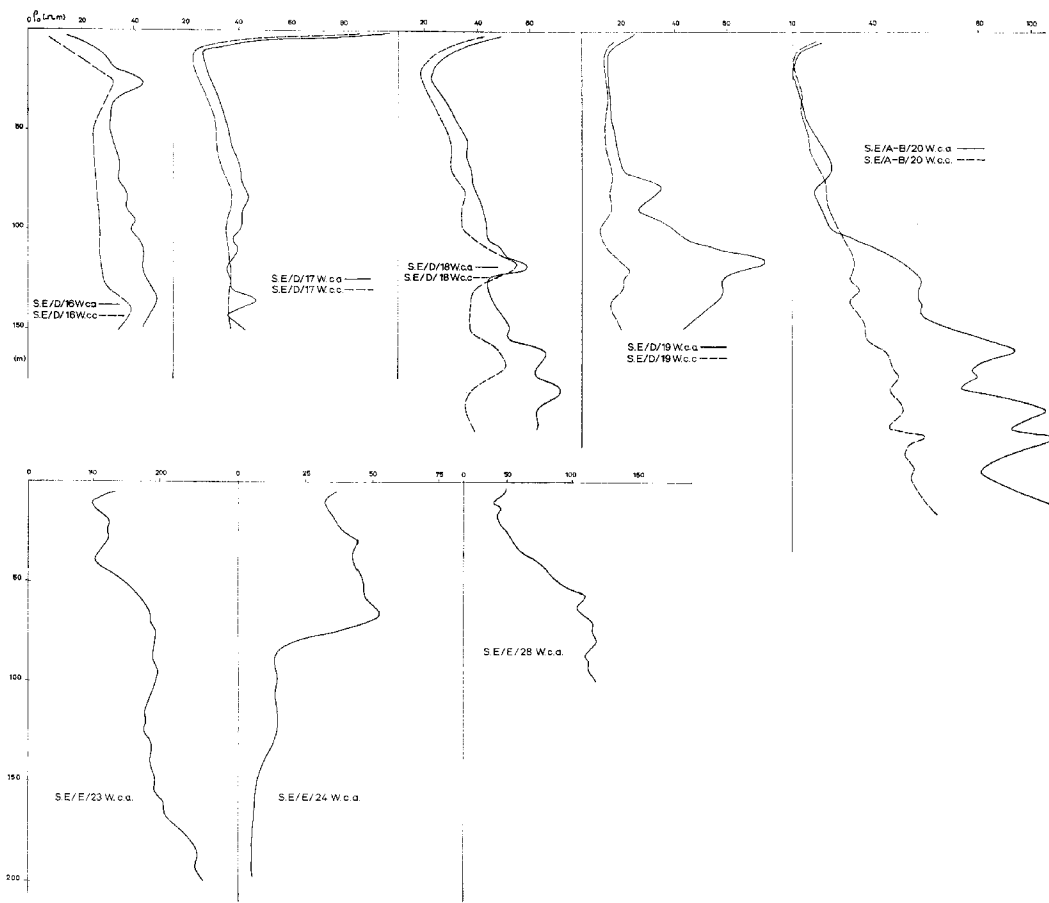
## CURVAS DE TRÍCOS



INVESTIGACION GEOELECTRICA  
 ESQUEMA DE SITUACION DE LOS SONDEOS ELECTRICOS

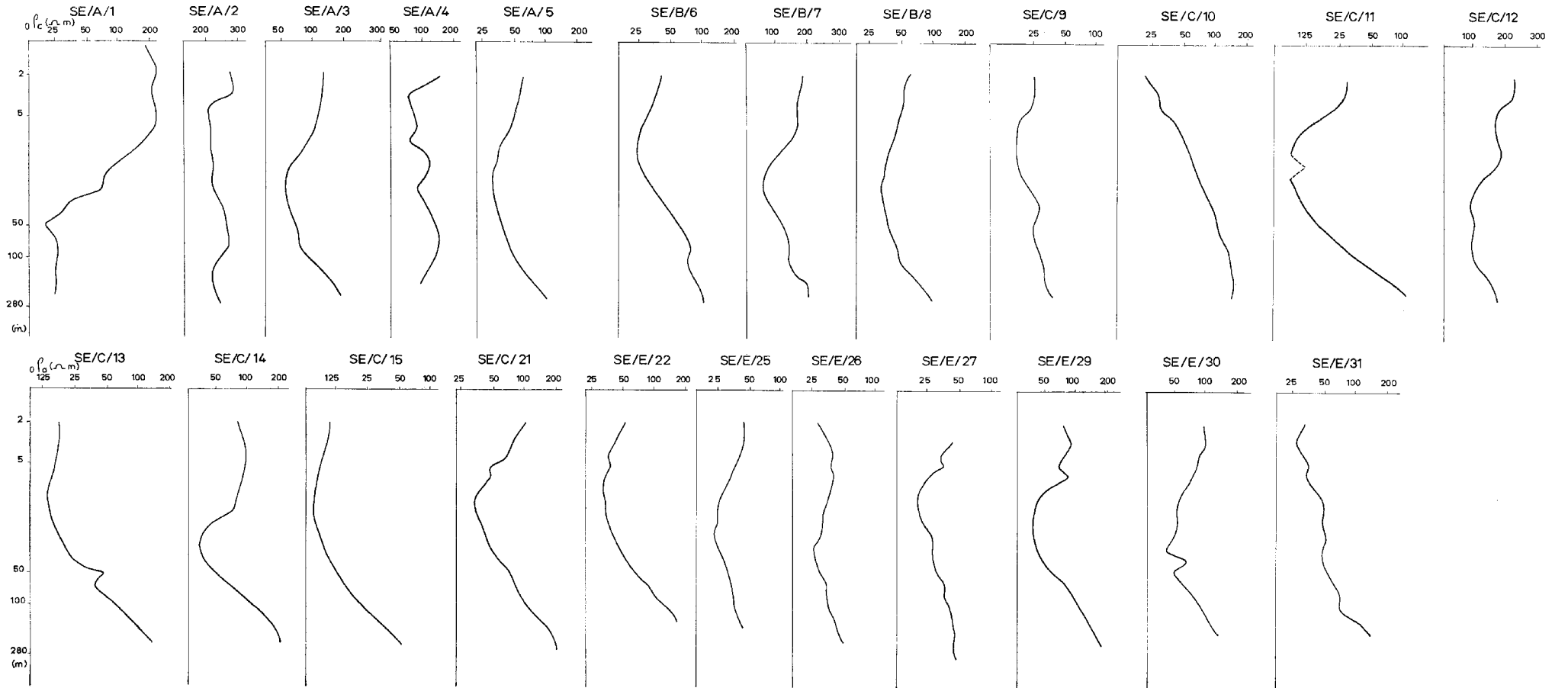


CURVAS DE RESISTIVIDADES APARENTES DE LOS SONDEOS ELECTRICOS





CURVAS DE RESISTIVIDADES APARENTES DE LOS SONDEOS ELECTRICOS



## VI. HIDROLITOLOGIA

### I. Comportamiento hidrológico de las diferentes unidades litológicas

Establecidos los caracteres geológicos y estructurales de la zona que venimos denominando Sierra de Altomira, hemos de analizar ahora cómo responden hidrológicamente estas unidades geológicas y, por tanto, cuál es su comportamiento ante el agua externa y cuál es su capacidad al almacenar agua en su interior.

En términos muy generales, en la zona que estudiamos, se definen una serie de materiales litológicos de muy diversa constitución, cuyos caracteres hidrológicos vamos a analizar brevemente.

a) SEFITAS.—Se encuentran dos tipos principales de sefitas, las pudingas y las brechas, ya como formaciones geológicas, como ocurre en el Liásico, Eoceno u Oligoceno, ya como elementos posteriores, por una trituración de los materiales preexistentes, formando milonitos (brechas) muy localizados, generalmente de cantos calizos y sin gran significado geológico, pero con gran importancia hidrológica.

Siempre, salvo raras excepciones, estas formaciones alogénicas originan un esqueleto detrítico, empastado también por elementos detríticos, pero de grado inferior, por lo cual estaremos casi siempre en presencia de conglomerados samíticos, pelíticos o samopelíticos de cantos.

Generalmente, cuanto mayor es la diferencia de tamaño entre el esqueleto y la pasta, menos coherente es la roca, y fácilmente, ante la circulación del agua, se quebranta el esqueleto y se forman los vacíos dentro de la roca por ausencia de matriz.

Por otra parte, cuanto mayor es el tamaño medio de una roca detrítica, menor es su porosidad y mayor la permeabilidad.

De esta forma los conglomerados eocenos, que son esencialmente pudingas ortocuarcíticas de cuarzo, presentan muy poca matriz, tienen tamaño arenáceo, con cantidades mínimas de elementos pelíticos, lo que las define con un coeficiente de permeabilidad muy elevado, del orden de 5-6 cm./s.

En las formaciones fanglomeráticas oligocenas, si bien el tamaño de los cantos es muy superior al anteriormente citado, tienen una matriz pelítica muy abundante, pero en su mayor proporción aleurítica, por lo cual su permeabilidad es inferior, resulta del orden de 3 a 5 cm./s.

Por su parte, las brechas tectónicas presentan un comportamiento muy diferente, determinado por las naturalezas litológicas de los bloques seccionados. En principio se pueden determinar dos tipos de brechas: las intracretácicas y las limítrofes.

Las brechas intracretácicas afectan a todos los terrenos constituidos por este sistema y, por tanto, los estratos calizos se cuartejan y rompen en bloques, mientras los margosos forman un cemento calcarenítico, que traba dichos fragmentos. De esta forma se distribuye heterogéneamente el material milonítico, y mientras en unos lugares forma verdaderos calcirruditos, escasamente trabados por fragmentos más finos de caliza, en otros, la abundancia de matriz margosa diferencia notablemente el tipo petrográfico.

Teniendo en cuenta estas circunstancias, las brechas intracretácicas pueden tener una permeabilidad muy diferente, pudiéndose establecer unos coeficientes diversos entre 9-10 cm./s. hasta 0,001 cm./s.

Las que hemos denominado brechas limítrofes son aquellas definidas por fallas, en las que, al girar sus bloques, ponen en contacto brusco los conjuntos cretácicos con las formaciones terciarias.

Estas brechas se caracterizan por la abundancia de elementos terciarios, esencialmente arcillosos, impermeables, sobre los que flotan aisladamente los fragmentos calizos del bloque antiguo. A este tipo de brechas sólo se le podría atribuir un coeficiente de permeabilidad de 10 a 9 cm./s., es decir, que resultan ser verdaderas murallas impermeables, que aíslan hidrológicamente ambos conjuntos litológicos.

Así pues, exceptuando este último tipo de sefitas, las restantes formaciones rudáceas presentan unos valores de permeabilidad muy elevados, siendo, por tanto, unos magníficos conductores de aguas gravíficas, a la vez que unos tipos petrográficos excelentes para el almacenamiento y recolección de aguas subterráneas.

b) SAMITAS.—Los sedimentos arenáceos determinados en la región de Altomira corresponden esencialmente a ciertos bancos albenses y cenomanenses, a los grandes paquetes eocenos y a los pequeños estratos de la base del Pontense.

Las formaciones albenses y cenomanenses son unos sedimentos detríticos con matriz o cemento detrítico fino y químico, es decir, samitas margosas de cuarzo, con interestratificaciones margosas o calizas que hacen cambiar también lateralmente la facies del piso. Todo esto nos obliga a determinar una buena permeabilidad en tales estratos, del orden de 0,5 a 0,01 cm./s., si bien la mayor abundancia local de cemento químico o margoso disminuirá su permeabilidad, y la ausencia de él y aumento de tamaño, como ocurre en las albenses, aumentará tales valores.

Las samitas eocenas presentan una gran heterogeneidad respecto a su tamaño del grano y a su grado de cementación; así pues, el conjunto de estratos eocenos varía, tanto lateral como verticalmente, en sus coeficientes de permeabilidad, pero el conjunto debe tener aproximadamente un coeficiente comprendido entre 10 y 0,001 cm./s., lo cual atribuye una permeabilidad bastante buena para este conjunto de paquetes detríticos que, aun aislados más o menos entre sí, su espesor y extensión es suficientemente grande como para definir acuíferos de importancia y, por tanto, susceptibles a la explotación.

Respecto a los sedimentos samíticos de la base del Pontense, presentan también una gran heterogeneidad granulométrica, así como una marcada anisotropía, por lo que debe atribuírseles un coeficiente de permeabilidad muy variable, entre intervalos muy separados entre 0,01 y 0,0001 cm./s.; peso si tenemos en cuenta su escasa potencia y extensión, interestratificados con estratos margosos más o menos arcillosos y calcáreos, el potencial hidrológico de estas formaciones no puede ser muy grande y, por tanto, estas variaciones de permeabilidad se acentúan considerablemente, ya que en el fondo nunca podrán constituir acuíferos de importancia.

c) PELITAS.—Los conjuntos pelíticos, puros o híbridos (margosos), representan un gran volumen de materiales en la zona de Altomira, tanto por su extensión como por su potencia.

Estos elementos petrográficos se hacen patentes lo mismo en las formaciones cretácicas que en el Eoceno, Oligoceno y Mioceno de la región.

Teniendo en cuenta el tamaño de los clastos de estas especies petrográficas, así como sus caracteres texturales y estructurales, hemos de calificarlas

como totalmente impermeables e incapaces de retener o transmitir agua que pueda definir acuíferos buenos para la explotación.

Su permeabilidad viene definida por coeficientes comprendidos entre  $10^{-7}$  y  $10^{-10}$ , siempre dentro del intervalo que define a las rocas como impermeables.

De todas formas, y aun representadas sus litologías en el mapa hidrológico adjunto, con un color continuo, correspondiente a las formaciones impermeables, se pueden definir exiguos acuíferos, en algunos lugares donde la fisuración de yesos, o los caracteres estructurales, permiten establecer los valores máximos para los coeficientes de permeabilidad. Estos caracteres o son anómalos, intrínsecos a la petrografía, o representan diferencias en la estructura, muy locales y, por consiguiente, nunca podrán significar acuíferos de importancia, ni siquiera relativa, para una explotación de aguas subterráneas, incluso prescindiendo de las particularidades geoquímicas, que determinaran sus aguas como no potables para ningún fin agrícola, industrial o doméstico, podrán ser utilizadas.

d) **SEDIMENTOS QUÍMICOS.** — Los principales sedimentos precipitados, químicos o bioquímicos, existentes en la región, corresponden a las calizas y a los yesos, extensamente desarrollados, tanto en los depósitos mesozoicos, los primeros, como en los terciarios los segundos.

Indudablemente, la naturaleza y textura de ambos depósitos difiere entre sí tanto, que se deben considerar por separado, pues a efectos de su comportamiento han de ser muy diferentes, incluso prescindiendo de su naturaleza química.

*Sedimentos yesíferos.*—Los precipitados salinos, muy comunes en los terrenos oligocenos, miocenos e incluso a veces en los eocenos, por su génesis química, deben ser considerados como auténticamente impermeables, con coeficientes de impermeabilidad del orden de  $10^{-15}$ , pero dada la relativa plasticidad de estos precipitados, sus intersticios y su solubilidad, pueden fisurarse ampliamente por roturas y por disolución, lo cual da lugar a la constitución de acuíferos de fisuración, capaces de almacenar gran cantidad de agua.

No obstante, si bien la naturaleza de este agua freática la hará totalmente inutilizable por su contenido excesivo en sales, tampoco su cantidad puede ser grande, dada la reducida potencia de estas formaciones y su interestratificación con margas arcillosas, que los aislan de toda posible recarga acuífera.

*Sedimentos calizos.*—Un caso aparte corresponde a estos sedimentos, ya que si bien por su origen son totalmente impermeables, no lo son tanto por su gran coherencia, que antes de constituir por litificación auténticas rocas edimentarias, comienzan a fracturarse, por infinidad de diaclasas, y algunas veces sólo por el peso de posteriores sedimentos.

De esta forma, la mayoría de los terrenos calizos, tanto jurásicos como cretácicos e incluso miocenos (pontienses), determinan acuíferos de fisuración, totalmente diferentes a todos los considerados hasta ahora, pues su capacidad de retención y circulación de agua puede sobrepasar con creces a la de los sedimentos rudáceos más permeables.

Así pues, se agrupan como una unidad hidrológica todos los estratos del Lías y Cretácico de naturaleza calcárea, que sujetos a una misma estructura secundaria de roturas, funcionan hidrológicamente como una única entidad, a la cual se le puede atribuir un coeficiente de permeabilidad superior a 10.

Indudablemente, algunos estratos más compactos y coherentes pueden resultar mucho más fisurados que aquellos más margosos, e incluso pueden presentar sus fisuras más limpias, por lo cual su coeficiente de permeabilidad sobrepasará al indicado en varias decenas o centenas.

Por el contrario, los restos de calizas margosas, que si bien presentan el mismo régimen hidrológico, sus fisuras siempre menores, generalmente se rellenan más o menos abundantemente de materiales arcillosos, que reducen considerablemente la permeabilidad.

Todas estas circunstancias obligan a determinar una gama muy amplia de permeabilidades para el conjunto carbonatado del Cretácico-Jurásico, pero siempre con valores medios muy altos, y para algunos tramos constituyendo un verdadero carst, aunque de escasa envergadura.

Así pues, tales formaciones determinan un buen material, apto para retener y almacenar agua en enormes cantidades, factibles para una explotación en gran escala.

Estos mismos caracteres hidrológicos presentan las formaciones pontienses del Mioceno, pero teniendo en cuenta su reducido espesor y extensión, nunca pueden presentar grandes cuencas de recepción de aguas y, por tanto, tampoco podrán almacenar cantidades apreciables de agua, especialmente si recordamos que todas estas formaciones presentan un nivel de base muy alto, forman verdaderos acuíferos freáticos colgados y abiertos, pues la erosión normal sufrida por estos materiales corta las formaciones calizas, reduciéndolas a las coberteras de los cerros y, por tanto, estableciéndose un continuo drenaje, con lo que se va perdiendo el agua almacenada y pronto dejan de existir como un verdadero acuífero explotable.

De esta forma, después de largos periodos de lluvia, aparecen fuentes más o menos caudalosas en los bordes de la formación, en los contactos con las margas y arcillas vindobonienses; fuentes que poco a poco pierden caudal, hasta verse totalmente secas en la época de estiaje. Estos afloramientos temporales nos hablan de la fugaz existencia de los acuíferos determinados en estos tipos de calizas.

## 2. Resumen hidrológico

Así pues, desde el punto de vista hidrogeológico, teniendo en cuenta la composición de las rocas, sus caracteres texturales y estructurales y la potencia, distribución y extensión de las diferentes formaciones, se definen como susceptibles de formar acuíferos, y de mayor o menor capacidad, las formaciones en el siguiente orden:

En primer lugar, y como mejor almacén de agua subterránea, los terrenos jurásicos y cretácicos, que pueden contener agua en enormes cantidades y, por tanto, se definen como acuíferos de primera categoría.

En segundo lugar, se consideran los conjuntos samíticos y conglomeráticos del Eoceno, a los que daremos un puesto de tercera categoría, pues su potencia no es excesiva, sus conexiones hidrológicas son un tanto reducidas y los diferentes paquetes, aislados por depósitos pelíticos impermeables.

A una quinta categoría pertenecerían los conglomerados oligocenos, las formaciones calcáreas samíticas del Pontiense y los depósitos de pied-mont del Plioceno, con poca extensión, potencia y recursos hidrológicos de alimentación.

En octava categoría se consideran los paquetes yesíferos del Mioceno y Oligoceno, que definen acuíferos de fisuración, aislados por los sedimentos margo-pelíticos de los mismos pisos.

Formarían la novena categoría las margas pelito-yesíferas miocénicas, que, aun impermeables, por disolución y pérdida de los precipitados salinos aumentan un tanto su permeabilidad.

El resto de las formaciones eocenas, oligocenas o miocenas de naturaleza pelítica se reúnen en la décima categoría, por su absoluta impermeabilidad.

## VI. HIDROQUIMICA

### 1. Génesis de la composición de las aguas

El conocimiento de la composición química del agua, tanto superficial como subterránea, en una zona, es fundamental, no sólo para determinar la naturaleza del suelo por donde corre, o terreno que impregna, sino también para, determinando su composición, poder conocer su posible utilización para unos u otros fines.

Con este fin se han realizado una serie de análisis químicos, capaces de enunciar la naturaleza de las aguas y su procedencia, con lo cual se pueden llegar a definir los terrenos donde se almacena y, por tanto, establecer una serie de características químicas o hidroquímicas para cada material litológico que nos darán idea de la posible naturaleza del agua para futuras extracciones.

Conviene hacer resaltar aquí que, dado el objeto de este trabajo, que es analizar un comportamiento hidrológico del complejo geolítico que define la zona que nos ocupa, no se ha puesto excesivo interés en determinar los porcentajes o cantidades exactas de algunos iones, como los nitratos, nitritos, etc., ya que no se trata de hacer determinaciones concretas cuantitativas y analizar geoquímicamente tales complejos, sino de determinar unos caracteres hídricos, y como sólo la presencia o ausencia de estos elementos es suficientemente significativa, hemos prescindido de su determinación cuantitativa, que sólo será específica para casos concretos y aislados, sin tener ningún valor prospectivo y general.

De esta forma, y en general para todo tipo de estudios hidrogeológicos, se puede prescindir de una laboriosa determinación cuantitativa, obteniéndose análogos resultados, que son económicamente más aceptables, al ana-

lizar las aguas únicamente desde el punto de vista cualitativo, que es significativo e imprescindible para obtener un mejor resultado en la prospección de tales estudios.

Se ha utilizado también el análisis espectroquímico, dada la exactitud de sus resultados para la determinación de elementos menores, con objeto de perseguir una correlación hídrica en la circulación por el subsuelo.

Para la realización del análisis espectroquímico se ha obtenido el residuo seco de 100 cm.<sup>3</sup> de agua, el cual se ha tratado en arco, sobre electrodos de grafito; el espectrógrafo utilizado fue el modelo Q-24.

En los análisis espectroquímicos sólo figuran los resultados de los elementos contenidos en cantidades pequeñas, pues el calcio, magnesio y potasio, debido a su abundancia, no se han determinado cuantitativamente.

A título informativo haremos resaltar la presencia de litio en el análisis número 15, correspondiente a la fuente de la plaza del pueblo de Paredes, y de la plata en la fuente de la plaza del pueblo de Huete; ambos elementos, de los que sólo tenemos indicios, pueden proceder o bien del método utilizado en la desecación, lo cual es muy raro, teniendo en cuenta que ha sido el mismo para todos los análisis, o bien, y más probablemente, de cualquier tubería, soldadura o material utilizado al realizar la obra de captación y aprovechamiento del agua.

También hay que destacar la mayor abundancia de titanio, 0,1 mg. l.<sup>-1</sup> en los análisis 5, 12, 15, 20, 23, 26, 29, 34 y 35, que precisamente corresponden en su mayoría a fuentes de pueblos y arreglos de fuentes naturales, es decir, puntos todos ellos con conducción por cañería, de la cual debe proceder este elemento; es curioso, cómo los análisis 3, 7, 16 y 24, de aguas provistas también de una conducción artificial, sólo contengan 0,01 ó 0,05 mg. l.<sup>-1</sup> de titanio, igual que el resto de las muestras; sin duda debe tratarse de que el hierro de las cañerías tiene menor cantidad de titanio, ya que son de época más reciente, mientras que aquellas como la 23 y 26 fueron construidas en 1958 y 1955, respectivamente.

En los resultados de los análisis espectroquímicos hemos indicado con las letras *i*, cuando sólo hay indicios del elemento; *m*, cuando es muy abundante, y *no*, cuando no existe.

Las aguas almacenadas, y que circulan por las formaciones calcáreas mesozoicas, se caracterizan por presentar una conductividad eléctrica entre 400 y 500 ( $\Omega$  m)<sup>-1</sup>, exceptuándose el manantial donde nace el río Calvache, en el que se produce una gran anomalía al presentarse una conductividad de 1.850 ( $\Omega$  m)<sup>-1</sup>; pero en este caso hay que tener en cuenta que, si bien el agua es de origen cretácico, surge por una falla, que pone en contacto

s formaciones cretácicas con las oligocenas yesíferas, por lo cual estas aguas isuelven los elementos yesíferos del bloque oeste de la falla, y se cargan en sales sulfatadas, lo que se refleja también en el resultado del análisis de los sulfatos, con un 1,024 mg. l.<sup>-1</sup>, lo que indica una anomalía negativa para el contenido de este elemento en las aguas miocenas, todas con una cantidad comprendida entre 1,2 y 2 mg. l.<sup>-1</sup>.

Se debe señalar la pequeña cantidad de sulfatos del agua del pozo número 10, construido sobre material vindoboniense, y que contiene 0,468 g. l.<sup>-1</sup>, lo que corresponde en el cuadro que damos al final de este capítulo, material eoceno; esto se explica, aun no conociendo el perfil litológico del pozo, por estar muy cerca de él y al oeste los afloramientos eocenos, y precisamente con buzamiento a levante, lo que refleja, que si el pozo no ha llegado a perforar dichos materiales, sí recibe por infiltración y recorrido muy corto las aguas procedentes de ellos; esto podemos afirmarlo, dada la gran conductividad que presenta de 1.250, que se debe a cloruros y bicarbonatos de Ca y Mg, como lo atestigua la escasa dureza transitoria que posee.

La dureza total está comprendida entre 25 y 35° hidrotimétricos franceses, y son producto principal de las sales cálcicas y magnésicas, del tipo carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros introducidos en el agua por disolución.

Las aguas eocenas presentan una conductividad comprendida entre 400 y 450 ( $\Omega$  m)<sup>-1</sup>, con escasa cantidad de cloruros y nada o muy pocos sulfatos, teniendo por lo general muy reducido el contenido de bicarbonatos, lo que da lugar a una dureza muy pequeña de las aguas, que son, por tanto, de buena calidad.

Un polo opuesto nos presentan las aguas miocénicas, con conductividad del orden de 2.000 a 2.500 ( $\Omega$  m)<sup>-1</sup>, dureza total de 100 a 200 grados hidrotimétricos y un mayor contenido de carbonatos, entre 200 y 300 mg. l.<sup>-1</sup>, con presencia siempre de sulfatos en cantidades no inferiores a 1,2 mg. l.<sup>-1</sup>.

Con este resumen de los análisis químicos efectuados en la zona, se puede caracterizar químicamente la génesis y constitución de las aguas, según su procedencia y formación geológica que la engloba, quedando restringida su explotación, desde el punto de vista químico, a las aguas cretácicas y eocenas, pues las del Mioceno son inorgánicamente no potables para cualquier uso que pretendamos hacer de ellas.

Antes de hacer cualquier uso de estas aguas, especialmente si se pretende explotar con fines domésticos o suministros a poblaciones, debe realizarse un análisis bromatológico completo, pues la presencia de determinados organismos bacteriológicos puede impotabilizarlas.

Una serie de datos y relaciones que consideramos de sumo interés, por ponerse de manifiesto la importancia que tiene el análisis químico de las aguas, con respecto a los terrenos en que se encuentran, los resumimos en el siguiente cuadro:

## CUADRO III

## AGUAS CONTENIDAS EN DIVERSOS TERRENOS

	CRETACICO	EOCENO	MIOCENO
Conductividad eléctrica ( $\Omega$ m.)—1... ..	400-500	400-450	2.000-2.500
Dureza total. Grados hidrotimétricos franceses ... ..	25°-35°	20°-25°	100°-200°
Sulfatos mg./dm <sup>3</sup> ... ..	Negativo	0,2-0,7	1,2-2
Carbonatos mg./dm <sup>3</sup> ... ..	190-250	175-220	200-300







## VII. HIDROGEOLOGIA PRACTICA

### 1. Hidrología de los conjuntos geológicos

A la vista de los resultados obtenidos en los estudios que anteceden, se han podido determinar las características hidrológicas de los diferentes conjuntos geológicos que definen la zona que denominamos Sierra de Altomira.

Un resumen gráfico de tales resultados se expresa en el adjunto mapa hidrogeológico, confeccionado según los últimos acuerdos, que para estos fines ha establecido la International Association of Scientific Hydrology y la International Association of Hydrogeologists, y ampliando los signos ya establecidos por el Centro de Estudios Hidrológicos de Marruecos ("Légende générale des cartes hydrogéologiques du Maroc", por R. Ambroggi y J. Margat. Public. n.º 50 de la Asociación Internacional de Hidrología Científica, 1960), y que bajo protección de la UNESCO fueron publicados en enero del año 1963.

En este mapa se fijan los afloramientos de agua, naturales y artificiales de la región, expresándose tan sólo un número de referencia, al que contesta la lista adjunta de datos técnicos para estos afloramientos, evitando así el recargar el mapa con un exceso de números, a veces poco significativos.

También se representan las características hidrográficas de la zona, sobre una base geolitológica, expresando con signos la naturaleza litológica de las formaciones, en el color correspondiente a su cronología, y con fondo continuo, los sedimentos impermeables, y en el blanco los permeables.

Como consecuencia hidrogeológica práctica, se han trazado las curvas isopiezas más interesantes y aquellas cuyos escasos datos existentes pueden suponerse (representadas por trazos), en los colores correspondientes a cada formación geológica.

Los pocos datos hidrológicos de la zona no permiten determinar más concretamente tales resultados, por lo que prescindimos de representar un mapa hidroquímico y de reservas hidrológicas; tampoco se ha creído necesario marcar las curvas isobaras, por otra parte bien definidas por la existencia de las isopiezas y las de nivel topográfico.

Se ha conservado la base fisiográfica de las hojas 607 y 608, Tarancón y Huete, respectivamente, del Mapa Topográfico Nacional a escala 1 : 50.000 del Instituto Geográfico y Catastral.

Resumiendo todos los datos obtenidos, se establece un régimen hidrológico prácticamente independiente para cada conjunto geológico, los cuales vamos a analizar por separado.

a) CONJUNTO JURÁSICO-CRETÁCICO.—Estas formaciones, que constituyen la auténtica Sierra de Altomira, dan lugar a un complejo litológico muy heterogéneo, en el que alternan estratos más o menos permeables, con otros impermeables; los últimos no afectan en nada a los anteriores, pues teniendo en cuenta su estructura, todos pueden llegar al nivel hidrológico regional y, por tanto, sólo deberán tenerse en cuenta para la elección concreta de un punto a perforar, pues de ellos depende en gran parte la economía de las obras de captación, ya que al tener un estrato impermeable habrá que prolongar en demasía la profundidad del pozo, hasta poder cortar una capa permeable bajo el nivel piezométrico regional. También se encarece el costo de la obra, al tener que ir tales estratos entubados en su totalidad, para evitar los consiguientes desprendimientos que aneguen el pozo.

De la forma anterior, queda definida intrínsecamente la variabilidad de la configuración de la superficie piezométrica, definida en muchos lugares con valores virtuales, a los cuales ascenderá el agua, una vez liberada por la obra de captación, del estrato que impedía un libre ascenso; se puede, por tanto, de una manera general, definir este complejo litológico con caracteres de subartesianismo, con lo cual, las curvas isopiezas expresan el nivel que alcanzarán las aguas en las obras de captación, una vez concluidas.

Para el establecimiento de la superficie piezométrica regional se han utilizado, de una forma concreta, los puntos más significativos de aguas constantes, como son los pozos profundos de Donace (Barajas de Melo), el nacimiento del río Calvache, los puntos de Cuclillo, Huelves y Paredes, donde el río Riansares corta a las formaciones cretácicas, y los puntos de Uclés (al sur de la zona estudiada), donde el río Bedija corta también a estos afloramientos.

Independientemente del nacimiento del río Calvache, estos otros pun-

tos, donde la red hidrográfica perenne se pone en contacto con formaciones permeables, tienen que ser muy significativos, pues sólo pueden reaccionar de tres formas: aportando agua a los acuíferos definidos en esos terrenos y que su nivel hidrostático esté por debajo del nivel del río; drenando esos acuíferos, cuando dicho nivel está a cota superior que la del río, o permaneciendo indiferentes cuando coinciden ambos niveles.

En principio, si el nacimiento del río Calvache está a cota de 740 metros y los puntos de Riansares están a 803, 816 y 835, respectivamente, estas cuatro cotas nos definen la superficie piezométrica del acuífero aflorante en dicho nacimiento, y que lógicamente tomará una forma parabólica hacia tal lugar.

Así pues, el río Riansares recarga el acuífero regional del complejo jurásico-cretácico. Este hecho se confirma al estudiar los análisis químicos números 31, 32, 4 y 36 del Riansares, al atravesar la zona, los cuales permanecen casi constantes con ligeros aumentos de la conductividad y del contenido en cloro y carbonatos, propio de su recorrido por formaciones sarmatienses margo-yesíferas, mientras que las aguas cretácicas (análisis número 8) muestran menos de la mitad de conductividad eléctrica, es decir, de salinidad total, nada de cloruros y bastante más contenido de carbonatos, como es normal en aguas de calizas.

Si, por el contrario, el acuífero cretácico drenara hacia el río Riansares, en cada punto de Paredes, Huelves y Cuclillo aparecería un aporte de agua dulce, que iría rebajando los valores de los diferentes análisis y asimilando cada aporte a sus aguas.

Lo anterior demuestra que el agua subterránea que determina el nivel regional irá descendiendo parabólicamente desde estos puntos del Riansares hasta el lugar de cota más baja, el nacimiento del río Calvache.

Hacia el sur se pueden relacionar estos puntos del Riansares con los del río Bedija, en Uclés, localizados a cotas de 835 y 840, es decir, que este río corre a cota superior en los afloramientos cretácicos, por lo cual también se verá drenado por tales afloramientos, circulando el escurrimiento de agua hacia el Riansares, pero indudablemente con menor velocidad que la establecida entre aquel río y el nacimiento del Calvache.

Esto hace que las curvas isopiezas se localicen en la parte sur, casi perpendiculares al río, o formando un ligero ángulo con él, aguas arriba, para luego torcer bruscamente hacia su nacimiento, nada más atravesar su cauce y situarse casi paralelas a él, para ir descendiendo paulatinamente hacia Donace.

Pero para comprender completamente la importancia y capacidad de

este acuífero, no hemos de pensar tan sólo en los aportes de aguas meteóricas en la zona, o en el aporte de los ríos que puedan surcarla, es necesario conocer en su totalidad la cuenca hidrológica, y ésta es tan grande como lo son los afloramientos cretácicos; podemos decir que abarca desde la provincia de Guadalajara hasta la de Albacete.

Un nivel piezométrico general debe definirse en toda esta serranía mesozoica, y este nivel lo marca precisamente el agua retenida en los embalses de Entrepeñas y Buendía, que cerrados sobre estas precisas formaciones cretácicas, las van impregnando con sus pérdidas, estableciendo este nivel hidrostático.

Efectivamente, esta comprobación tendría que ser objeto de una gran ampliación de este trabajo, o simplemente hacer una siembra de isótopos radiactivos en los embalses; sería suficiente para que al registrar periódicamente la radiactividad de los pozos testigos que hubiéramos marcado o efectuado, ver si habían sido alcanzados por la siembra. Este tipo de correlación resultaría costosísimo, pues la cantidad de isótopos a sembrar tendría que ser muy grande, dado el gran poder absorbente de elementos radiactivos que poseen las rocas carbonatadas.

Esta comprobación tan costosa, no sería necesaria realizando un estudio hidrogeológico detallado de todos estos afloramientos, partiendo de un hecho enormemente significativo, como es la casi idéntica cota de los embalses y el afloramiento del río Calvache. Si, además, tenemos en cuenta que los sondeos profundos realizados en Donace arrojan caudales de  $300 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$  o más (a la misma cota), y que existen sondeos análogos al sur de la provincia, en Mota del Cuervo y Pedernoso, construidos en los mismos materiales y arrojando análogos caudales, con un nivel estático de igual cota, podemos definir *a priori*, que todos estos materiales están conectados hidrológicamente y constituyen unas reservas importantísimas de agua, de las que fácilmente se podrían obtener muchos miles de litros por segundo, a lo largo de los 100 kilómetros en que afloran estos conjuntos mesozoicos.

Indudablemente, sobre este acuífero regional profundo se pueden definir, y de hecho constituyen, otros acuíferos colgados, de dimensiones y cuencas de recepción muy restringidas, que apoyados sobre estratos impermeables, al cortar éstos la superficie topográfica, dejan salir el agua formando fuentes, o pueden a veces ser explotados por pequeños pozos, que nunca darán caudales superiores a los  $2-3 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$ , si es que llegan a esto. De todas formas estos casos son muy raros, dada la estructura general de estas formaciones.

b) LAS FORMACIONES EOCENAS.—Un caso análogo al anterior, pero de

menor potencial hídrico, lo forman los terrenos eocenos, en sus tramos samíticos y conglomeráticos, localizados de una forma primordial al este de la sierra.

En principio, la capacidad acuífera de estos terrenos viene restringida por dos hechos fundamentales: primero, la falta de conexión de sus tramos permeables con una fuente de alimentación tan importante como los embalses de Entrepeñas y Buendía; segundo, la separación de los paquetes hidrológicamente permeables por estratos arcillosos, que aíslan e independizan estos acuíferos.

Al norte de la zona, entre Vellisca y Huete, por los alrededores de los pueblos Mozarulleque, Garcinarro, Jabalera y Buendía, se reconocen perfectamente los afloramientos de bancos samíticos y conglomeráticos eocenos, por lo que es de suponer que las pérdidas ocasionales de dichos embalses, por su parte SE., sean debidas a impregnaciones de tales depósitos eocenos, que por estar en contacto concordante con los afloramientos cretácicos, también es posible se recarguen a espensas de tales sedimentos.

La ausencia total de pozos profundos, inexistencia de fuentes y afloramientos naturales de agua que puedan denunciar el nivel estático regional, nos impide establecer el régimen hidrológico de esta formación, aunque con un porcentaje de probabilidades muy elevado, podrían marcarse puntos a perforar, que arrojaran caudales extraordinariamente importantes.

Conviene además recalcar, que la naturaleza químico-mineralógica de estos sedimentos es de un tipo tal, que asegura una calidad excelente del agua extraíble, según se demuestra en los análisis químicos números 14, 17, 18, 22, 23, 28 y 30, caracterizados por una conductividad de 400-450, con ausencia de cloruros y de sulfatos, siendo muy reducido el porcentaje de carbonatos que reflejan una dureza muy escasa, es decir, que son aguas de excelente potabilidad.

Se debe destacar la presencia de aguas eocenas en nuestra zona, en los términos de Alcázar del Rey y Carrascosa del Campo (análisis números 16, 19, 26, 27 y 33), un tanto anómalas, con conductividades de 1.000 a 2.000, abundancia de cloruros y sulfatos, lo que podría ser achacado a la proximidad de las formaciones margo-yesíferas del Vindoboniense, por impregnaciones de aguas de escorrentía procedentes de tales materiales.

No obstante, debemos recordar que algunos afloramientos samíticos eocenos hacen presentes ciertas mineralizaciones yesíferas en los estados próximos a la transición a bancos pelíticos, por lo cual es posible que sean éstas las causas de las contaminaciones mineralógicas sufridas por dichas aguas.

Se debe hacer hincapié en dos hechos característicos: primero, que es

precisamente en estas zonas de Alcázar del Rey y Carrascosa del Campo donde se presentan tales anomalías en los análisis químicos de aguas eocenas, donde se ha podido reconocer la presencia de evaporitos, capaces de contaminar tales aguas; segundo, la ausencia completa de explotaciones profundas en estos acuíferos, utilizando tan sólo aquellos niveles freáticos colgados, superficiales, con escasos caudales y más propicios, por tanto, para contener estas sales en disolución.

c) LAS FORMACIONES DEL MIOCENO.—Las formaciones miocenas abarcan hidrológicamente dos unidades totalmente diferenciadas; se componen, una, de terrenos margo-yesíferos del Vindoboniense, y otra de terrenos calco-samíticos, el Pontiense.

El Mioceno inferior queda definido litológicamente por los sedimentos margo-arcillosos y margo-yesíferos, con intercalaciones de paquetes de yesos.

Las formaciones margosas o margo-arcillosas son totalmente impermeables por su textura, pero a veces pueden contener cierta cantidad de agua interestratificadas, es decir, que aprovechando los planos de estratificación, se pueden definir acuíferos de muy reducida potencia y continuidad; esto se demuestra con los escasos pozos que, al cortar dichos estratos, son capaces de obtener caudales que nunca llegan a uno o medio litro por segundo, ni siquiera durante algún tiempo reducido, después de las precipitaciones meteorológicas.

No ocurre así con los bancos de yesos, que por fisuración y disolución posterior, pueden definir ciertos acuíferos, siempre de caudales reducidos, dada la escasa potencia de estos materiales y su intercalación con margas arcillo-yesíferas más impermeables.

De todas formas, estos reducidos caudales nunca pueden ser considerados desde ningún punto de vista como explotables, no sólo por el escaso caudal que pueden aportar, sino más bien por la impotabilidad del agua, que en ellos se define siempre muy cargada de sales, especialmente sulfatos, cloruros y carbonatos cálcicos y magnésicos, que fácilmente harán improductivos aquellos terrenos que solamente sean regados con estas aguas, desechando indudablemente los usos industriales y domésticos que con ella pudieran realizarse.

Las formaciones del Mioceno superior, constituidas por sedimentos principalmente detríticos en la base, y carbonatados en su parte superior, pueden y en realidad forman acuíferos algo restringidos, ya que la potencia y extensión de tales depósitos es muy pequeña y, por tanto, la cuenca de recepción de aguas también.

Si tenemos en cuenta, además, que tales acuíferos quedan descubiertos periféricamente por la erosión normal de estos materiales, puede comprenderse la existencia de fuentes o pozos en su nivel de base, capaces de contener cierta cantidad de agua, que no siempre será permanente, pues según hemos indicado su potencial hídrico es muy reducido y, por tanto, en las épocas de estiaje, la mayoría de estos afloramientos hidrológicos permanecen secos.

De todas formas, la naturaleza de estas aguas y su composición química las define como buenas para cualquier uso, salvo en aquellos casos que no se pueda admitir un porcentaje de carbonatos muy elevado, pues las procedentes de este nivel tienen gran cantidad de carbonatos, mientras que las procedentes del Mioceno inferior son esencialmente sulfatadas.

## VIII. BALANCE HIDROLOGICO

Es obligatorio concluir un estudio hidrogeológico con la realización de un balance hidrológico que refleje las posibilidades y reservas existentes en el subsuelo.

En la realización de este balance hemos de computar los aportes y pérdidas de agua en el mismo y, en consecuencia, deducir si es posible extraer mayor caudal o, por el contrario, si las pérdidas son superiores a las ganancias, pronosticar su agotamiento y, en consecuencia, regular su beneficio.

Los aportes proceden de la alimentación directa: precipitación (lluvia, nieve, granizo) y de la alimentación indirecta: aportes procedentes de otros acuíferos o zonas de aguas subterráneas.

Las pérdidas se reflejan por la evapotranspiración, el escurrimiento superficial, el desagüe, las extracciones artificiales y los drenajes hacia otros acuíferos.

Ambas partes deben ser iguales y constituyen el balance hidrológico de la región o comarca.

La alimentación directa de la zona que estamos estudiando podría corresponder a los 602 mm. del valor medio anual de aguas meteóricas, englobando los dos estados líquido y sólido, correspondientes a las estaciones ya reseñadas en el capítulo de Meteorología, despreciando *a priori* su situación geográfica (la mayoría de las estaciones pluviométricas están a más de 30 kilómetros de la zona).

Por otra parte, y como ya se indicó, también se recargan los acuíferos con las infiltraciones del río Riansares, cuya evaluación es imposible de determinar al no existir ningún punto de aforo en este río. También debe citarse la aportación del río Bedija, que aun fuera de la región corta a estas corridas mesozoicas a cota superior que las existentes en los posibles puntos de desagüe.

La alimentación indirecta de los acuíferos subterráneos hemos de buscarla en la prolongación septentrional de las mismas corridas calcáreas que llegan hasta Entrepeñas y Buendía, y que aunque no estuvieran conectadas hidrológicamente con estos embalses, sí recibirían aportes meteóricos, que indudablemente recargarían nuestra zona.

Respecto a las pérdidas, éstas por lo general son más difíciles de valorar; en cuanto a la evapotranspiración, el único dato conocido es el correspondiente a la estación meteorológica de Cuenca, localizada a 52 kilómetros de nuestra comarca, y que refleja un valor medio total al año de 58,6 milímetros.

Del escurrimiento no se puede saber nada concreto, por no existir en toda la zona estaciones de aforo, ni siquiera de la red fluvial perenne.

Las pérdidas por desagüe existen únicamente en el nacimiento del río Calvache, que representa un desagüe del acuífero regional, pero tampoco en este caso contamos con un aforo concreto de este movimiento, y sólo a título informativo diremos que los naturales del país dicen que sufre fluctuaciones, directamente relacionadas con el estado en que se encuentran dichos embalses de Entrepeñas y Buendía.

Los drenajes hacia otros acuíferos no existen dentro del macizo mesozoico, pero sí hacia los posibles acuíferos definidos por los terrenos circundantes, eocenos o miocenos, que aun siendo de escasa importancia, tampoco pueden ser evaluados.

Las extracciones artificiales se limitan a los cuatro pozos construidos en Donace, y que están aforados en  $300 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$ , con depresiones de 20-30 metros, es decir, con un nivel dinámico fijo en los 27-37 metros tan sólo por debajo de la superficie del suelo.

En estas condiciones, no es posible establecer un balance hidrológico para la zona, pero sí se puede determinar que el aporte de agua recibido de las zonas septentrionales es muy importante.

Si consideramos sólo los aportes de precipitación en esta zona norte, y las pérdidas sólo por escorrentía y extracción, despreciando todas las demás pérdidas para corregir posibles errores por exceso en el aforo de los pozos, tendríamos: precipitación media, 602 mm.; extensión del Mesozoico, 112,5 kilómetros cuadrados (suponiendo que es un afloramiento continuo y homogéneo, sin abrirse en brazos).

Expresado en  $\text{dm}^3 \text{ s}^{-1}$ , corresponde un caudal de aporte para toda la zona de unos 1.900 litros por segundo.

Como suponemos que las pérdidas totales son de  $1.200 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$ , sólo nos quedan para el valor del escurrimiento  $700 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$ , lo que indicaría que la circulación del agua se hace más fácilmente a través de la roca que

libremente por su superficie, y que en todo caso, sólo correspondería a  $0,5 \text{ l./m}^2 \text{ día}$ , que también es un resultado ridículo.

Estos cálculos, aun no teniendo un sentido real, sí reflejan la necesidad inequívoca de un gran aporte de agua al acuífero, que sólo puede provenir de la citada zona norte.

Por otra parte, dado el régimen y características de los aforos mencionados, este acuífero se define como de fisuración o principio de carst, y si el auténtico carst no se ha formado, es por la escasa circulación de agua subterránea, lo que impide la disolución de las calizas y la consiguiente apertura de canales, bóvedas, etc. De todas formas, este tipo de régimen hidrológico es el único que explica el comportamiento de los pozos citados.

## 2. Fichas técnicas hidrologías

Muestras números...	A I C A Z A R D E L R E Y								B A R A J A S D E M E L O													
	16	26	65	66	67	69	72	73	1	2	5	7	8	9	40	53	54	55	56	57	58	83
Denominación	Plaza	Fuente 1955	Prado Ojo	Santa Ana	El Puntal	Pernagález	La Romera	El Pozo	Río Calvache	Vallebondo	Plaza	Fte. Ayunt.	Moravito	Donace	Amarguillo	La Fuente	Sondeo 1	Sondeo 3	Sondeo 2	Sondeo 4	Valdecillos	Cetina
Hoja	608	608	608	608	608	608	608	608	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607	608	607
Nombre	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Huete	Tarancón
Tipo	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	Pozo	Fuente	Pozo	Río	Río	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	Perforación	Pozo	Perforación	Perforación	Fuente	Pozo
Altitud	885	834	860	876	927	816	882	853	683	710	707	707	740	735	860	800	741	743	743	743	916	825
Longitud	0°52'47" W.	0°52'32" W.	0°52'44" W.	0°52'49" W.	0°54'37" W.	0°54'08" W.	0°53'08" W.	0°52'19" W.	0°46' W.	0°45'30" W.	0°46'10" W.	0°46'10" W.	0°47'55" W.	0°47'55" W.	0°47'36" W.	0°46'50" W.	0°48'00" W.	0°47'58" W.	0°47'55" W.	0°47'56" W.	0°50'16" W.	0°46'38" W.
Latitud	40°03'46" N.	40°03'16" N.	40°04'26" N.	40°04'00" N.	40°05'48" N.	40°04'58" N.	40°02'26" N.	40°02'08" N.	40°08' N.	40°05'40" N.	40°07'20" N.	40°07'20" N.	40°07'55" N.	40°07'46" N.	40°06'03" N.	40°08'30" N.	40°08'02" N.	40°08'00" N.	40°07'52" N.	40°07'50" N.	40°07'56" N.	40°04'02" N.
Análisis químico número	16	26	---	---	---	---	---	---	1	2	5	7	8	9	---	---	75	70	60	70	---	---
Profundidad	4	---	---	---	---	4,5	---	2	---	---	---	---	---	---	---	---	0,3	0,4	0,4	0,4	---	3,5
Diámetro	1,60	---	---	---	---	1,5	---	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1
Nivel estático	2	---	0	0	0	3	0	0,5	0	0	---	---	---	---	---	---	6,20	8	8	7,90	0	2
Uso	Limpieza	Doméstico	---	---	---	---	---	---	---	Limpieza	Doméstico	Beber	Ninguno	---	Seca	Doméstico	Riego	Riego	Riego	Riego	---	---
Terreno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Oligoceno	Sarmatiense	Eoceno	Eoceno	Oligoceno	Oligoceno	---	---	Cretácico	Cretácico	Sarmatiense	Doméstico	Cenomanense	Cenomanense	Cenomanense	Cenomanense	Cretácico	Pontense
Temperatura ambiente	10°	10°	---	---	---	10°	---	9	12	13	---	---	15	16,5	---	12	---	---	---	---	---	7
Temperatura del agua	10°	12°	---	---	---	8°	---	10	15,5	8,5	---	---	10	18	---	10	---	---	---	---	---	6

Muestras números...	C A R R A S C O S A D E L C A M P O																	
	17	18	19	20	27	33	43	44	45	46	47	48	70	71	74	75	82	86
Denominación	P. y Fte de	Cno. Rozalén	Entrada	Plza. I. G. M.	Ctra. Saelices	Salobral	Pueblo	El Pilar I	El Pilar II	El Tejar I	El Tejar II	Pueblo	Fuente del Monarca	El Lagarto	El Cañuelo	Cementerio	La Lobera	El Cojo
Hoja	1959	608	608	608	608	608	608	608	608	608	608	608	608	608	608	608	608	608
Nombre	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete
Tipo	Pozo	Pozo	Fuente	Pozo	Pozo	Fuente	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Fuente	Fuente	Fuente	Pozo	Fuente	Fuente
Altitud	895	896	896	898	877	914	896	900	903	895	896	907	918	960	916	903	928	893
Longitud	0°55'55" W.	0°56'00" W.	0°56'50" W.	0°57'00" W.	0°56'50" W.	0°56'32" W.	0°56'42" W.	0°57'02" W.	0°57'00" W.	0°56'48" W.	0°56'45" W.	0°56'50" W.	0°54'34" W.	0°53'56" W.	0°55'00" W.	0°57'13" W.	0°56'07" W.	0°56'05" W.
Latitud	40°02'50" N.	40°02'07" N.	40°02'12" N.	40°02'12" N.	40°01'46" N.	40°02'45" N.	40°02'16" N.	40°02'30" N.	40°02'34" N.	40°02'12" N.	40°02'9" N.	40°02'24" N.	40°02'31" N.	40°01'32" N.	40°01'46" N.	40°02'40" N.	40°03'38" N.	40°01'22" N.
Análisis químico número	17	18	---	---	27	33	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Profundidad	2	4	---	---	8,50	---	4	3,60	3,50	6	4	3	---	---	---	4,3	---	---
Diámetro	1,5	1	---	---	1	---	1,50	2,5	2	1	1	---	---	---	---	1	---	---
Nivel estático	1,80	0	---	---	1,40	0	2	0	0,30	1,50	1,5	2	0	0	0	0,5	0	0
Uso	Doméstico	---	Doméstico	Doméstico	---	---	Doméstico	Riego	Riego	---	Doméstico	---	---	---	---	---	---	---
Terreno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Oligoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno
Temperatura ambiente	10	11	---	---	10	8	---	8	8	10	10	---	---	---	---	---	---	---
Temperatura del agua	8,5	7	---	---	12	9	---	8	8	12	13	---	---	---	---	---	---	---



Muestras números..	H U E L V E S													H U E T E						L O R A N C A D E L C A M P O					
	3	4	6	10	11	12	37	38	39	49	59	60	84	87	22	23	24	77	78	79	80	81	21	76	85
Denominación...	Plaza	Río	El Algarrobo	Pozo del Escalón	Pozo del Monte	Capitana	Cruce	Cruce	Paso a nivel	El Tejado	Las Heras	Boteruclos	Las Heras	Torrejón	Fuente del 18 de Julio	Fuente de 1958	Plaza	Los Canales	Valdelabada	Tomellosa	Torrellona	Morilla	Entrada	El Portillejo	Palos
Hoja.....	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607	607	608	608	608	608	608	608	608	608	608	608	608
Nombre.....	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete
Tipo.....	Fuente	Río	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Fuente	Fuente	Pozo	Pozo	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	Pozo	Pozo	
Altitud.....	820	816	815	850	836	841	815	815	810	862	900	845	842	747	863	783	828	881	836	831	835	818	910	916	895
Longitud.....	0°48'10" W.	0°48'50" W.	0°48'10" W.	0°47'45" W.	0°47'32" W.	0°45'53" W.	0°48'03" W.	0°48'00" W.	0°47'53" W.	0°46'53" W.	0°43'31" W.	0°48'33" W.	0°48'09" W.	0°45'00" W.	0°59'10" W.	1°00'00" W.	0°59'50" W.	0°58'59" W.	0°58'19" W.	0°56'07" W.	0°55'58" W.	0°56'47" W.	0°58'25" W.	0°56'56" W.	0°56'26" W.
Latitud.....	40°02'35" N.	40°03'45" N.	40°02'45" N.	40°04'20" N.	40°03'43" N.	40°03'00" N.	40°02'48" N.	40°02'42" N.	40°02'36" N.	40°00'40" N.	40°02'24" N.	40°02'3" N.	40°02'17" N.	40°02'53" N.	40°07'36" N.	40°09'33" N.	40°08'48" N.	40°08'28" N.	40°09'19" N.	40°08'46" N.	40°08'25" N.	40°08'32" N.	40°04'27" N.	40°05'32" N.	40°05'43" N.
Análisis químico número.	3	4	6	10	11	12	—	—	—	—	—	—	—	—	22	23	24	—	—	—	—	—	21	—	—
Profundidad.....	—	—	8	7	3	4	7,5	7	7	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Diámetro.....	—	—	2	1,10	1	1	2	2	3	0,5	—	—	—	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Nivel estático.....	—	—	3	0,60	1	0	3	3	1,5	2	0	0	—	0	—	—	—	0	0	0	0	0	—	0	—
Uso.....	Doméstico	—	Riego	—	—	—	Riego	Riego	Riego	Beber	Beber	Beber	Eoceno	Sarmatiense	Beber	Beber	Beber	Eoceno	Eoceno	Sarmatiense	Sarmatiense	Sarmatiense	Limpieza	—	—
Terreno.....	—	Cretácico	Sarmatiense	Sarmatiense	Sarmatiense	Pontiene	Sarmatiense	Sarmatiense	Sarmatiense	Pontiene	Cretácico	Cretácico	Eoceno	Sarmatiense	Eoceno?	Eoceno	—	Eoceno	Eoceno	Sarmatiense	Sarmatiense	Sarmatiense	Sarmatiense	Sarmatiense	Sarmatiense
Temperatura ambiente.....	—	12	14	12	9	6	12	12	12	12	10	10	—	12	12	10	—	—	—	—	—	—	8	—	—
Temperatura del agua.....	—	10	10	10	9	10	10	10	10	9	9	9	—	12	9	11	8	—	—	—	—	—	10	—	—

Muestras números..	P A R E D E S									T A R A N C O N					V E L L I S C A						U C L E S			
	13	14	15	25	41	42	61	62	88	35	36	50	51	52	28	29	30	31	32	64	34	63		
Denominación.....	Hacienda	Estación	Plaza	Dulce	El Pocillo	Estación	Alborchones	Pastores	Estrecho	Plaza	Río	El Peral	Borrachos	El Canijo	Estación	Plaza	El Pocillo	Río	La Pelaya	Fuente	Pueblo	Albaide		
Hoja.....	608	608	608	607	607	608	607	607	607	607	607	607	607	607	608	608	608	608	608	608	608	607	607	
Nombre.....	Huete	Huete	Huete	Tarancón	Tarancón	Huete	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Tarancón	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Huete	Tarancón	Tarancón	
Tipo.....	Pozo	Pozo	Fuente	Pozo	Pozo	Pozo	Fuente	Fuente	Pozo	Fuente	Río	Fuente	Fuente	Pozo	Fuente	Fuente	Fuente	Huete	Huete	Fuente	Fuente	Fuente	Fuente	
Altitud.....	834	837	834	822	818	837	858	863	857	808	765	840	780	460	862	927	920	860	860	907	817	877		
Longitud.....	0°50'00" W.	0°50'10" W.	0°50'00" W.	0°49'11" W.	0°49'50" W.	0°50'15" W.	0°49'40" W.	0°49'50" W.	0°49'44" W.	0°41'00" W.	0°43'37" W.	0°45'02" W.	0°42'52" W.	0°44'07" W.	0°53'34" W.	0°52'22" W.	0°52'36" W.	0°53'20" W.	0°53'30" W.	0°51'20" W.	—	0°49'53" W.		
Latitud.....	40°04'07" N.	40°04'15" N.	40°04'00" N.	40°04'08" N.	40°04'00" N.	40°04'17" N.	40°02'52" N.	40°02'24" N.	40°04'59" N.	40°00'40" N.	40°00'20" N.	40°00'32" N.	40°03'23" N.	40°04'25" N.	40°06'50" N.	40°07'48" N.	40°08'25" N.	40°06'53" N.	40°06'48" N.	40°05'17" N.	—	40°01'53" N.		
Análisis químico número.	13	14	15	25	—	—	—	—	4	35	36	—	—	—	28	29	30	31	32	—	34	—	—	
Profundidad.....	3,5	—	—	7	4	4	—	—	4	—	—	—	—	4	4	—	—	—	—	—	—	—	—	
Diámetro.....	1,5	2	—	1,10	2	2	—	—	1	—	—	—	—	1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Nivel estático.....	3	2	—	2	0	2	0	0	2	—	0	0	0	3	2,6	—	0	0	0	0	—	0	—	
Uso.....	Ninguno	Doméstico	Doméstico	—	Ninguno	Doméstico	—	—	—	Doméstico	—	—	—	Doméstico	Doméstico	Doméstico	Doméstico	Eoceno	Eoceno	Cretácico	Doméstico	—	—	
Terreno.....	Sarmatiense	Eoceno	—	Cretácico	Sarmatiense	Eoceno	Sarmatiense	Sarmatiense	Cretácico	—	Sarmatiense	Sarmatiense	Pontiene	Pontiene	Eoceno	Doméstico	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Eoceno	Sarmatiense	—	—
Temperatura ambiente.....	9	9	—	3	9	9	—	—	—	—	6	—	12	—	13	11	8	8	8	—	—	—	—	
Temperatura del agua.....	7	8	—	12	8	8	—	—	—	—	10	—	9	—	7	12	13	8	8	—	—	—	—	

## IX. CONCLUSIONES

El estudio hidrogeológico que se ha desarrollado se puede resumir en los siguientes puntos :

1.º La Sierra de Altomira constituye un complejo de formaciones jurásicas y cretácicas que, dando origen a un anticlinorio replegado y dislocado por fracturas, cruza la zona de norte a sur, abriéndose digitalmente hacia la parte meridional.

2.º Hacia levante, se presentan estos terrenos recubiertos por formaciones detríticas eocenas.

3.º Hacia el este y oeste aparecen los depósitos margosos del Mioceno.

4.º En los conjuntos mesozoicos (Jurásico-Cretácico) se define un acuífero regional, posiblemente conectado con los embalses de Entrepeñas y Buendía, de excelentes características, tanto por la composición del agua (potable) como por su potencial hídrico.

5.º Los bancos eocenos del este, también contienen agua en su interior, de muy buena calidad en cuanto a su composición química, y posiblemente capaz de ser alumbrados grandes caudales.

6.º Todas las formaciones miocenas son inadecuadas para definir acuíferos, y para que éstos sean explotables, no sólo por su escaso potencial, sino también por la composición de los mismos, calificados en nuestro estudio como no potables, debido al gran contenido que presentan en sales.

7.º Parece ser que en una longitud de 100 kilómetros, desde los embalses de Entrepeñas y Buendía hasta los afloramientos paleozoicos de la provincia de Albacete, se pueden hacer pozos de más de  $100 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

LABORATORIO DE LITOLOGÍA

Dpto. de Petrografía. I. L. M.  
del C. S. I. C.

LABORATORIO DE PETROLOGÍA SEDIMENTARIA  
Facultad de Ciencias. Madrid



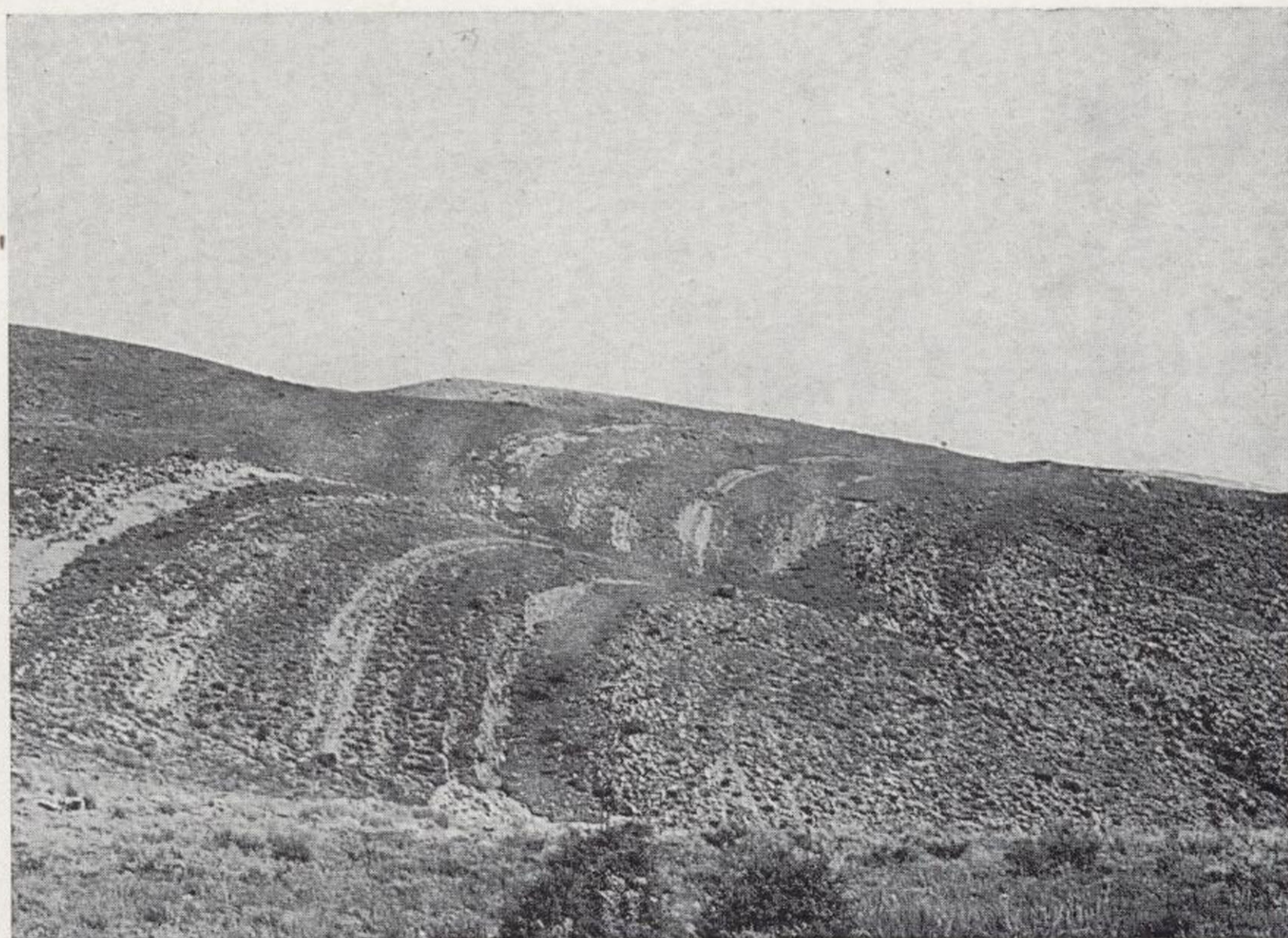
Fot. 1.—Cantera de samitas conglomeráticas en Carrascosa del Campo.



Fot. 2.—Aspecto de la estratificación cruzada de las samitas conglomeráticas eocenas en las afueras de Carrascosa del Campo, hacia Huete.



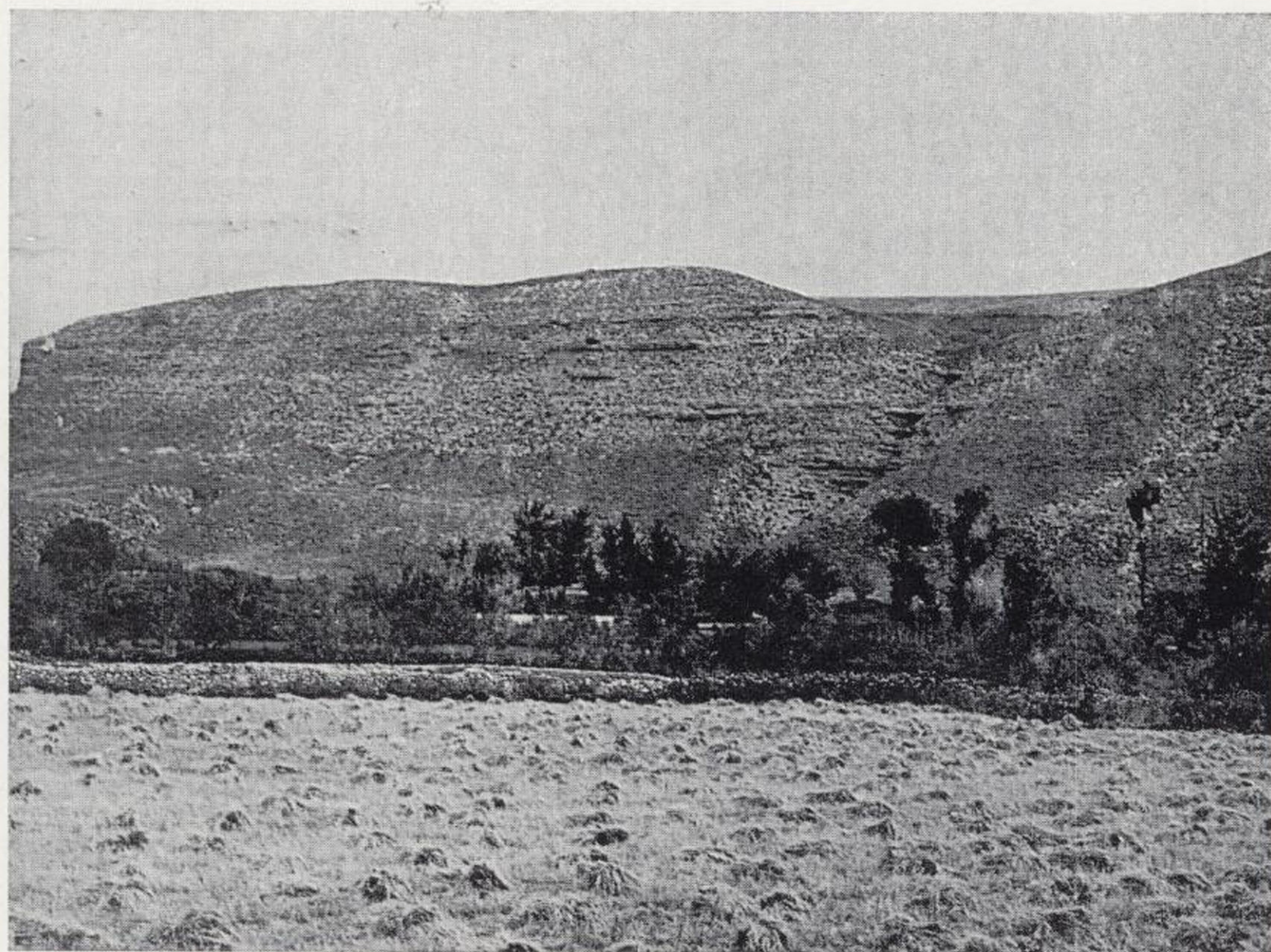
Fot. 3.—Anticlinal de Paredes, calizas cenomanenses. Km. 13,500 de la carretera Tarancón-Cuenca.



Fct. 4.—Vista general de la Sierra de Altomira, en Vellisca. Alternancia de calizas y margas senonenses.



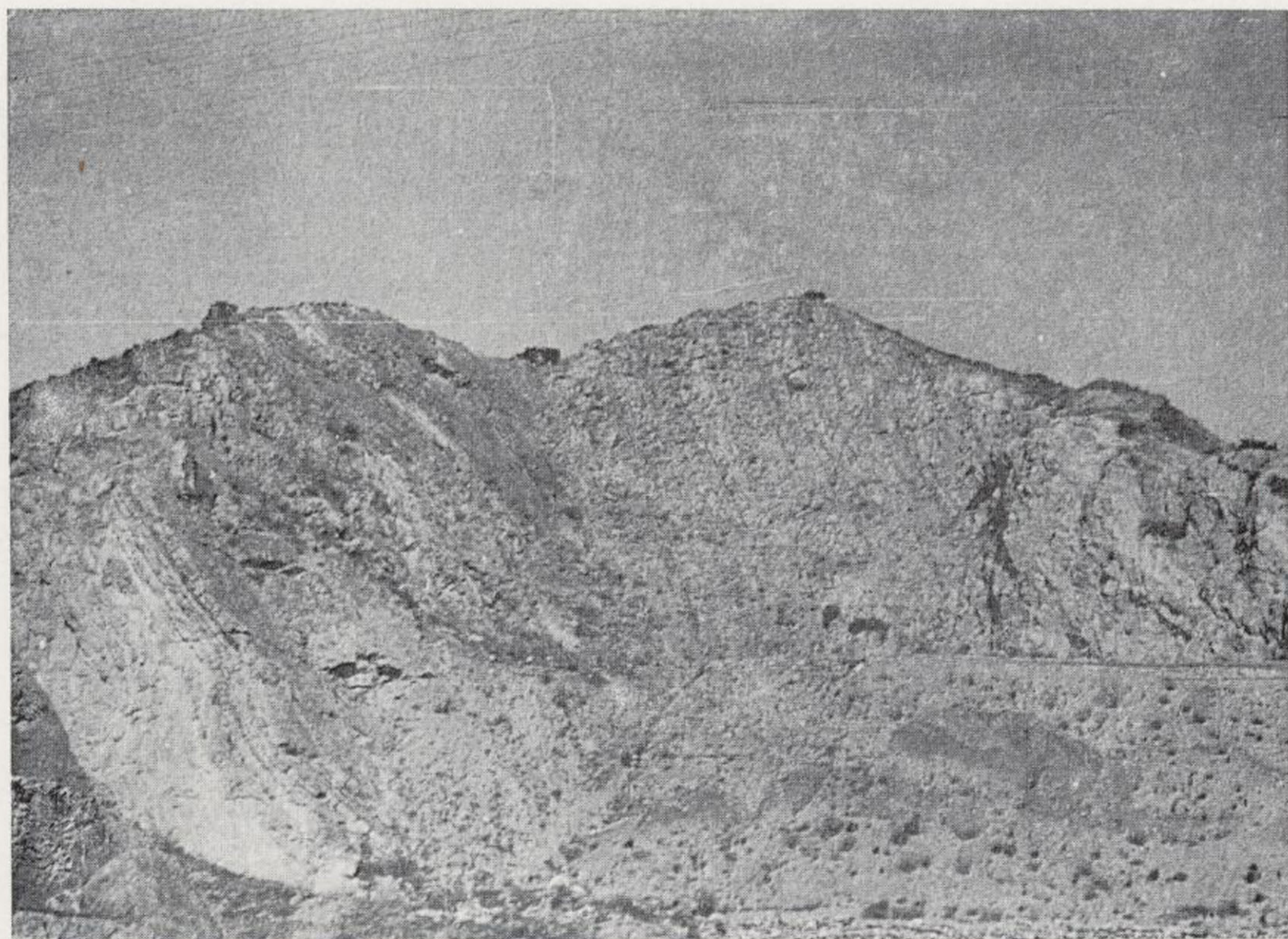
Fot. 5.—Contacto del Eoceno con el Oligoceno, cerca de Carrascosa del Campo, Km. 22,9.



Fot. 5.—Mioceno horizontal, Barajas de Melo.



Fot. 7.—Areniscas eocenas, cerca de Vellisca.



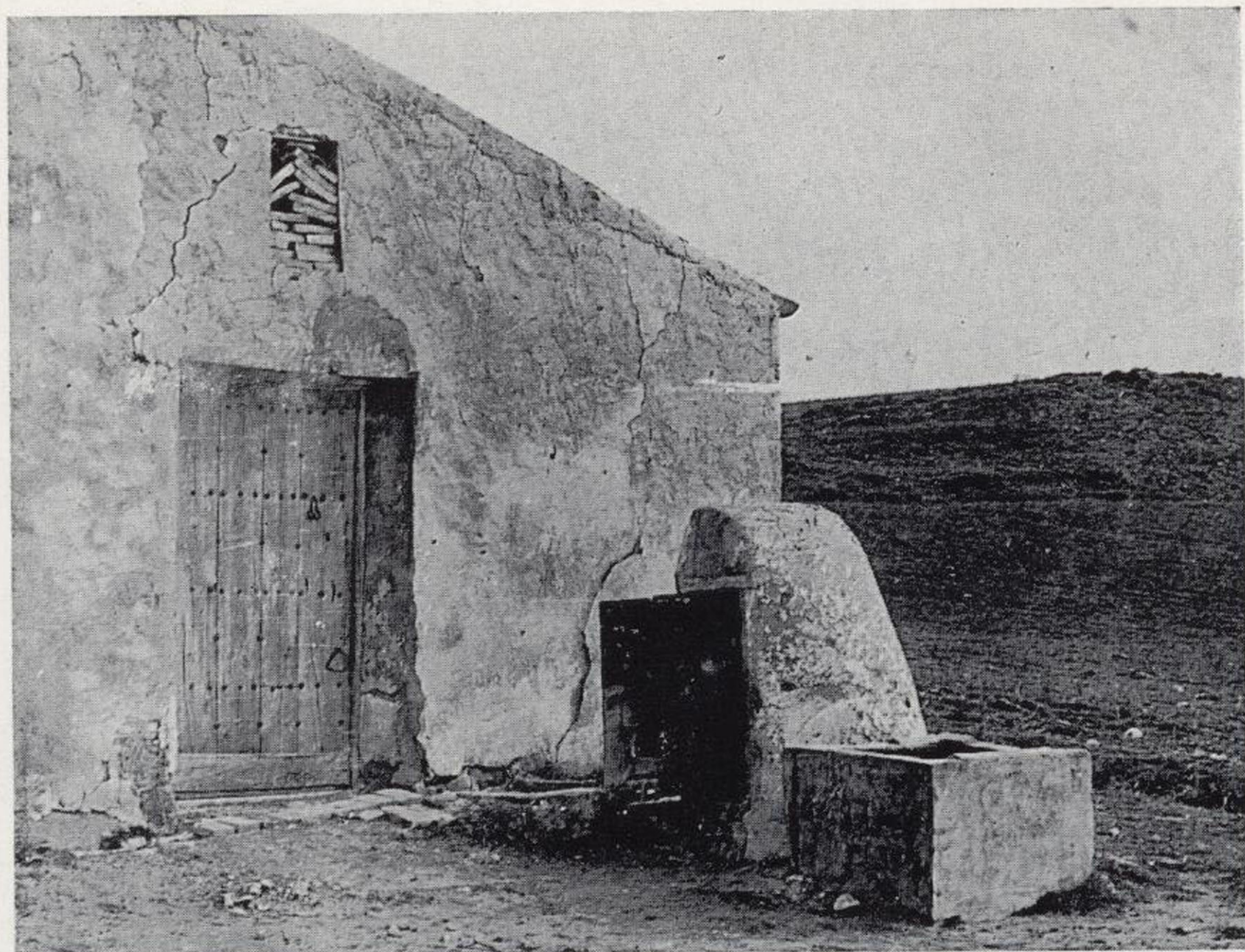
Fot. 8.—Cañizas tabeadas senonenses, en la parte final del anticlinal de Paredes.



Fot. 9.—Aspecto de' manantial donde nace el río Calvache, en Barajas de Me'o.



Fot. 10.—Aspecto del río Riansares cerca de Tarancón, al cruzar la carretera Madrid-Valencia.



Fot. 11.—Pozo en el Eoceno, a la entrada del pueblo Carrascosa del Campo.

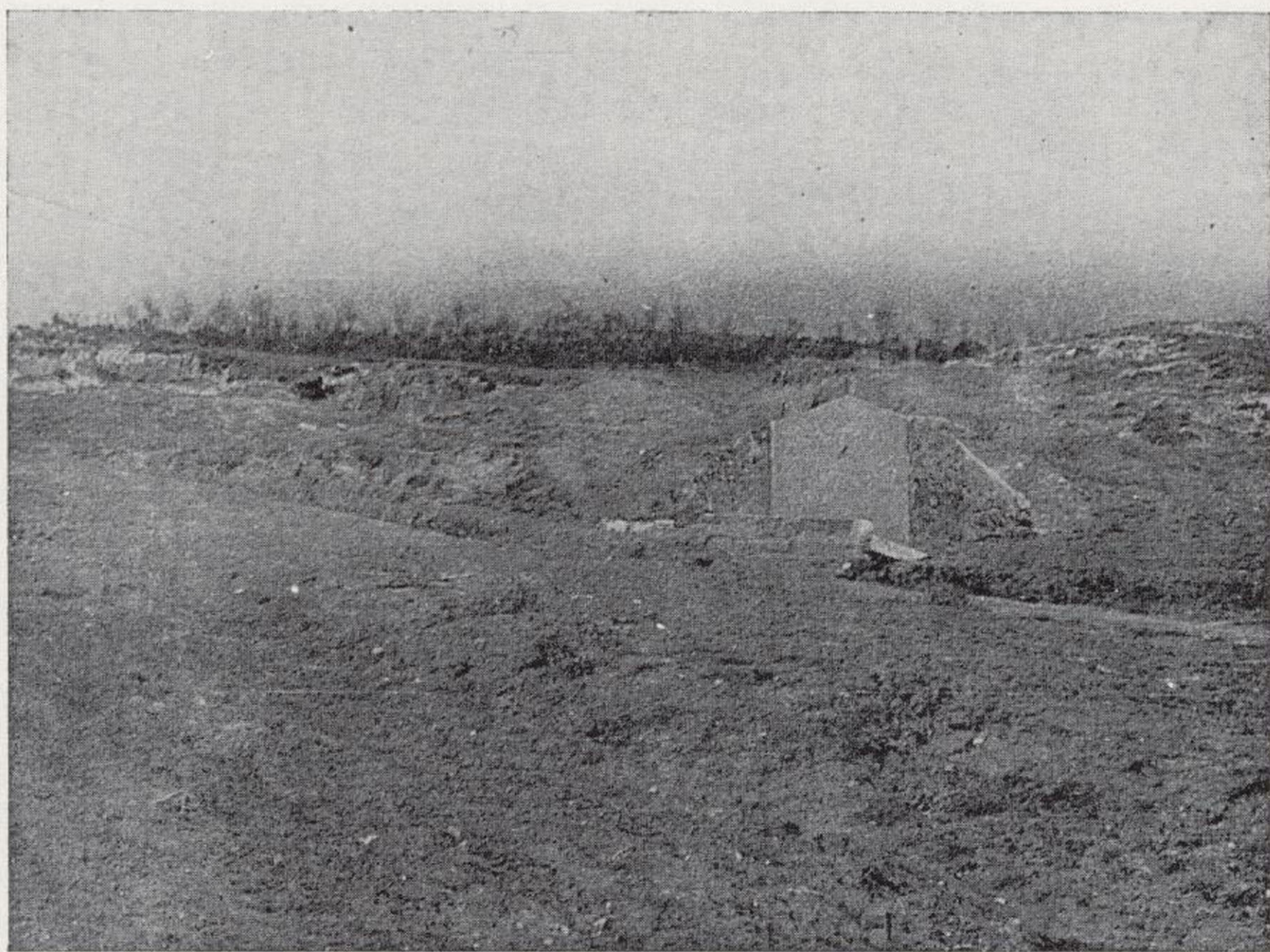


Fot. 12.—Pozo en el Eoceno, al W. de Paredes, lindando con las calizas cenomanenses.





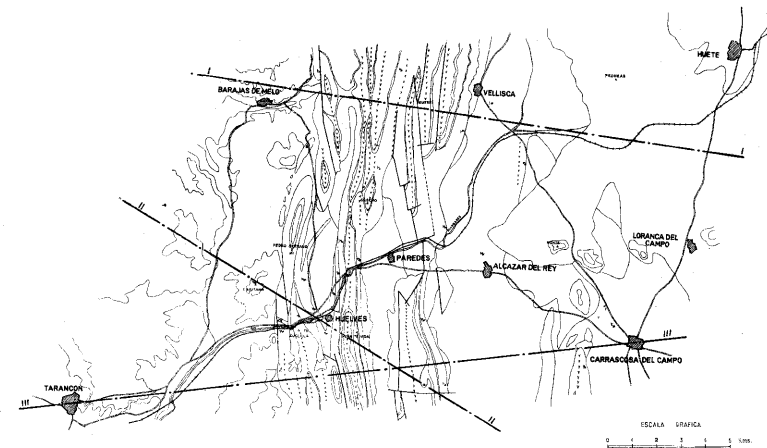
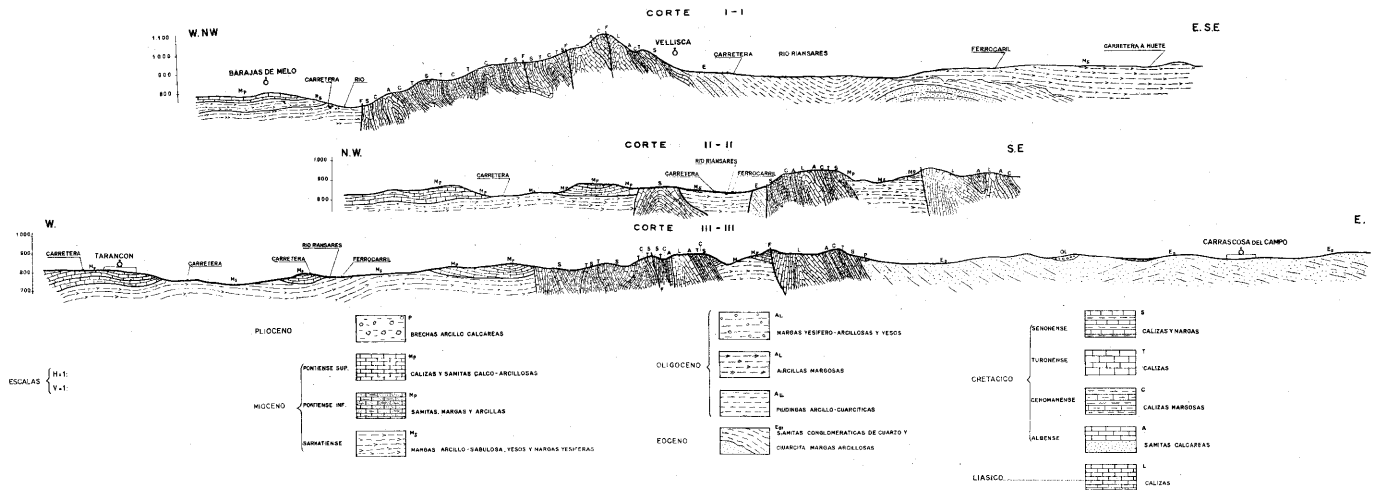
Fot. 13.—Fuente en las formaciones yesíferas miocenas de Loranca del Campo.



Fot. 14.—Fuente en el Eoceno, a la entrada de Carrasposa del Campo.

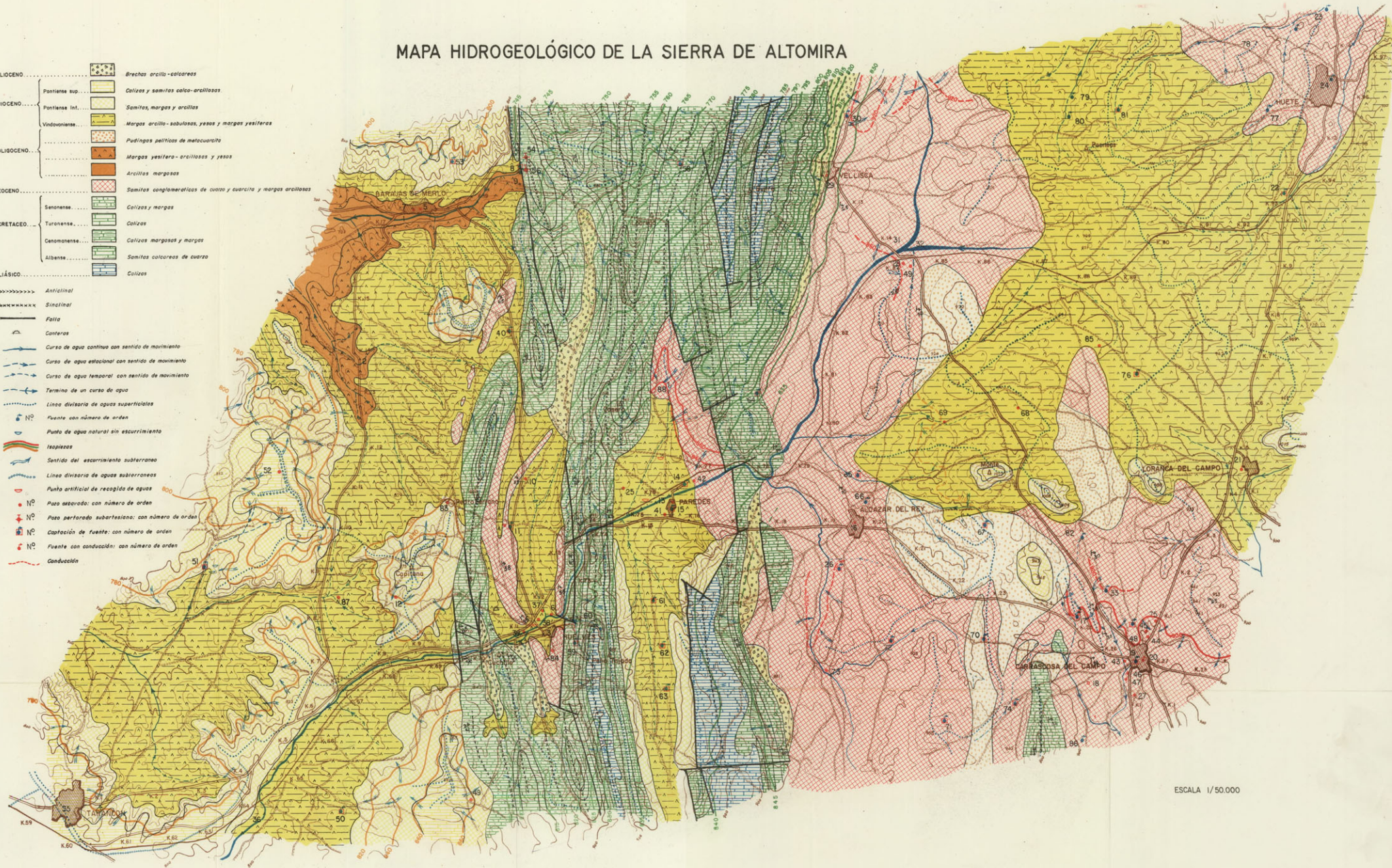
# CORTES GEOLOGICOS DE LA SIERRA DE ALTOMIRA

# ESQUEMA DE SITUACION DE LOS CORTES



# MAPA HIDROGEOLÓGICO DE LA SIERRA DE ALTOMIRA

- |           |  |                                                         |
|-----------|--|---------------------------------------------------------|
| Plioceno  |  | Brechas arcilla-calcareas                               |
| Mioceno   |  | Calizas y samitas calco-arcillosas                      |
|           |  | Samitas, margas y arcillas                              |
| Oligoceno |  | Margas arcilla-sabulosas, yesos y margas yesíferas      |
|           |  | Putingas pelíticas de melocuarita                       |
| Eoceno    |  | Margas yesíferas-arcillosas y yesos                     |
|           |  | Arcillas margosas                                       |
| Cretáceo  |  | Samitas conglomeráticas de cuarcita y margas arcillosas |
|           |  | Calizas y margas                                        |
| Liásico   |  | Calizas                                                 |
|           |  | Calizas margosas y margas                               |
|           |  | Samitas calcareas de cuarcita                           |
- 
- |  |                                                    |
|--|----------------------------------------------------|
|  | Anticlinal                                         |
|  | Sinclinal                                          |
|  | Falla                                              |
|  | Canteras                                           |
|  | Curso de agua continuo con sentido de movimiento   |
|  | Curso de agua estacional con sentido de movimiento |
|  | Curso de agua temporal con sentido de movimiento   |
|  | Termino de un curso de agua                        |
|  | Línea divisoria de aguas superficiales             |
|  | Fuente con número de orden                         |
|  | Punto de agua natural sin escurrimiento            |
|  | Isopiezas                                          |
|  | Sentido del escurrimiento subterráneo              |
|  | Línea divisoria de aguas subterráneas              |
|  | Punto artificial de recogida de aguas              |
|  | Pozo asorado: con número de orden                  |
|  | Pozo perforado subterráneo: con número de orden    |
|  | Captación de fuente: con número de orden           |
|  | Fuente con conducción: con número de orden         |
|  | Conducción                                         |



## X. BIBLIOGRAFIA

- GI, R., y MARGAT, J. (1960): "Légende générale des cartes Hydrologiques du Maroc".—Public. núm. 50 de Association Internationale Hydrologie Scientifique.
- RÓN, G. (1884): "Observaciones sobre la constitución de la meseta central de España".—*Bol. R. Soc. Hist. Nat.*, t. XIII. Madrid.
- RÓN, G. (1885): "Ensayo orogénico sobre la meseta central de España".—*Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, t. XIV. Madrid.
- NY, G. (1963): "Traité pratique des eaux souterraines".—Dunod. París.
- LL, C. (1881): "Descripción geológica de la provincia de Guadalupe".—*Bol. C. M.*, t. VIII. Madrid.
- ZAR, D. (1875): "Descripción física, geológica e hidrológica de la provincia de Cuenca"—*M. C. M. G.* Madrid.
- Z DE LLARENA, J. (1913): "Excursión por el Mioceno de la cuenca del Tajo".—*Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, t. XIII. Madrid.
- ING SAEFTEL (1959): "Paleogeografía del Albense en las cadenas celtibéricas de España".—Trad. de Ríos, J. M.<sup>a</sup>—*Not. y Com. del Instituto Geol. y Min. de España*, núm. 63. Madrid.
- ELAN, J. A. (1945): "Explicación de la Hoja de Huete, núm. 608".—*Rev. Geol. y Min. de España*. Madrid.
- ELAN, J. A. (1946): "Explicación de la Hoja de Tarancón, núm. 607".—*Rev. Geol. y Min. de España*. Madrid.
- LADA, L. (1904): "Sistema Infracretáceo y Cretáceo". *Mem. C. M. G.*, tomo V. Madrid.
- TÍNEZ PEÑA, I. (1956): "El sistema Cretáceo sobre la meseta manchega (Cuenca, Ciudad Real, Guadalajara)".—*Mem. Inst. Geol. y Min. de España*, t. LVII. Madrid.

- MINGARRO MARTÍN, F.; SELL, J. I., y ORTEGA, J. (1954): "La prospección geofísica aplicada a la investigación geológica.—I. Prospección geológica en el estudio hidrogeológico de Barajas de Melo (Cuenca)".—*Revista de Geofísica*, núm. 89-90. Madrid.
- ORIOI RIBA y FONTBOTÉ, J. M. (1956): "Estudio geológico de los alrededores de Mota del Cuervo".—*Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España*, núm. 44. Madrid.
- RÍOS, J. M.; GARRIDO, J., y ALMELA, A. (1944): "Reconocimiento geológico de una parte de las provincias de Cuenca y Guadalajara".—*Boletín R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, t. XLII. Madrid.
- ROYO y GÓMEZ, J. (1916): "Datos para la geología de la submeseta Tajo".—*Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, t. XVII. Madrid.
- ROYO y GÓMEZ, J. (1918): "Nuevos datos para la geología de la submeseta del Tajo".—*Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, t. XIV. Madrid.
- ROYO y GÓMEZ, J. (1920): "La Sierra de Altomira y sus relaciones con la submeseta del Tajo".—*Trab. Mus. Nac. de Cienc. Nat.*, Ser. Geol., tomo 27. Madrid.
- ROYO y GÓMEZ, J. (1922): "El Mioceno continental ibérico y su faunalógica".—*Com. Invest. Paleont. y Prehist. Mem.* núm. 30. Madrid.
- SHIFTAN, Z. L. (1961): "New data on the artesian aquifers of the Soherdead sea basin and their geological evolution".—Vol. 100, núm. 1. *Bull. Res. Council of Israel*.
- UNESCO. NS/NR/20 - (IASH) y (IAH). — "International Legend Hydrogeological maps". Circular letter núm. 10. *International Union Geological Sciences*. 1963.

## Palynology of Silurian and Devonian rocks in Northwest Spain

BY

FRITZ H. CRAMER

Pan American Petroleum Corporation

## SUMMARY

Palynomorphs can be used successfully to zone sedimentary rocks of Ordovician to Upper Devonian age in northwestern Spain. Chitinozoans are particularly useful as markers in the Upper Silurian; both acritarchs and spores are excellent markers in the Upper Silurian and Lower Devonian strata; the remaining part of the column can be zoned by spores.

The method employed for processing the rocks to isolate palynomorphs is outlined.

Selected taxa are described in the systematic part of the paper.

## SUMARIO

Los microfósiles palinológicos pueden utilizarse con eficacia para establecer una división en zonas cronológicas de las rocas sedimentarias del Ordoviciense Superior hasta el Devónico Superior de las Montañas Cantábricas en las provincias de Palencia, León y Oviedo. Los quitinozoarios son particularmente útiles como indicadores en el Ordoviciense y el Siluriano; las acritarcas, tanto como las esporas, son indicadores excelentes en las formaciones del Siluriano Superior y del Devónico Inferior; el resto de la columna estudiada contiene asociaciones características de esporas. Se esboza el método empleado para preparar los microfósiles.

## I. GENERAL PART

### I.1 INTRODUCTION

The use for rock dating and zonation of the acid-resistant microfossil content of Paleozoic rocks in northwestern Spain is investigated. Numerous outcrop sections were sampled in the study region which comprises parts of the provinces of Oviedo, León, Palencia and Santander. Text-figure 1 illustrates the study area, indicating the most prolific sample localities. The formations examined include rocks of Upper Cambrian to Upper Devonian age. The stratigraphy in the study area is essentially an alternation of clastics and carbonates, with clastic formations occurring throughout the column. Information on the geology of the region can be found in Comte, 1938 through 1959; de Sitter, 1962; Hernández-Sampelayo, 1944; Barrois, 1882; Wagner, 1962.

Processing of samples showed the presence of palynomorphs in almost all formations in the study area. High concentrations were obtained mainly from the fine grained clastics, and palynomorphs could be extracted from almost all sedimentary rocks using a suitable processing method. The following rock types were barren: relatively pure dolomites and limestones, such as, the dolomites and limestones of the Láncara Formation, and the basal dolomites and limestones of the La Vid Formation in León, and their equivalents in the other provinces. Most samples of the Portilla Formation in León were also barren.

The present report is supplementary to a previous paper on Spanish microplankton published in 1964 by Cramer.

Some of the spore taxa described in this paper may be synonymous with species described in some publications by Russian authors (Chibrikova, 1959; Kedo, 1957; Naumova, 1953). Frequently it is impossible to precisely identify the species, due to the difficulties in interpreting the line drawings and often inadequate descriptions.

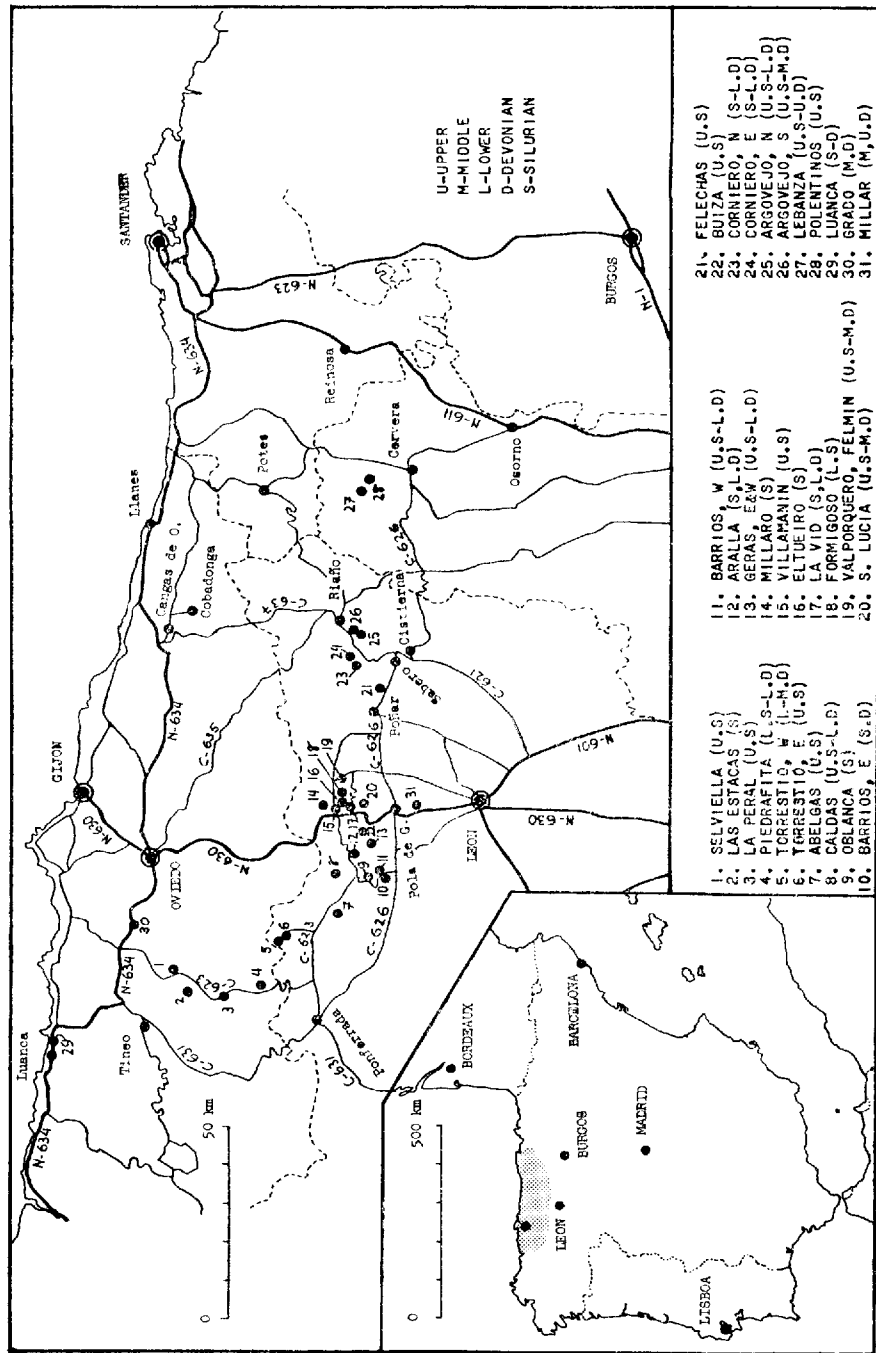


Figure 1.—Locality map.

Few spores have been described from this part of the column (Hoffmeister, 1959; McGregor, 1961). Many of the taxa recorded are new, and no more than a small fraction of these new forms are discussed in the present paper. It should be emphasized that the forms described here do not represent the entire spectrum of spores present in the sequences investigated, but are merely a few of the taxa that proved to have stratigraphic value. It is not known of the proposed zonal scheme is applicable outside of the study region.

In order to avoid disadvantageous changes in the nomenclature of the proposed taxa entailed by the strict application of the rules of the International Code of Botanical Nomenclature by nomenclatural lawyers, the reference specimens (which are indicated by slide number and coordinates) are to be considered as holotypes in the sense of section 2, articles 32, 37, 38, 39, 41 of the Code.

It is the author's intention to deposit the type material in some permanent responsible institution after the completion of this investigation. This to comply with recommendation 7 a of the Code.

I.2 EXPLANATION OF RANGE CHART

The range chart presented in this report (fig. 2) is a summary of data obtained from this investigation. Different groups of microfossils have been considered: acritarchs, chitinozoans, spores, scolecodonts, remains of graptolites, melanosclerids, and trachieds. It should be emphasized that the present paper is not a final report; it merely presents the knowledge of Spanish pre-Carboniferous palynomorphs until July, 1965.

Ranges of the most abundant and widespread taxa have been plotted in figure 2. Other taxa that proved to be of little value for zonation purposes, have been omitted. The latter taxa include: 1), forms found in relatively low numbers; 2), forms with long ranges covering the entire time span of the studied column; 3), forms of local importance only which were found in no more than two samples in one section. These forms are listed at the end of this chapter. Twenty-four groups, or suites\*, of microfossils

\* "Suite" is preferred over "group", since the latter word is often used to indicate a supposed relationship (Downie, Evitt, and Sarjeant, 1963). To the author's best knowledge, suite has no such connotation.



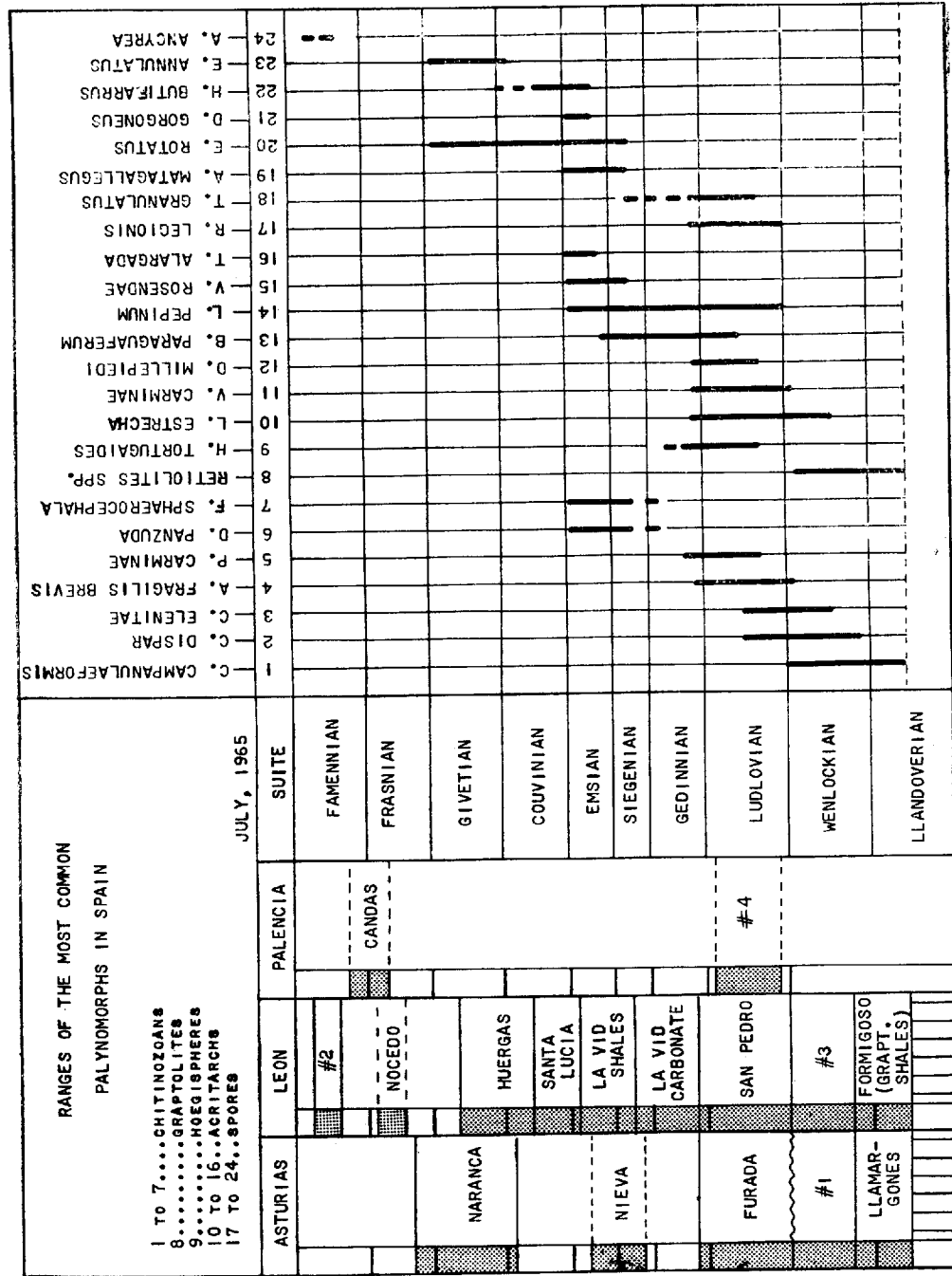


Figure 2.—Range chart.

with restricted ranges could be distinguished. These suites are arranged in the following way: chitinozoans (1-7), graptolites (8), hoegispheres (9), acritarchs (10-16), spores (17-24). The cypher indicates the suite of microfossils of which the range is stated; the suites are named after the most conspicuous, characteristic, or common taxon present.

**Wenlockian (Zone I).**

The differences in composition of the Silurian assemblages in the study region indicate a conspicuous break in the fossil record, which lies approximately at the Wenlockian-Ludlovian boundary (between the unnamed Wenlockian Formations No. 1, No. 2, and the Ludlovian Formation No. 4, San Pedro Formation, Furada Formation). The break is characterized by the abundance of acritarchs and spores in the Ludlovian strata above, and dominance of chitinozoans and graptolite remains in the Wenlockian and Llandoveryan sequence below. These two major zones can be subdivided further using the consistent differences in frequency of the constituents of the palynomorph assemblages. In the Llandoveryan and Wenlockian, three distinct teilzones, characterized by their suites, can be distinguished. These are, listed from base to top:

- Suites 1, 8: *Cyathochitina campanulaeformis* - *Retiolites* spp. suites.
- Suite 2: the *Cyathochitina dispar* suite.
- Suites 3, 10: the *Cyathochitina elemitae*, *Leiofusa estrecha* suites.

**Teilzone 1.**

The *Cy. campanulaeformis* - *Retiolites* spp. suite is dominant in the Upper Llandoveryan and Lower Wenlockian throughout the study region. The suite ranges as high as the uppermost Ludlovian, but the abundance of its constituents diminishes considerably and is almost zero near the upper end of its range. The suite includes the following taxa.

- Cyathochitina campanulaeformis* Eisenack 1955.
- Conochitina edjelensis* Taugourdeau 1963 (long forms).
- Conochitina gordonensis* Cramer 1964.
- Simplochitina intermedia* (Elsenack 1955).
- Fungochitina (Sphaerochitina) fungiformis* (Eisenack 1931).

*Simplochitina brevis* (Taugourdeau and de Jekhowsky 1960).  
*Retiolites* spp. (in Eisenack 1951, no identification up to a specific level is possible).

A locality where this teilzone is well developed is the basal part of the Formigoso Formation (black ampelitic graptolite shales), 4 to 12 m above the contact with the Barrios Quartzite Formation at "El Tueiro" situated at the left side of the river Bernesga, approximately 3 km north of the village La Vid (de Gordón) in León.

#### Teilzone 2.

The constituents of the *Cyathochitina dispar* suite are abundant in the upper part of the Wenlockian. The suite diminishes in importance in the lower part of the Ludlovian and is absent in the upper part of the Ludlovian. The suite includes the following taxa:

*Cyathochitina dispar* Benoit and Taugourdeau 1961.  
*Eremochitina cingulata* (Eisenack 1937).  
*Angochitina valentini* Cramer 1964.  
*Fungochitina* (*Sphaerochitina*) *fungiformis* (Eisenack 1931).  
*Desmochitina elegans* Taugourdeau and de Jekhowsky 1960.  
*Lagenochitina vitrea* (Taugourdeau 1960).  
*Lagenochitina vitrea* is common in the upper part of the Wenlockian in Asturias and northwest León (Formations No. 1, 4) (see Appendix IV; 3).

A locality where this suite is well developed is an outcrop east of the village. La Vid de Cordón at the left side of the country road from La Vid to Vegacervera, in León. The sequence consists of arenaceous shales and shaly sandstones and quartzites from 60 to 40 m below the first thick ferrugeneous quartzite of the San Pedro Formation.

#### Teilzone 3.

The *Cyathochitina elenitae*, *Leiofusa estrecha* suites foreshadow the decline of the chitinozoans in the Spanish Paleozoic. This is the oldest palynomorph suite characterized by acritarchs as well as chitinozoans. The following are taxa that have a good marker value. It should be noted, however, that the acritarchs mentioned in this list are long ranging and their stratigraphic value is based on their first occurrences.

*Cyathochitina elenitae* Cramer 1964.  
*Leiofusa estrecha* Cramer 1964.  
*Baltisphaeridium denticulatum rigidum* Cramer 1965.

#### Ludlovian to Lower Gedinnian (Zone II).

The next major zone occupies the uppermost Wenlockian to the lowermost Lower Gedinnian. It is characterized by abundant acritarchs and spores. Chitinozoans are less frequent than in the underlying zone and, at the Siluro-Devonian boundary, their abundance diminishes throughout the entire region investigated. In many samples, plant spores achieve an abundance up to 80 % of the microfossils counted. The spores are simple forms belonging to the genera *Retialetes*, *Retusotriletes*, *Ambitisporites*, *Apiculoretusotriletes*, *Cyclogranisporites*, *Ellipsialetes*, *Tetraletes*, *Amocosporites*, and simple forms of: *Emphanisporites*, *Punctatisporites*, and *Leiotriletes* are abundantly represented by long ranging forms. The spore assemblages are but little diversified: five or six taxa make up almost the entire spectrum, and the few additional elements have frequencies as low as one specimen per 1,000 counted specimens. The great majority of spores recovered from this part of the section has an upper size limit of approximately 80  $\mu$  or less.

Many of the acritarchs have fairly distinctive characteristic making them good markers. The incoming and maximum frequency of some taxa can be used for a reliable zonation, as is the case in north west León and south Oviedo (Cramer, 1964 a). Acritarchs occurring in the study area may be divided into two groups: a group of taxa that occur in relatively large numbers throughout the region, and another group of low percentage forms with apparent scattered or discontinuous occurrences. The first group achieves an abundance of 80 to 95 % of the total acritarchs count per sample, but is relatively little diversified in variety of forms present; the second group contains numerous taxa which either have high percentages in a few samples or occur as low percentage elements in continuous series samples in a few sections only. Of these low percentage groups, several geographical provinces could be recognized, and hence their value as markers is local. This aspect will be treated in a forthcoming paper. The assemblage that characterizes the uppermost Wenlockian and basal L. Gedinnian includes the following taxa:

Suite 4: *Ancyrochitina fragilis brevis*.  
 Suite 9: *Hoegisphaera tortugoides*.

- Suite 10: *Veryhachium estrecha*.  
 Suite 11: *Veryhachium carminae*.  
 Suite 17: *Retialetes legionis*.

#### Upper Ludlovian Teilzone.

A separate teilzone can be distinguished in the Upper Ludlovian, this teilzone is characterized by the presence of the following suites:

- Suite 5: *Plectochitina carminae*.  
 Suite 12: *Deflandrastrum millepedi*.  
 Suite 13: *Baltisphaeridium paraguaferum*.  
 Suite 14: *Lophodiacrodium pepinum*.  
 Suite 18: *Tetraletes granulatus*.  
 plus the suites 4, 9, 10, 11, 17.

The *Ancyrochitina fragilis brevis* suite includes:

- Ancyrochitina fragilis brevis* Taugourdeau & de Jekhowky 1960.  
*Eremochitina cingulata* (Eisenack 1937).  
*Desmochitina densa* Eisenack 1962.  
*Eremochitina erratica* (Eisenack 1931) abundant in NE Leó and S Asturias.

The *Hoegisphaera tortugaides* suite includes:

- Hoegisphaera tortugaides* Cramer 1966.  
*Hoegisphaera staplinis* Cramer 1966.  
*Hoegisphaera carminae* Cramer 1966.  
*Hoegisphaera testudo* Cramer 1966.

The *Veryhachium carminae* suite includes:

- Hispanaediscus verrucatus* Cramer 1966.  
*Hispanaediscus leonense* Cramer 1966.  
*Hispanaediscus berneseae* Cramer 1966.  
*Saturnus toriense* Cramer 1966.  
*Saturnus laevigatus* Cramer 1966.  
 (?) *Saturnus diequatoriferus* Cramer 1966.  
*Onondagaella sanpetrensis* Cramer 1966.  
*Onondagaella deunffi* Cramer 1966.

- Leiofusa berneseae* Cramer 1964.  
*Veryhachium carminae* Cramer 1963.  
*Baltisphaeridium pilaris* Cramer 1964.  
*Baltisphaeridium ravum* Downie 1963.  
*Baltisphaeridium carinosum* Cramer 1964.  
*Baltisphaeridium dilatispinosum* Downie 1964.  
*Baltisphaeridium sanpetrensis* (Cramer 1964).  
*Leiofusa striatifera* Cramer 1964.  
*Leiofusa blanca* Cramer 1964.  
*Leiofusa cantabrica* Cramer 1964.  
*Leiofusa banderilla* Cramer 1964, extends into Siegenian.  
*Deunffia* cf. *monospinosa* Downie 1960.  
*Veryhachium tolontolum* Cramer 1964.  
*Helios aranaides* Cramer 1964.  
*Cepillum puercoespinoide* Cramer 1964.  
*Baltisphaeridium dedosmuertosum* Cramer 1964.  
*Veryhachium scabratum* Cramer 1964.  
*Veryhachium torrestionense* Cramer 1964.  
*Veryhachium thyrae* Cramer 1964.  
*Veryhachium josefae* Cramer 1964.  
*Geron guenillerus* n. sp.  
*Pterospermopsis martinii* n. sp.  
*Pterotosphaerula astrala* n. sp.  
*Pterotosphaerula alicuata* n. sp.  
*Perisaccus drepaniptychius* n. sp.  
*Tunisphaeridium venosum* Deunff 1965.

The *Retialetes legionis* suite includes:

- Retialetes legionis* Cramer 1966.  
*Retusotriletes chulus* Cramer 1966.  
*Retusotriletes sanpetri* n. sp.  
*Ambitisporites avitus* Hoffmeister 1959.  
*Apiculoretusipora toriensis* Cramer 1965.  
*Anapiculatisporites terciensis* Cramer 1966.  
*Anapiculatisporites ventae* Cramer 1966.  
*Amicosporites splendidus* n. sp.  
*Ellipsaletes laevigatus* Cramer 1966.

The *Leiofusa estrecha* suite comprises:

- Leiofusa estrecha* Cramer 1964.
- Baltisphaeridium denticulatum rigidum* Cramer 1964.

The *Plectochitina carminae* suite includes:

- Plectochitina carminae* Cramer 1964.
- Plectochitina rosendae* Cramer 1964.
- Plectochitina* (?) *pseudoagglutinans* (Taugourdeau 1963).
- Lagenochitina brevicollis granulata* Cramer 1964.
- Clathrochitina carmenchuae* Cramer 1964.

The *Deflandrastrum colonnae* suite includes:

- Deflandrastrum colonnae* Combaz 1962.
- Deflandrastrum millepedi* Combaz 1962.
- Solita radians* Cramer 1964 (*Sol radians*, in Cramer, 1964 a).
- Solita radiofurcata* Cramer 1964 (*Sol radiofurcatum*, in Cramer, 1964 a).
- Quadraditum fantasticum* Cramer 1964.

The occurrences of *D. millepedi* and *D. colonnae* begin at the range overlap of the *Cy. elemitea* and the *Pl. carminae* suites. They seem to occur at lower stratigraphic levels in the south of the region investigated.

The *Tetraletes granulatus* suite includes:

- Tetraletes granulatus* Cramer 1966.
- Tetraletes variabilis* Cramer 1966.

*Baltisphaeridium molinum* Cramer 1964, ranges from the upper part of the Ludlovian into the Emsian. However, a difference in form between younger and older forms was observed. This trend has been plotted in Cramer 1964 a, fig. 17 (4) and (5).

The *Baltisphaeridium paraguaferum* suite ranges from the upper part of the Ludlovian to the lower part of the Emsian stage; this suite includes:

- Baltisphaeridium paraguaferum* Cramer 1964.
- Baltisphaeridium arbusculiferum* Downie 1963.
- Pterospermopsis onondagaensis* Deunff 1955.

- (?) *Veryhachium nasicum* Stockmans and Willièrè 1960.
- (?) *Veryhachium vandenbergheni* Stockmans and Willièrè 1960.

The *Lophodiacrodium pepinum* suite ranges from the Ludlovian to the Emsian stage. The suite includes:

- Lophodiacrodium pepinum* Cramer 1964.
- Polyedryxium rabians* Cramer 1964.
- Leiofusa banderilla* Cramer 1964.

#### Lower Devonian.

In the Lower Devonian chitinozoans become gradually less common and the assemblages become less diversified which impairs their use for zonation. Occasionally, however, where a sufficiently great number of chitinozoans was recovered, top and bottom of the formations could be distinguished using the relative frequencies of the chitinozoan taxa that constitute the assemblages.

Spores are important in the Lower Devonian, since there are numerous short ranging taxa present. In fact, the bulk of the palynomorphs in formations younger than Gedinnian are spores. In the Siegenian-Emsian stages, numerous acritarch taxa can be used to finely zonate the sequence. By the end of the Emsian stage, microfossils other than spores disappear rapidly from the assemblages.

Suites that mark the Lower Devonian are:

- Suite 6: the *Desmochitina panzuda* suite.
- Suite 7: the *Fungochitina* (*Sphaerochitina*) *sphaerocephala* suite
- Suite 15: the *Veryhachium rosendae* suite.
- Suite 19: the *Anapiculatisporites matagallegus* suite.

The upper part of the Lower Devonian, which includes the Emsian stage is characterized by the suites listed above plus the following:

- Suite 16: the *Triangulina alargada* suite.
- Suite 21: the *Dictyotriletes gorgoneus* suite.
- Suite 22: the *Hymenozonotriletes butifarrus* suite - this suite perhaps ranges into upper part of the Couvinian or even into the lower part of the Givetian.
- Suite 13: the *Baltisphaeridium paraguaferum* suite has been

discussed above; the *Emphanisporites rotatus* suite (suite 20) which includes, among others, *Perotrilites gordianus*, covers the Upper Siegenian to the Givetian stages.

The *Desmochitina panzuda* - *Fungochitina sphaerocephala* suites include:

- Desmochitina panzuda* Cramer 1964.
- Angochitina* spp. with spinose to echinate walls.
- Ancyrochitina ancyrea* Eisenack 1931, specimens with very complex appendages and spinose upper part of the neck.
- Fungochitina* (*Sphaerochitina*) *sphaerocophala* (Eisenack 1932).

The lateral variation in composition of the chitinozoan assemblages in this part of the column is very wide, and although no definite trend could be established, it appears that high counts of *D. panzuda* induce low *L. sphaerocephala* counts, and vice versa.

The *Veryhachium rosendae* suite includes:

- The *Veryhachium rosendae* taxon comprising: *Veryhachium rosendae* Cramer 1964, *V. helenae* Cmr. 1964, *V. bernardinae* Cmr. 1964, *V. ceratoides* Stockmans and Willièrè 1960.
- Veryhachium inflatissimum* Cramer 1964.
- Veryhachium trispiniflatum* Cramer 1964.
- Baltisphaeridium toyetae* Cramer 1964.
- Baltisphaeridium rabiosum* Cramer 1964, common in the upper part of this zone in Asturias.
- Pterospermopsis chiquitina* Cramer 1964.
- Polyedryxium decorum* Deunff 1955.
- Polyedryxium helenaster* Cramer 1964.
- Pterospermopsis carminae* Cramer 1964.
- Pterospermopsis chiquitina* Cramer 1964.
- Helios aranoides* Cramer 1964.
- (?) *Baltisphaeridium huecospinusum* Cramer 1964.
- Quadraditum incisum* Cramer 1964.

The *Anapiculatisporites matagallegus* suite includes:

- Retusotriletes barbutus* n. sp.
- Acanthotriletes* cf. *tenuispinosus* Naumova 1953.
- Acanthotriletes espinosus* n. sp.
- Anapiculatisporites matagallegus* n. sp.

- Anapiculatisporites abrepunius* n. sp.
- Anapiculatisporites picantus* n. sp.
- Anapiculatisporites chistosus* n. sp.
- Anapiculatisporites tojooides* n. sp.

The *Triangulina alargada* suite includes:

- Baltisphaeridium guapum* Cramer 1964.
- Veryhachium cazurruum* Cramer 1964.
- Veryhachium cochinum* Cramer 1964.
- ? *Polyedryxium asperum* Cramer 1964.
- Polyedryxium pharaonis* Deunff 1955.
- Polyedryxium pseudopharaonis* Stockmans and Willièrè 1962.
- Anthractus insolitus* Deunff 1964.
- Cymatiosphaera franjada* Cramer 1964.
- Cymatiosphaera carmencitae* Cramer 1964.
- Cymatiosphaera peligrosa* Cramer 1964.
- Triangulina alargada* Cramer 1964.
- ? *Baltisphaeridium duplex* Cramer 1964.
- ? *Baltisphaeridium tripodernum* n. sp.
- Baltisphaeridium palidodigitatum* n. sp.

The *Dictyotriletes gorgoneus* suite includes:

- Leiotriletes bonitus* n. sp.
- Dictyotriletes gorgoneus* n. sp.

The *Hymenozonotriletes butifarrus* suite includes:

- Hymenozonotriletes butifarrus* n. sp.
- Hymenozonotriletes prosperus* n. sp.
- Hymenozonotriletes aterciopeladus* n. sp.

The *Emphanisporites rotatus* suite includes:

- Emphanisporites rotatus* McGregor 1961.
- Emphanisporites obscurus* McGregor 1961.
- Emphanisporites mcgregorii* n. sp.
- Perotrilites gordianus* n. sp.

*E. obscurus* and *E. rotatus* s. s. occur as of the La Vid Carbonate

Member, however, spores with a very faint lineation on the proximal side, similar to that of *E. obscurus* and *E. rotatus* were recovered from samples as low as the middle part of the Ludlovian sequences.

#### Middle and Upper Devonian.

Few chitinozoans have been recovered from samples younger than Emsian. The few specimens identified are identical with Lower Silurian forms, and most are believed to be redeposited. A forthcoming paper will deal with this aspect. Acritarchs are also few in number and little diversified in form. All specimens identified belong to the simple walled, psilate formgroup included in the genera *Veryhachium* and *Micrhystridium*. This taxon covers a graded series of forms transitional between *V. trispinosum* sensu lato, and *M. stellatum*, *M. micropolygonale*, etc. Since are long ranging taxa and have few characteristic properties, their value for zonation appears to be very limited.

Spores are abundant, but of variable preservation. Thus, where the preservation is moderate to good, the assemblages show great variety of forms. The assemblages recovered from Couvinian to Givetian stages are directly comparable with spore assemblages described from other parts of the world (compare page section Grado, Asturias). The assemblage recovered from the upper part of the Huergas Formation and from the Naranca Formation (Couvinian-Givetian) is called here the *Emphanisporites annulatus* suite.

Spores with prominent anchor-shaped processes are found in one sample only. This was collected from a shale intercalation near the village El Millar, in the Upper Devonian quartzite mapping unit of the provisional geologic map of the southern slope of the Cantabrian Mountains prepared and compiled by de Sitter and collaborators (de Sitter, 1962). The rarity of the *Ancyrospora* spp. might indicate that in the study region the *E. annulatus* suite occurred perhaps prior to the *Ancyrospora* spp.

The *Emphanisporites annulatus* suite includes:

*Emphanisporites annulatus* McGregor 1961.

*Emphanisporites erraticus* (Eisenack 1944).

*Anapiculatisporites carminae* n. sp.

*Anapiculatisporites rosendae* n. sp.

*Camptotriletes araneosus* n. sp.

*Hymenozonotriletes argutus* Naumova 1953 (forms. I and II of Naumova).

*Hymenozonotriletes* cf. *domanicus* Naumova 1953.

*Hymenozonotriletes* cf. *eximius*? Naumova 1953.

*Hymenozonotriletes narancae* n. sp.

Suite 24, *Ancyrospora* spp. contains taxa that probably should be placed in the genus *Ancyrospora*, but their poor preservation makes an identification to a specific level impossible.

No reliable zonation could be established with scolecodonts, due to their lack of diversification through time.

Taxa which have proved to have little use for zonation purposes are:

*Polyedryxium tetrahedrioide* Cramer 1964.

*Veryhachium stelligerum* Deunff 1958.

Most species of *Cymatiosphaera* O. Wetzel 1933, emend. De-flandre 1954.

*Veryhachium trispinosum* s. l.

*Veryhachium europaeum* s. l.

*Mycrhystridium stellatum* s. l.

It might be possible, however, that the relative frequencies of the latter three taxa may give useful indications of the stratigraphic position of the sample (compare Cramer, 1964 a, pages 268 thru 175).

The known geological ranges of the taxa mentioned above are not restricted to the part of the geological column discussed in the present report. Notwithstanding this, they are useful in some respects. If they occur in abundance they indicate with great probability sequences of pre-Couvinian and post-Middle-Wenlockian age. In the other parts of the column, these taxa are rare or absent.

## II. SYSTEMATIC PART

### II.1 SYSTEMATIC DESCRIPTIONS OF ACRITARCHS FIGURED

#### *Incertae sedis*

Group ACRITARCHA Evitt 1963.

Subgroup ACANTHOMORPHITAE Downie, Evitt and Sarjeant 1963.

Genus BALTISPHAERIDIUM Eisenack 1958, emend. Downie and Sarjeant 1963.

*First division*: taxa with unilayered walls; body cavity extends into processes; no diaphragm; no nerves in processes.

#### *Baltisphaeridium carrascum* n. sp.

Plate I: 1.

*Diagnosis*: Circular in outline; numerous processes, tri- to polyfurcated distally.

*Dimension*: Diameter, including processes, 42 to 61  $\mu$ .

*Construction, sculpture*: Central body, hollow, spherical to subspherical; processes, with 3 to 6 (4) distal simple pinnae; length of processes 15 to 25 % of body diameter; central body and process walls, unilayered, psilate, un to 1  $\mu$  thick, not differentiated; body cavity extends into processes and basal part of pinnae; no diaphragm between processes and body cavity; no pylome.

*Occurrence*: La Vid Formation, rare.

*Reference specimen*: F: 0825-A-3; 125.2  $\times$  36.4.

**Baltisphaeridium variopinum** n. sp.

Plate I: 4; figure 3: 3.

*Diagnosis*: Circular in outline; processes, stout, simple or furcated; walls, faintly microrugulate.

*Dimensions*: Central body diameter, 12 to 22  $\mu$ ; diameter including processes, 38 to 47  $\mu$ .

*Construction, sculpture*: Central body, hollow, spherical; processes, 15 to 25, hollow, stout, distally closed, simple or monofurcated, taper distally, walls, unilayered, up to 0.5  $\mu$  thick, microrugulate (sculptural elements 0.5  $\mu$  long, form a faint pattern parallel to axis of processes); not differentiated; body cavity, extends into processes; no diaphragm; no pylome.

*Occurrence*: San Pedro, Furada Formations, in León and Asturias.

*Reference specimen*: F: 2714-A-2; 111.9  $\times$  41.6.

**Baltisphaeridium variopinum lisum** n. var.

Plate I: 2; figure 3: 4.

*Diagnosis*: As for *B. variopinum*, except for psilate sculpture.

*Dimensions*: As for *B. variopinum*.

*Remarks*: The present species is distinguished from *B. variopinum* by its psilate walls, and by its predominantly simple processes. *B. variopinum* and *B. variopinum lisum* are extremes of a graded series.

*Occurrence*: San Pedro, Furada Formations in León, Asturias and Palencia; rare.

*Reference specimen*: F: 2714-A-1; 111.4  $\times$  42.4.

**Baltisphaeridium estrellaferum** n. sp.

Plate I: 5; figure 3: 6.

*Diagnosis*: Circular in outline; numerous short processes with two pairs of simple distal pinnae.

*Dimensions*: Central body diameter, 35 to 43  $\mu$  processes, up to 5  $\mu$ ; pinnae up to 4  $\mu$ .

*Construction, sculpture*: Central body, hollow, spherical; processes, hollow, with broad base, tapering, with two pairs of distal pinnae, 25 to 35 (30) in optical section; pinnae, solid, simple, tapering distally closed; pinnae and processes of approximately equal length; body cavity, extends into basal part of processes; walls, unilayered, not uniformly sculptured; body wall, microverrucate (elements up to 0.5  $\mu$ ); processes and pinnae, psilate.

*Occurrence*: San Pedro Formation, Villamanín, Millaró; rare.

*Reference specimen*: F: 2702-A-4; 114.0  $\times$  35.2.

**Baltisphaeridium microcladum** Downie 1963

Figure 3: 8.

*Dimensions*: Diameter, including processes, up to 15  $\mu$ .

*Occurrence*: San Pedro and Furada Formations, rare in lower parts of sequence.

*Remarks*: The specimens described by Downie, 1963, from the Wenlock Shales appear to have somewhat simpler pinnae. However, numerous specimens were found with processes intermediate between the specimen figured here and those figured by Downie.

**Baltisphaeridium denticulatum**? Stockmans and Willièrè 1963

Plate I: 3; figure 4: 1.

*Dimensions*: Diameter, including processes, 100 to 150  $\mu$ .

*Remarks*: The specimen figured here is similar to those described by Downie, 1963, Pl. 91: 1, 2) from the Wenlock Shales. It differs from *B. denticulatum rigidum*, which is common to abundant in the Wenlockian-Ludlovian of the Cantabrian Mountains, by their consistently more slender processes, fewer echinae on the processes, and the almost complete absence of manate pinnae. The taxon figured here, is rare in the Silurian, but more common in the Emsian stage of the study region.



**Baltisphaeridium ramusculosum** (Deflandre 1942)

Figure 3: 2.

*Dimensions*: Diameter, including processes, 22 to 95  $\mu$ .*Construction, shape*: Central body, hollow, spherical to subspherical or slightly polygonal; processes, broad based, tapering, 4 to 18 (6 to 10), in number; pinnae, simple, solid, distally placed, 2 to 5 in number; body cavity, extends into processes, no diaphragm present between body and process cavities; walls, unilayered, psilate, transparent, up to 1  $\mu$  thick, often thinner; no pylome.*Occurrence*: Ludlovian to Emsian.**Baltisphaeridium peltatum** n. sp.

Plate I: 6.

*Diagnosis*: Subcircular in outline; numerous short (clavate to) peltate processes with tiny distal pinnae.*Dimensions*: Diameter including processes, 48 to 62  $\mu$ .*Construction, sculpture*: Central body, spherical to subspherical; processes, 20 to 30 in optican section, short, broad based, peltate, distally closed; on peltate expansions of processes numerous tiny echinae present; body cavity, extends into basal part of processes; wall, unilayered, psilate, transparent, up to 1  $\mu$  thick; no pylome; no diaphragm.*Occurrence*: San Pedro, Furada Formations; rare.*Reference specimen*: F: 2703-A-4; 112.0  $\times$  28.2.**Baltisphaeridium traumaticum** Cramer 1964

Plate I: 7.

*Dimensions*: Diameter, including processes, 40 to 83  $\mu$ .*Occurrence*: San Pedro, Furada Formations; rare. The species is common in the upper part of the San Pedro Formation at locality La Vid de Gordón.Genus **BALTISPHAERIDIUM** Eisenack 1958 emend. Downie & Sarjeant 1963.*Second division*: Taxa with multilayered walls; body cavity extends into processes through diaphragm, or is separated from process cavity by endodermic membrane; no central nerves in processes.**Baltisphaeridium palidodigitatum** n. sp.

Plate I: 8; figure 3: 5.

*Diagnosis*: Central body triangular to polygonal in outline; processes situated at angles of central body, thin, transparent, with four distal simple pinnae.*Dimensions*: Central body diameter, 10 to 20  $\mu$ ; length of processes, up to 20  $\mu$ .*Construction, sculpture*: Central body, hollow, tetrahedric to polygonal; processes, 4 to 7 (4 to 5), typically situated at angles of central body, hollow, tubular, with 4 (very rarely 5) distal pinnae; pinnae, simple, closed distally, end in sharp tip; walls, bilayered; endoderm, encloses central body cavity, psilate, up to 1  $\mu$  thick, less transparent and more rigid than ectoderm, forms diaphragm at point of connection of processes and central body; ectoderum, tightly surrounds endoderm except at diaphragm where it forms process and pinnae walls, up to 0.5  $\mu$  thick, transparent, psilate; lumen, up to 2  $\mu$ ; no pylome.*Occurrence*: La Vid Shales; more common in upper part.*Reference specimen*: F: 0820-A-4; 124.4  $\times$  41.3.**Baltisphaeridium pilaris** Cramer 1964

Plate I: 16, 17, 18.

*Dimensions*: Diameter, including processes, up to 75  $\mu$ .*Remarks*: *B. pilaris* may show a diaphragm or an endodermic membrane; its processes bear distal lobate to manate pinnae.

**Baltisphaeridium dilatispinosum** Downie 1963

Plate I: 10; figure 3: 9.

*Dimensions*: Diameter, including processes, up to 75  $\mu$ .

*Remarks*: The central body wall is bilayered: the endoderm encloses the central body cavity, the ectoderm surrounds the endoderm tightly and forms processes. The endoderm appears to have no lumen, and the body cavity is not directly connected with the process cavities; the distal, aculeate pinnae are solid.

Genus BALTISPHAERIDIUM Eisenack 1958 emend. Downie & Sarjeant 1963.

*Third division*: Taxa with multilayered walls; body cavity is separated from process cavities by a endodermic membrane processes with central nerve, distally closed.

**Baltisphaeridium triplodermum** n. sp.

Plate I: 120; figure 4: 5.

*Diagnosis*: Central body, tetrahedric; four processes with central nerve; endoderm, microverrucate.

*Dimensions*: Central body diameter, approximately 30  $\mu$ ; diameter, including processes, up to 125  $\mu$ .

*Construction, sculpture*: Central body, hollow, inflated tetrahedric; processes, four in number situated at angles of central body, hollow, blunt, distally closed, with central nerve; walls, trilayered: endoderm, mesoderm, and ectoderm; endoderm, encloses central body cavity, 1  $\mu$  thick, less transparent than ectoderm, shows microverrucate sculpture accentuated by color differences (sculptural elements, up to 1  $\mu$  in diameter); mesoderm, observed near angles of body only (however, the mesoderm might surround entire endoderm); mesoderm, forms central nerves of processes; nerves, as long as, but not visible connected with, processes; nerves, taper distally, fibrous in composition; ectoderm, surrounds endoderm and mesoderm and forms process walls, more

transparent than other wall layers, approximately 0.5  $\mu$  thick, psilate; no diaphragm; no pylome.

*Occurrence*: La Vid Shales, particularly in upper part (Emsian) in N. León and S. Asturias.

*Reference specimen*: F: 0820-A-4; 110.6  $\times$  37.5.

*Remarks*: Related with *B. triplodermum* are:

*B. duplex* Cramer 1964: endoderm, psilate; 6 to 10 (8) processes.

*B. carminae* Cramer 1964: endoderm, psilate; crests, formed by ectoderm, between processes; 6 to 10 (6 to 8).

*B. valentinum* Cramer 1964: endoderm, psilate; 3 processes. Contrary to the original descriptions.

*B. duplex*, *B. carminae*, *B. valentinum*, have three-layered walls; the process nerve is formed by the mesoderm.

**Baltisphaeridium** sp. I

Figure 3: 7.

*Diagnosis*: Central body, circular, dark; processes, long, thin.

*Dimensions*: Central body diameter, 20  $\mu$ ; length of processes, up to 45  $\mu$ .

*Construction, sculpture*: Central body, hollow, spherical to subspherical; processes, 12 to 20 (15), slender, not bifurcated, taper distally; process wall, up to 0.5  $\mu$  thick, psilate, transparent, lower half of processes hollow; body wall, up to 1.5  $\mu$  (1  $\mu$ ) thick, less transparent than processes wall, psilate; body cavity extends into processes; no diaphragm; no pylome.

*Occurrence*: La Vid and Nieva Formations, rare in upper parts.

*Reference specimen*: F: 0820-A-4; 119.7  $\times$  40.5.

Genus VERYHACHIUM Deunff (1958), 1958, emend. Downie & Sarjeant 1963.

**Veryhachium scabratum** Cramer 1964

Plate I: 11.

*Dimensions*: Diameter, including processes, up to 80  $\mu$  (55  $\mu$ ).

*Occurrence*: *V. scabratum* is restricted to the *Veryhachium carminae*-suite which covers the Ludlovian-Lower Gedinnian stages in the study region, the taxon is more common in the Asturian part of the area.

Subgroup PTEROMORPHITAE Downie, Evitt & Sarjeant 1963.  
Genus PTEROSPERMOPSIS W. Wetzel 1952.

*Pterospermopsis martinii* n. sp.

Plate I: 9; figure 4: 4.

*Diagnosis*: Circular in outline; central body and equatorial membrane equally thin and transparent, wrinkled.

*Dimensions*: Central body diameter, 25 to 30  $\mu$ , total equatorial diameter, 40 to 48  $\mu$ .

*Construction, sculpture*: Central body, hollow, spherical; equatorial lamella concentric to central body, with circular and smooth boundary; walls, unilayered, not differentiated, psilate, up to 0.5  $\mu$  thick, very transparent.

*Occurrence*: San Pedro Formation near Villamanín, Millaró, La Peral: common.

*Reference specimen*: F: 2714-A-1; 111.2  $\times$  31.5.

*Comparison*:

*P. onondagaensis* Deunff 1955: thick walled, dark central body.

*P. bernardiane* Cramer 1964: thick walled and dark central body; has set of radial wrinkles or ridges.

*P. hermosita* Cramer 1964: micro-verrucate body wall (elements up to 1  $\mu$  wide).

Subgroup HERKOMORPHITAE Downie, Evitt & Sarjeant, 1963.  
Genus CYMATIOSPHAERA O. Wetzel 1933, emend. Deflandre 1954.

*Cymatiosphaera pauciplanum* s. sp.

Plate II: 25.

*Diagnosis*: Campi, few in number, 4 to 8; muri, high, thin and transparent.

*Dimensions*: Diameter, up to 35  $\mu$  (20  $\mu$ ).

*Construction, sculpture*: Central body, hollow, spherical, divided into campi; campi, few in number, 4 to 8 (4 to 5), polygonal, clearly distinguished; muri, relatively high, up to 2 body radii high, thin and transparent, with smooth crests, top and base of muri of equal width, no radial or other nerves on muri; walls unilayered, psilate; body wall,

less transparent than muri, up to 1  $\mu$  thick; muri, up to 0.5  $\mu$  thick, generally thinner; no openings.

*Occurrence*: La Vid, Nieva Formations, rare.

*Reference specimen*: F: 0825-A-1; 128.4  $\times$  34.7.

*Comparison*:

*C. wenlockia* Downie 1959: numerous campi; muri, generally shorter; however, *C. pauciplanum* could represent an extreme form of a graded series including both species.

*C. carminae* Cramer 1964: central body, rugulate to verrucate; muri, striate.

*C. peligrosa* Cramer 1964: numerous campi; muri, crenulate; a spine present at junctions of muri.

Subgroup UNCERTAIN.

Genus PTEROTOSPHAERULA n. g.

*Type species of genus*: *P. astrala* n. sp.

Central body hollow, spherical to ellipsoidal; to crenulate boundary, with smooth equatorial lamella, narrow, more transparent than central body; sculpture of ridges arranged in a stelli form pattern and with blunt protrusions on body; walls unilayered; lamella, psilate; no openings.

*Comparison*: *Pterospermopsis* W. Wetzel 1952, lamella, wide; central body wall, with psilate, microverrucate, or scabrate sculpture.

*Pterotosphaerula* might eventually be placed in the same subgroup as *Pterospermopsis* when more species are described.

*Pterotosphaerula astrala* n. sp.

Plate II: 20.

*Diagnosis*: Circular in outline; sculpture, "stellate"; lamella, psilate, narrow.

*Dimensions*: Body diameter, 30 to 40  $\mu$ ; total diameter 40 to 50  $\mu$ .

*Construction, sculpture*: Central body, hollow, spherical to ellipsoidal; equatorial lamella, concentric with central body, narrow, with smooth outline, thin and transparent; walls, unilayered; body wall thicker and less transparent than lamella; central body sculpture formed by ridges arranged in a roughly stellar pattern which radiates from stout protre-

sions; protusions numerous, regularly distributed, broad based, blunt, approximately  $4\ \mu$  wide at base, and  $4\ \mu$  high; surface of wall and lamella, psilate.

*Occurrence*: San Pedro and Furada Formations in North León and South Asturias, rare.

*Reference specimen*: F: 2703-A-4;  $125.5 \times 37.1$ .

*Pterotosphaerula aliculata* n. sp.

Plate II: 21.

*Diagnosis*: Outline ellipsoidal; lamella, narrow, with crenulate boundary; body sculpture, microfoveolate.

*Dimensions*: Longest body diameter, 35 to  $48\ \mu$ , if circular, diameter, approximately  $45\ \mu$ ; lamella, up to  $5\ \mu$  ( $4\ \mu$ ) wide.

*Construction, sculpture*: Central body, hollow, ellipsoidal, compressed; equatorial lamella, narrow, with smooth to crenulate boundary; wall, unilayered; central body wall, less transparent than lamella; body sculpture, micromammilate to microfoveolate (elements up to  $1\ \mu$  wide); lamella smooth, psilate; no openings.

*Occurrence*: San Pedro Formation near Villamanín, rare.

*Reference specimen*: F: 2702-A-1;  $111.5 \times 40.6$ .

*Perisaccus drepaniptychius* n. sp.

Plate II: 24.

*Diagnosis*: Ectoderm with sickleform wrinkles.

*Dimensions*: Diameter of ectoderm, 20 to  $45\ \mu$  ( $35\ \mu$ ); diameter of endoderm, 12 to  $32\ \mu$  ( $25\ \mu$ ).

*Construction, sculpture*: Endoderm, spherical to equatorially compressed, hollow,  $0.5$  to  $1\ \mu$  thick; ectoderm, spherical, to polarly compressed, wrinkled, up to  $0.5\ \mu$  thick, clearly distinguished from endoderm; ectoderm and endoderm, apparently detached; wrinkles sharply defined, sickle-form; no openings; sculpture of both endo- and ectoderm, psilate.

*Occurrence*: San Pedro Formations in NE. León, and S. Asturias; rare.

*Reference specimen*: F: 2709-C-4;  $127.0 \times 41.9$ .

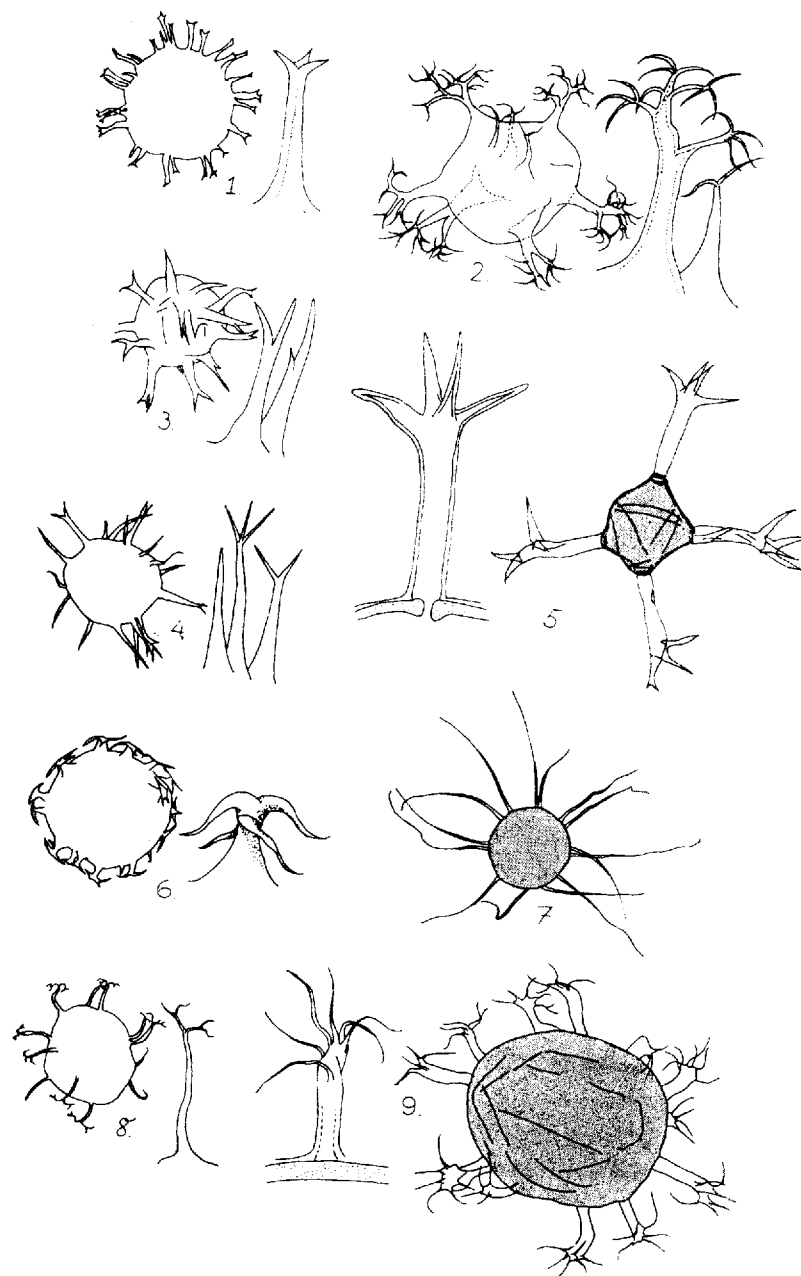


Figure 3.—1, *Baltisphaeridium* sp.; 2, *B. ramusculosum* (Deflandre); 3, *B. variopinum* n. sp.; 4, *B. variopinum lisum* n. sp., n. var.; 5, *B. palidodigitatum* n. sp.; 6, *B. estrellaferum* n. sp.; 7, *Baltisphaeridium* sp.; 8, *B. microcladum* Downie; 9, *B. dilatispinosum* Downie.

## Genus GERON.

*Geron* n. g. is a monospecific genus at this date; its generic diagnosis is necessarily identical with the description of the type species of the genus, *G. guerillerus* n. sp.

*G. guerillerus* n. sp.

Plate II: 22, 23.

**Diagnosis:** Circular central body with double wall; ectoderm bears numerous filiform processes; the outline of the species is similar to the "Portuguese man-of-war", a jellyfish.

**Dimensions:** Diameter of body, 2  $\mu$ ; maximum length, including processes up to 75  $\mu$ .

**Construction, sculpture:** Central body, hollow, spherical; processes, numerous, filiform, not uniformly distributed but apparently concentrated at one pole, up to 50  $\mu$  long; wall, bilayered; endoderm, encloses body cavity, slightly less transparent than ectoderm, psilate, approximately 1  $\mu$  thick, however, precise thickness not determinable; ectoderm, transparent, psilate, up to 0.5  $\mu$  thick, often wrinkled and torn, often gets loose and separated from remainder of specimen; ectoderm wider than endoderm, apparently not attached to it; the filiform processes are formed by ectoderm only; no pylome or opening.

**Occurrence:** San Pedro Formation: rare.

**Reference specimen:** F: 2714-A-2; 113.2  $\times$  33.6.

**Comparison:** Filose forms of *Baltisphaeridium* and *Micrhystridium*, unilayered walls; *Aremoricanium* Deunff 1955, ectoderm possesses cylindrical or cylindrico-conical expansion, corresponding to orifice in endoderm.

## Genus QUADRADITUM Cramer 1964.

*Quadraditum fantasticum* Cramer 1964

Plate II: 27.

**Dimensions:** Diameter of (transparent) ectoderm, 22 to 45  $\mu$ ; diameter of endoderm (10 to 15  $\mu$ ) to 40  $\mu$ .

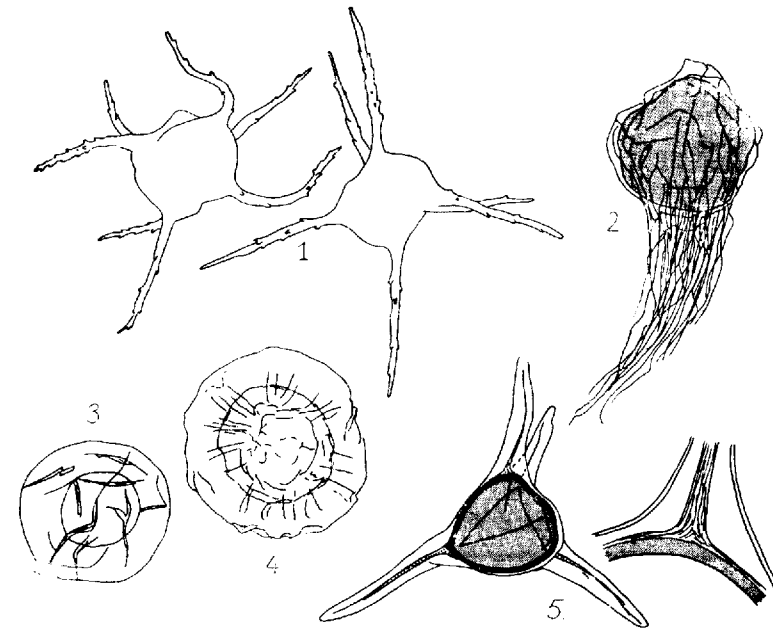


Figure 4.—1, *Baltisphaeridium* ? *denticulatum* Stockmans & Willière; 2, *Geron guerillerus* n. sp.; 3, *Perisaccus drepanoptychius* n. sp.; 4, *Pterospermopsis martinii* n. sp.; 5, *Baltisphaeridium triplodermum* n. sp.

**Remarks:** *Phoenisphaeridium* Deunff 1965 (prétirage of the C. I. M. P.) appears to be identical with *Quadraditum*. (Compare Cramer, 1964 a, 1965 a, and Deunff, 1965 a).

## Genus ELLIPSIALETES Cramer 1965.

*Ellipsialetes laevigatus* Cramer 1965 b

Plate: 28, 29.

**Comparison:** *Quisquilites buckhornensis* Wilson & Urban 1963 — outline, bean-shaped; wall three-layered; cylindrical perforations; 85 to 145  $\mu$  long, wall 2 to 4  $\mu$  thick.

## II-2. SYSTEMATIC DESCRIPTIONS OF SPORES FIGURED

Turma TRILETES (Reinsch) Potonié and Kremp 1959.  
 Subturma AZONOTRILETES Lubert 1935.  
 Infraturma LAEVIGATI (Bennie and Kidston) (R. Potonié 1956).  
 Genus LEIOTRILETES (Naumova) Potonié and Kremp 1954.

*Leiotriletes bonitus* n. sp.

Plate II: 32.

*Diagnosis*: Equatorial outline, triangular; laesurae, straight,  $3/4$  of radius, often gaping; psilate; characteristic pattern of dark regions present along periphery and laesurae.

*Dimensions*: Maximum diameter, approximately  $50 \mu$ .

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, triangular; periphery, smooth, laesurae, straight,  $3/4$  of radius, often gaping; sculpture, psilate; wide dark zonation at both sides of laesurae and at equator present, gives more transparent part at proximal side a triquete outline; dark zonation on distal side, near periphery only; exine, more transparent parts, up to  $1 \mu$  thick, less transparent parts slightly thicker.

*Reference specimen*: F. 0105 (150)-1,  $119.9 \times 32.4$  (127926).

*Occurrence*: La Vid Shales, rare in topmost layers.

Genus RETUSOTRILETES Naumova, emend. Streel 1964, Richardson 1965.

*Retusotriletes barbatus* n. sp.

Plate II: 38.

*Diagnosis*: Subcircular to circular; finely scabrate; laesurae, extend nearly to margin.

*Dimensions*: Maximum diameter, approximately  $25 \mu$ .

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, subcircular to circular; periphery, finely scabrate; laesurae, straight, simple; extend nearly to margin, *curvaturae perfectae*, indistinct, on proximal side near or at equator; distal and proximal sculpture, very finely scabrate; contact

areas, circular, darker than rest of exine,  $5 \mu$  in diameter, approximately  $1/2$  of radius long; exine up to  $1 \mu$  thick.

*Reference specimen*: F: 0105 (150)-1;  $117.5 \times 28.4$ .

*Occurrence*: La Vid Shales; rare.

*Retusotriletes sanpetri* n. sp.

Plate II: 33.

*Diagnosis*: Circular, laesurae, extend to margin; labra, conspicuous, large spore.

*Dimensions*: Diameter,  $51$  to  $88 \mu$  (approximately  $65 \mu$ ).

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, circular, laesurae, extend to margin, straight, bordered by conspicuous narrow, darkened lips; *curvaturae perfectae* dark, conspicuous; sculpture, psilate; exine approximately  $1 \mu$  thick; rarely folded.

*Reference specimen*: F: 2702-A-1;  $113. \times 27.8$ .

*Occurrence*: San Pedro, Furada Formations: rare; however common in upper parts in most Asturian sections.

*Retusotriletes splendidus* n. sp.

Plate II: 35.

*Diagnosis*: Circular outline; laesurae, short; psilate.

*Dimensions*: Diameter,  $39$  to  $46 \mu$ .

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, circular, laesurae, simple, straight,  $0.1$  to  $0.25$  of radius; *curvaturae perfectae*, on proximal side on or at equator; contact areas, absent to indistinct, small; sculpture, psilate; exine, approximately  $1 \mu$  thick.

*Reference specimen*: F: 2701-A-1;  $108.7 \times 36.0$ .

*Occurrence*: San Pedro Formation, rare.

*Remarks*: Often a faint lineation connects the laesurae with the *curvaturae*.

## Genus AMBITISPORITES Hoffmeister 1959.

*Ambitisporites avitus* Hoffmeister 1959

Plate II: 34.

*Dimensions*:  $32$  to  $59 \mu$ .

*Occurrence*: San Pedro, Furada Formations.

*Amicosporites* n. g.

*Diagnosis*: Equatorial outline, rounded triangular; laesurae, straight, with narrow simple lips, extends to margin; exine, psilate, up to 1  $\mu$  thick, but usually less; at distal side a circular ridge is present.

*Amicosporites splendidus* n. sp.

Plate II: 31, 40\*, 41.

*Diagnosis, dimensions*: Equatorial diameter, 22 to 39  $\mu$ ; distal ridge, 0.5 to 2  $\mu$  thick, 1 to 4  $\mu$  wide, 20 to 33  $\mu$  in diameter.

*Occurrence*: San Pedro, Furada Formations in SW. León and N. Oviedo, rare.

*Reference specimen*: F: 2702-A-1; 123.8  $\times$  27.9.

Infraturma APICULATI (Bennie and Kidston) R. Potonié 1956.  
Genus ACANTHOTRILETES (Naumova) Potonié and Kremp 1954.

*Acanthotriletes* cf. *tenuispinosus* Naumova 1953

Plate II: 44; III: 68.

*Diagnosis*: Subcircular, densely and finely echinate to filose; laesurae, obscure.

*Dimensions*: Maximum diameter, 18 to 27  $\mu$  (20  $\mu$ ).

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, subcircular; periphery, densely ornamented; laesurae, obscure; sculpture, densely and finely echinate to filose; sculptural elements, slender, with sharp tips, 1 to 2  $\mu$  (1  $\mu$ ) high, up to 1/4  $\mu$  wide at base; exine, up to 1  $\mu$  thick.

*Occurrence*: La Vid Shales, rare.

*Previous records*:

*A. tenuispinosus* Naumova, 1953.

*A. tenuispinosus* Kedo, 1957.

*A. tenuispinosus* Chibrikova, 1959.

*Acanthotriletes espinosus* n. sp.

Plate II: 49.

*Diagnosis*: Rounded triangular; densely echinate; laesurae, indistinct.

*Dimensions*: Maximum diameter, including sculptural elements, 18 to 26  $\mu$ .  
*Construction, sculpture*: Equatorial outline, rounded triangular to sub-circular; laesurae, indistinct; sculpture, densely echinate; sculptural elements, usually curved, slender with sharp tips, up to 1/2  $\mu$  wide at base, up to 2 1/2 long.

*Reference specimen*: F: 0099 (150)-2, 126.1  $\times$  37.3.

*Occurrence*: La Vid Shales, fairly common.

*Anapiculatisporites* cf. ? *Lophotriletes subverrucosus* Jush. 1953

Plate II: 42, 43.

*Diagnosis*: Subcircular; periphery, sparsely baculate; laesurae, 3/4 of radius; proximally psilate, distally sparsely baculate.

*Dimensions*: Maximum diameter, 28 to 47  $\mu$  (30  $\mu$ ).

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, subcircular; periphery, sparsely baculate; laesurae, straight, simple, 3/4 of radius, sculpture, proximally psilate, distally sparsely baculate, limit of both sculpture types on proximal side near equator; sculptural elements, predominantly baccula; baccula, approximately equidimensional, 2  $\mu$  wide at base, also a few slightly clavate elements present; exine, thin, 1  $\mu$  or less thick.

*Occurrence*: La Vid Shales, rare in topmost layers.

*Previous records*: The species as superficial resemblance to *L. subverrucosus* Jush. as described and illustrated by Kedo, 1959, p. 50, but a definite identification was not possible, since the illustration and the accompanying description are inadequate.

## Genus ANAPICULATISPORITES Potonié and Kremp, 1954.

*Anapiculatisporites matagallegus* n. sp.

Plate II: 46\*; III: 50.

*Diagnosis*: Subcircular; laesurae, straight, extend to margin; proximally psilate, distally densely echinate.

*Dimensions*: Maximum radial diameter, 33 to 47  $\mu$  (36  $\mu$ ).

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, subcircular; periphery, echinate; laesurae, simple, straight, extend to margin; sculpture, proximally

psilate,, distally densely echinate; limit of both sculpture types coincides with equator; sculptural elements,  $2\ \mu$  long sharp tipped,  $1\ \mu$  at base, often curved; exine, up to  $1\ \mu$  thick.

*Reference specimen*: F: 0099 (150)-1;  $120.0 \times 43.0$ .

*Occurrence*: La Vid Shales, common.

*Anapiculatisporites abrepunius* n. sp.

Plate II: 47.

*Diagnosis*: Circular to subcircular; laesurae, straight,  $3/4$  or more of radius; proximally psilate, distally sparsely echinate.

*Dimensions*: Maximum diameter,  $40\ \mu$ .

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, circular to subcircular; laesurae, simple, straight,  $3/4$  of radius or more; sculpture proximally psilate, distally sparsely echinate; limit of both sculpture types at equator; sculptural elements, equidimensional cones,  $1\ \mu$  high, with sharp tips; exine,  $1\ \mu$  or less thick.

*Reference specimen*: F: 0025 (102)-1,  $116.1 \times 21.4$ , from uppermost shale layer of La Vid Shales at Santa Lucía (de Gordón).

*Occurrence*: La Vid Shales, rare.

*Anapiculatisporites picantus* n. sp.

Plate II: 36.

*Diagnosis*: Subcircular; periphery, densely echinate; laesurae, straight, extend to margin; proximally psilate, distally echinate.

*Dimensions*: Maximum diameter,  $18$  to  $24\ \mu$  ( $22\ \mu$ ).

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, subspherical; densely echinate; laesurae, straight, simple, not gaping, extend to margin; sculpture, proximally psilate, distally densely echinate; limit of both sculpture types, near equator; sculptural elements, slender, with broad bases, end in sharp tips, approximately  $1\ \mu$  high,  $1/2\ \mu$  wide at base; exine, up to  $1\ \mu$  thick.

*Reference specimen*: F: 0099 (150)-1,  $109.7 \times 26.40$ .

*Occurrence*: La Vid Shales, rare to common.

*Anapiculatisporites chistosus* n. sp.

Plate II: 45.

*Diagnosis*: Subcircular to rounded triangular; periphery, densely echinate;

laesurae, extend to margin; distally densely echinate, proximally psilate.

*Dimensions*: Maximum diameter,  $38$  to  $56\ \mu$  ( $40$  to  $50\ \mu$ ).

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, subcircular to rounded triangular; periphery, densely echinate; laesurae, simple straight, extend to margin; sculpture, distally densely echinate, proximally psilate; limit of both sculpture types, on proximal side near equator; sculptural elements, slender, with sharp tips, generally curved,  $1/2\ \mu$  at base,  $2$  to  $3\ \mu$  ( $2\ \mu$ ) high, lower elements more common near periphery; exine, up to  $1\ \mu$  thick.

*Reference specimen*: F: 0101 (150)-1,  $109.9 \times 45.1$ .

*Occurrence*: La Vid Shales, rare.

*Anapiculatisporites tojooides* n. sp.

Plate II: 48.

*Diagnosis*: Subtriangular to circular; periphery, sparsely echinate; laesurae,  $3/4$  of radius or larger; proximally psilate, distally sparsely echinate to pustulate.

*Dimensions*: Maximum diameter,  $24$  to  $32\ \mu$  ( $26\ \mu$ ).

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, subtriangular to circular, periphery sparsely echinate; laesurae, simple, straight, often gaping,  $3/4$  of radius or larger; contact areas, indistinct, slightly less transparent than rest of exine.

*Reference specimen*: F: 0101 (150)-1,  $110.4 \times 47.2$ .

*Occurrence*: La Vid Shales.

*Anapiculatisporites carminae* n. sp.

Plate III: 51, 52.

*Diagnosis*: Circular; periphery, sparsely echinate; laesurae, often obscure, extend almost to margin; proximally psilate, distally echinate.

*Dimensions*: Diameter,  $56$  to  $68\ \mu$ .

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, circular to subcircular periphery, sparsely echinate; laesurae, simple, straight, extend to margin often obscure; sculpture, distally sparsely echinate, proximally psilate; sculptural elements, up to  $3\ \mu$  high ( $1\ \mu$  at equator to  $2$  to  $3\ \mu$  at center),



approximately as wide as high, with sharp tips, stout; exine, rigid, rarely folded, approximately  $1\ \mu$  thick.

*Reference specimen*: F: 2009-B-4;  $116.3 \times 37.8$ .

*Occurrence*: Naranca, Huergas Formations; rare to common.

**Anapiculatisporites rosendae** n. sp.

Plate III: 53.

*Diagnosis*: Circular to triapsidate; densely echinate; sculpture conspicuous; laesurae, extend to margin.

*Dimensions*: Diameter, 51 to 70  $\mu$ .

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, circular to triapsidate; periphery, densely echinate; laesurae, simple, straight, extend to margin, often inconspicuous; sculpture, proximally psilate, distally densely echinate (elements up to 3  $\mu$  high); echinae, with sharp tips, not uniform: some are pyramids, others have cylindrical basal lower half and end in a sharp pointed tips; in most specimens the larger elements are concentrated at the distal pole; exine thickness, not observed.

*Reference specimen*: F: 2009-C-2;  $116.7 \times 26.9$ .

*Occurrence*: Naranca Formation, rare.

Genus EMPHANISPORITES McGregor, 1961.

**Emphanisporites rotatus** McGregor 1961

Plate III: 57, 58, 62.

*Dimensions*: Maximum diameter 26 to 48  $\mu$  (34  $\mu$ ).

*Occurrence*: La Vid Shales frequent; Naranca Formation, frequent.

*Previous records*: Battery Point, York River, Sextant, and Onondaga Formations, Campbellton, Becaquimec River, and 17-Mile Book "beds", Lower (part) through Middle Devonian, Canada.

**Emphanisporites mcgregorii** n. sp.

**Emphanisporites** sp., in McGregor 1961, Pl. 1, no. 12

Plate III: 59.

*Dimensions*: Maximum diameter, 22 to 35  $\mu$  (32  $\mu$ ).

*Diagnosis*: (after McGregor, 1961) "Trilete spore with proximal ridges aligned approximately parallel to one another, extending from the equator to the margin of the commissure forming a "herringbone" pattern. Laesurae distinct, as long as the radius of the spore. Maximum diameter of the two observed specimens, 51 and 55  $\mu$ ".

*Occurrence*: La Vid Shales, rare; Naranca Formation, common to rare.

*Previous records*: Battery Point Formation, Lower Devonian, Canada, McGregor, 1961.

**Emphanisporites obscurus** McGregor 1961

Plate III: 56.

*Dimensions*: Maximum diameter, 35 to 64  $\mu$  (40  $\mu$ ).

*Occurrence*: La Vid Shales, rare.

*Previous records*: Onondaga Formation, Middle Devonian, Canada, McGregor, 1961.

**Emphanisporites erraticus** (Eisenack) 1944

Plate III: 60, 61.

*Dimensions*: Diameter, 30 to 55  $\mu$  (35  $\mu$ ).

*Occurrence*: Naranca, Huergas Formations.

*Previous records*: Battery Point, Sextant Formations, Becaguimac River Beds, SE. Canada.

**Emphanisporites annulatus** McGregor 1961

Plate III: 63.

*Dimensions*: Diameter, 20 to 42  $\mu$  (24  $\mu$ ).

*Occurrence*: Naranca, Huergas Formations.

*Previous records*: Sextant Formation, SE. Canada.

## Genus CYCLOGRANISPORITES Potonié &amp; Kremp 1954.

*Cyclogranisporites rosendae* n. sp.

Plate III: 55.

*Diagnosis*: Outline, circular; laesurae, extend to margin; sculpture, granulate; often wrinkled.*Dimensions*: Diameter, 15 to 25  $\mu$  (18  $\mu$ ).*Construction, sculpture*: Equatorial outline, circular to subcircular; laesurae, simple, straight, extend to margin; sculpture, granulate; sculptural elements, tiny pointed to blunt cones, approximately as wide as high, up to 0.5  $\mu$  high, generally much smaller; exine, thin, generally wrinkled.*Occurrence*: Naranca Formation, rare.*Reference specimen*: F: 2009-B-4; 113.4  $\times$  33.7.*Cyclogranisporites zumbonus* n. sp.

Plate III: 67.

*Diagnosis*: Circular; often folded; regular sculpture of grana; laesurae, obscure.*Dimensions*: Diameter, 50 to 64  $\mu$  (55  $\mu$ ).*Construction, sculpture*: Equatorial outline, circular, often obscured by folds; laesurae, inconspicuous, simple, straight, exact length not determinable; sculpture, granulate (elements up to 0.5  $\mu$ ) to (micro) echinate, uniformly distributed over exine; exine thickness, not determinable, often folded.*Reference specimen*: F: 0825-A-1; 126.7  $\times$  39.7.*Occurrence*: La Vid Formation, rare.*Cyclogranisporites finus* n. sp.

Plate III: 54.

*Dimensions*: Diameter, 20 to 38  $\mu$  (30  $\mu$ ).*Diagnosis*: Circular; densely and finely granulate; laesurae, simple, straight to slightly sinuous, extend to margin; sculpture, densely and finelygranulate (elements, less than 0.5  $\mu$  wide and high); exine, thin, often wrinkled.*Reference specimen*: F: 0819-A-2-3; 116.9  $\times$  23.3.*Occurrence*: La Vid Shales, rare.

## Genus CAMPTOTRILETES (Naumova) Potonié &amp; Kremp 1954

*Camptotriletes araneosus* n. sp.

Plate III: 65, 66.

*Diagnosis*: Circular to triapsidate; distally covered with camptose sculpture, often echinate at equator, proximally psilate.*Dimensions*; Maximum diameter, 25 to 48  $\mu$  (30  $\mu$ ).*Construction, sculpture*: Equatorial outline, circular to triapsidate; periphery, sparsely echinate; laesurae, straight, often bordered by narrow lips, extend to margin; sculpture, not uniform: proximally psilate, distal side with irregular and incomplete reticulum of ridges; at equator, often echinae present, these echinae conform the pattern of distal ridges; ridges of uniform width, approximately 1  $\mu$  wide, up to 2  $\mu$  high; echinae 1 to 3  $\mu$  wide at base, up to 4  $\mu$  (2  $\mu$ ) high, end in sharp tips; exine, up to 1  $\mu$  thick; ridges, folds rare.*Occurrence*: Naranca, Huergas Formation; rare to common.*Reference specimen*: F: 2009-C-1; 122.6  $\times$  32.6.

## Genus DICTYOTRILETES (Naumova) Potonié and Kremp 1954.

*Dictyotriletes gorgoneus* n. sp.

Plate III: 69\*, 72.

*Diagnosis*: Subcircular to elliptical; irregularly reticulate; laesurae, obscure.*Dimensions*: Diameter, 16 to 26  $\mu$  (20  $\mu$ ).*Construction, sculpture*: Outline, subcircular; laesurae, not observed; sculpture, reticulate; sculptural elements: polygonal lumina (predominantly irregularly pentagonal), psilate, 2 to 3  $\mu$  wide; muri, simple, psilate, 1/2 to 3/4  $\mu$  wide at top and base, 1/2  $\mu$  high; wall of lumina, less than 1  $\mu$  thick.

*Reference specimen*: F: 0818 (25)-1, 117.5 × 27.5.

*Occurrence*: La Vid Shales, rare.

Subturma PEROTRILETES Erdtman 1947.

Genus PEROTRILETES (Erdtman) ex Couper 1953.

*Perotrilites gordianus* n. sp.

Plate III: 64.

*Diagnosis*: Endospore, convexly triangular, trilete, psilate; laesurae, 3/4 of radius or larger; perispore, subcircular in equatorial outline.

*Dimensions*: Maximum radial diameter of spore body, 22 to 40 μ (25 μ).

*Construction, sculpture*: Equatorial outline of endospore, convexly triangular; periphery, smooth; laesurae, distinct, simple, straight, 3/4 of radius or larger; endospore wall, psilate, up to 1 μ thick; perispore, subcircular, rarely circular in equatorial outline, psilate, more transparent and thinner than endospore wall; periphery of perispore smooth; no thickening or rim at periphery.

*Reference specimen*: F: 105 (150)-1, 118.0 × 25.4.

*Occurrence*: La Vid Shales, common at various horizons.

Genus HYMENOZONOTRILETES (Naumova 1937?, 1939) Naumova 1953.

*Hymenozonotrilites butifarrus* n. sp.

Plate IV: 79.

*Diagnosis*: Exoexine, proximally psilate, distally echinate; cones arranged as to form an irregular reticulum; intexine, indistinct.

*Dimensions*: Maximum diameter, 55 to 73 μ.

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, subcircular to ellipsoidal; periphery, often shows tiny cones; laesurae, indistinct, simple, 3/4 of radius or larger; exoexine, 1 μ thick, proximally psilate, distally echinate; ornamental elements, 2 to 3 μ high at central part, grading to 1 to 2 μ at periphery; distinct separation between both sculpture types; limit of both sculpture types near equator; distal ornamentation arranged

as to form an irregular reticulum; lumina, psilate; intexine psilate, inconspicuous, approximately 3/4 of radius.

*Reference specimen*: F: 0099 (150)-1, 115.0 × 25.1.

*Occurrence*: La Vid Shales, rare.

*Hymenozonotrilites prosperus* n. sp.

Plate IV: 76\*; 81.

*Diagnosis*: Exoexine, proximally psilate, distally echinate; laesurae, 1/2 to 3/4 of radius; intexine, indistinct.

*Dimensions*: Maximum diameter, 52 to 78 μ (62 μ).

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, subcircular; periphery, often shows small cones; laesurae, simple, straight, 1/2 to 3/4 of radius; exoexine, up to 1 μ thick, proximally psilate, distally echinate; ornamental elements, regularly spaced, up to 2 μ high at center, grading to 1/2 μ high at periphery; distinct separation between both sculpture types; limit between both sculpture types at equator; exoexine, psilate between sculptural elements; intexine, inconspicuous, psilate.

*Reference specimen*: F: 105 (150)-2, 117.0 × 46.0.

*Occurrence*: La Vid Shales, common at various horizons, especially at top.

*Remarks*: *H. prosperus* covers a series of graded forms, with as extremes sparsely ornamented forms at the one hand and densely ornamented forms at the other. In the latter, the ornamental elements are smaller and thinner.

*Hymenozonotrilites aterciopeladus* n. sp.

Plate IV: 78.

*Diagnosis*: Subspherical to ellipsoidal; exoexine densely granulate; laesurae, small; intexine, clearly visible, of variable size, psilate.

*Dimensions*: Maximum diameter, 66 to 78 μ.

*Construction, sculpture*: Equatorial outline, ellipsoidal, occasionally circular; exoexine, thin, transparent, up to 1 μ thick, densely granulate; laesurae, simple, straight, 1/5 to 1/2 of radius; sculptural elements, approximately equidimensional, up to 1 μ high; intexine, clearly marked, psilate, approximately 1 μ thick, 1/3 to 3/4 of radius.

*Reference specimen*: F: 105 (150)-1, 115.0 × 41.5.

*Occurrence*: La Vid Shales, common at various horizons, especially at top.

**Hymenozonotriletes argutus "I" Naumova 1953**  
(Naumova 1953: Plate 4: 10)

Plate IV: 74.

*Dimensions*: Diameter 70 to 122  $\mu$  (Naumova 1953: 90 to 100  $\mu$ ).

*Occurrence*: Naranca Formation, common to abundant; size range to 150  $\mu$ ; Huergas Formation, rare; ca. 110  $\mu$ .

**Hymenozonotriletes argutus "II" Naumova 1953**  
(Naumova 1953: Plate 9: 9)

Plate III: 73.

*Dimensions*: Diameter, 60 to ca. 200  $\mu$  (Naumova 1953: 90 to 110  $\mu$ ).

*Occurrence*: Naranca Formation, common to abundant; size range 100 to 200  $\mu$ ; Huergas Formation, rare, 60 to 100  $\mu$ .

**Hymenozonotriletes cf. eximius ? Naumova 1953**  
(Naumova 1953, Plate 9; 14)

Figure 6: 1.

*Dimensions*: Diameter, 60 to 95  $\mu$  (Naumova 1953: 20 to 100  $\mu$ ).

*Occurrence*: Naranca, Huergas Formations: rare in León, common in Asturias.

*Remarks*: Due to preservation of specimens, laesurae not observed. The exine is covered with (1) numerous small echinose grana to echinae, and (2) few larger broad based spines and echinae with sharp tips.

The species is distinguished from *H. cf. deliquescens* by its less pronounced sculpture of large spine and a relatively larger spore body.

**Hymenozonotriletes cf. domanicus Naumova 1953**

Plate III: 71.

*Dimensions*: Diameter, 80 to 160  $\mu$  (Naumova 1953: 90 to 100  $\mu$ ).

*Occurrence*: Naranca Formation, rare.

*Remarks*: The sculpture of the Spanish forms is considerably less regular than that of the specimen figured by Naumova (Naumova, 1953, Plate 9: 6).

**Hymenozonotriletes cf. deliquescens ? Naumova 1953**

Plate IV: 77.

*Dimensions*: Diameter, 60 to 115  $\mu$  (Naumova 1953: 60 to 95  $\mu$ ).

*Occurrence*: Naranca formation, rare to common.

*Remarks*: Due to the state of preservation, the laesurae could not be observed; the spore body is relatively larger than that of the specimen figured by Naumova (Naumova, 1953, Plate 9: 8).

**Hymenozonotriletes narancae n. sp.**

Plate III: 70.

*Diagnosis*: Entexine, triapsidate; exoexine, circular; smooth.

*Dimensions*: Entexine, 60 to 80  $\mu$ ; exoexine, 100 to 165  $\mu$ .

*Construction, sculpture*: Entexine, triapsidate, psilate, thicker and less transparent than exoexine; exoexine, circular in equatorial outline, psilate; laesurae, indistinct, simple.

*Reference specimen*: F: 2009-A-4; 127.0  $\times$  45.9.

*Occurrence*: Naranca Formation, rare.

## II.3 SYSTEMATIC DESCRIPTIONS OF SELECTED CHITINOZOANS

### Incertae sedis

Class: UNCERTAIN.

Order: CHITINOZOA Eisenack 1931.

Superfamily: COPULIDAE Taugourder (C. I. M. P.) 1964.

Family: EXOCOPULIDAE Taugourdeau (C. I. M. P.) 1965.

Genus: HOEGISPHAERA Staplin 1961.

### Hoegisphaera astrica n. sp.

Plate IV: 83.

*Diagnosis*: Outline octagonal; aperture, circular to irregular; characteristic radial, dark sculpture present.

*Dimensions*: Maximum equatorial diameter, 48 to 90  $\mu$  (65  $\mu$ ).

**Construction, shape:** Vesicle, roughly lenticular, length not exceeding width, equatorial outline, octagonal with rounded angles; aperture, circular to irregular, simple, no annular thickening or lip present; sculpture, formed by thicker, linear regions that extend from the opening to the aboral pole, where they converge; the lines form the "ribs" of the octagonal body; wall, bilayered: ectoderm, transparent, psilate, up to  $1\ \mu$  thick; endoderm, psilate to chagrinate, 1 to  $5\ \mu$  thick; wall thickness depends on location on vesicle.

**Occurrence:** San Pedro Formation, Villamanín, rare.

**Reference specimen:** F: 2702-A-1;  $117.0 \times 35.2$ .

Superfamily ACOPULIDAE Taugourdeau (C. I. M. P.) 1965.

Family HETEROGENIDAE Taugourdeau (C. I. M. P.) 1965.

Genus PLECTOCHITINA Cramer 1964.

**Definition:** General outline, flask-shaped; appendices, situated at aboreal end only, distally connected, often anastomosing; collar, transparent smooth; boundary crenulate to smooth; prosome, not observed; neck subcylindrical to tapered in direction of body chamber; body chamber fungiform to flask-shaped.

**Remarks:** The appendices are composed of two types of "tissue": 1) at the base, a hollow, opaque to slightly transparent part, and 2) the spongy tissue of the distal and anastomosing part of the appendices. Both "tissue" types show gradual transitions. The spongy tissue bears no resemblance to structures formed by pyrite which was incrustated in organic material. Although numerous specimens were carefully examined for this feature, no traces of crystal casts have been detected. Damaged specimens of *Plectochitina* spp. may resemble *Ancyrochitina*, specially when all appendices are broken at the basal solid part. The resulting "*Ancyrochitina*" is necessarily a long range form with few, if any, characteristic features.

*Plectochitina carminae* Cramer 1964

Plate IV: 75, 82.

The Upper Llandoveryan to basal Lower Gedinnian chitinozoans of the Luna-Bernesga region are presently studied again. The results of this study are scheduled to be published in the second semester of 1966.

The new species of the genera *Anapiculatisporites* and *Cyclogranisporites* are distinguished by form, size and distribution of the sculptural elements, average length of laesurae, and equatorial outline. It is possible that some taxa include more than one natural species. If the taxa in question include natural species with different ranges in other regions, a finer subdivision of these taxa might become necessary. In the study region, however, the present new taxa have proved their stratigraphic usefulness.

Reference specimen (holotypes) of all new taxa are figured in Plates I to IV; where more than one specimen of a new taxon is figured the reference specimen is indicated by an asterisc added to the photo number stated in the description. Descriptions and diagnosis of all taxa are based on at least 25 specimens examined. The size of the specimens as indicated in the explanation of the Plates is the maximum observable length of the specimen figured.

### III.—GEOGRAPHICAL PART

#### III: 1 THE MICROFOSSIL ASSEMBLAGE OF THE SAN PEDRO FORMATION NEAR VILLAMANIN (LEON)

##### LOCALITY, LITHOLOGY :

Locality Villamanín is the outcrop of the San Pedro Formation (Comte, 1959) south of Villamanín, a village situated 45 km north of the provincial capital León on highway C - 623 from León to Oviedo.

Samples were collected from the green, fissile shale intercalations in the rugenous sandstone and quartzites. The samples are numbered from the base of the exposed part of the formation (F: 2701) to the top (F: 2709). They were collected from the outcrop at the side of the road.

##### AGE OF THE SAN PEDRO FORMATION AT VILLAMANÍN.

The palynological evidence suggests that only the middle and lower parts of the formation crop out at the sample locality. The San Pedro formation at Villamanín occupies a time span that which is characterised by associations of zone 2, and the lowermost part of teilzone 4 (Ludlovian).

##### MICROFOSSIL ASSEMBLAGES.

The following microfossils together with those comprising the suites mentioned here, usually occur with frequencies of more than 1 percent of the total number of counted elements per sample: Suite 1, *Ancyrochitina fragilis brevis*; suite 9, *Hoegisphaera tortugaides*; suite 10, *Veryhachium estrecha*; suite 11, *Veryhachium carminae*; suite 17, *etialetes legionis*; suite 5, *Plectochitina carminae*; suite 12, *Deflandrastrum*

*millepiedi*; suite 13, *Baltisphaeridium paraguaferum*; suite 14, *Lophodiacrodium pepinum*; suite 18, *Tetraletes granulatus*; *Baltisphaeridium variopinum*; *B. variopinum lisum*; *B. estrellaferum*; *B. microcladum*; *B. denticulatum*?; *B. peltatum*; *Hoegisphaera astrica*.

### III: 2 THE MICROFOSSIL ASSEMBLAGES OF THE LA VID SHALES AT LA VID DE GORDON

#### LOCALITY, LITHOLOGY.

The type locality of the La Vid Formation was described in detail by Comte, 1959. The locality is near La Vid de Gordón, a village situated about 35 km north of the capital, León, on Highway C-630, between León and Oviedo. The type section of this formation extends along the road cut of the country road from La Vid de Gordón by Villar del Puerto to Vegacervera, and is the first exposure of the formation on the left side of the road before the hairpin curve near La Vid de Gordón.

The generalized lithology of the exposure at the roadcut is illustrated by figure 5. The La Vid Formation can be divided into two members, the La Vid Carbonate Member, and the La Vid Shale Member. This shale member is often tectonized and shows secondary changes in thickness, however, it is estimated that the thickness is approximately 80 m.

#### AGE OF THE LA VID SHALE MEMBER.

The oldest macrofossils of the Carbonate Member at La Vid de Gordón indicate a Middle Siegenian age; the lower part of the shales is of Middle and Upper Siegenian age, while the upper part is of Lower and Middle Emsiam age, as is indicated by brachiopods that are found throughout the La Vid shales. The boundary between the Emsiam and Couvinian occurs approximately halfway through the overlying Santa Lucía Formation.

#### MICROFOSSIL ASSEMBLAGE.

The following microfossils plus those comprising the suites mentioned here occur in most samples with frequencies of more than 1 per cent: Suite 6, *Desmochitina panzuda*; suite 7, *Fungochitina sphaerocephala*; suite 15, *Veryhachium rosendae*; suite 19, *Anapiculatisporites matagallegus*; and in the upper part: suite 16, *Triangulina alargada*; suite 21, *Dictyotriletes gorgoneus*; suite 22, *Hymenozonotriletes butifarrus*; plus: *Baltisphae-*

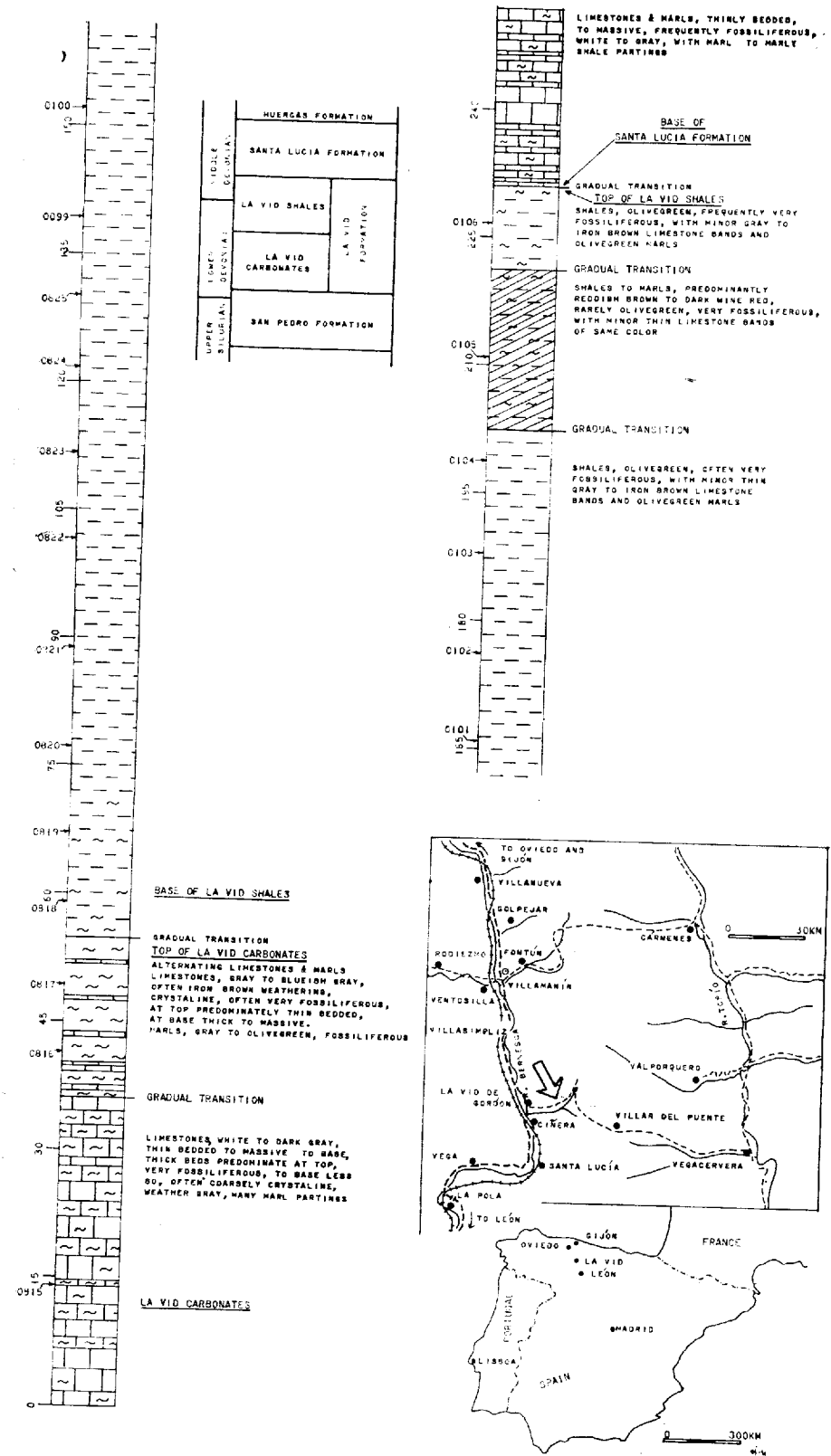


Figure 5.—Stratigraphic column at La Vid de Gordón. Samples indicated by horizontal numbers; scale in meters, indicated by vertical numbers. Arrow points at sample locality.

*ridium carrascum*; *B. denticulatum* ?; (?) *B. triplodermum*; *Baltisphaeridium* I; *Cymatiosphaera pauciplanum*; *Anapiculatisporites* cf. *Lophotriletes subverrucosus* Jush.; *Cyclogranisporites zumbonus*; *C. finum*.

### III: 3 THE SPORE ASSEMBLAGE OF THE NARANCA SANDSTONE FORMATION NEAR GRADO (ASTURIAS)

#### LOCALITY, LITHOLOGY.

The sample locality is the large outcrop of the Naranca Sandstone Formation some 20 km east of Oviedo at the roadcut of highway N-634 from Tineo by Grado to Oviedo in Asturias. The locality is locally known as San Roque.

Samples were collected from the green fissile shale intercalations in the ferruginous sandstones. (This part of the sequence is also called "Gossetia Sandstone"). The samples are numbered from the base of the exposed part of the formation (F: 2009-A) to the top (F: 2009-D). They were collected from the outcrop at the north side of the road.

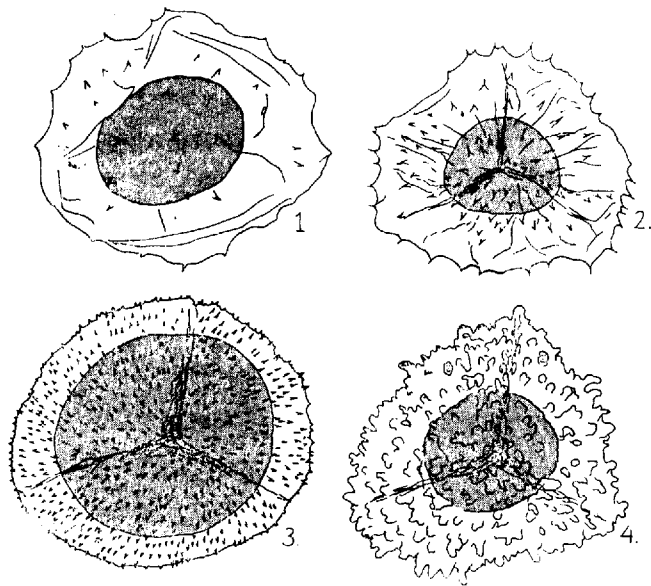


Figure 6.—1, *Hymenozonotriletes* cf. *eximius* Naumova; 2, *H. argutus* "II" Naumova; 3, *H. argutus* "I" Naumova; 4, *H. cf. domanicus* Naumova.

#### AGE OF THE NARANCA SANDSTONE FORMATION.

The age of the Naranca Formation as stated in the explanation of sheet 52, Proaza, of the Geological Map of Spain (Almela, G. Fuente & Ríos, 1956, p. 16a) is uppermost Middle Eifelian to lowermost Lower Givetian.

#### MICROFOSSIL ASSEMBLAGE.

The assemblages recovered from the Grado samples are almost completely composed of spores. The few acritarchs and chitinozoans recovered, show no characteristics that would help differentiating this sequence from the over and underlying formations. The following spores occur with frequencies of over 1 per cent: *Anapiculatisporites carminae*; *A. rosendae*; *Emphanisporites rotatus*; *E. erraticus*; *E. annulatus*; *E. mcgregorii*; *Cyclogranisporites rosendae*; *Camptotriletes araneosus*; *Hymenozonotriletes argutus* "I and II"; *H. cf. eximius*; *H. cf. domanicus*; *H. cf. deliquescens*; *H. narancae*.



## IV. APPENDIX

### IV.1 PROCESING OF SAMPLES

The processing method described by de Jekhowsky (1959) was found to be the most satisfactory for samples of shales to sandy shales or siltstones. For the calcareous samples, 10 % hydrochloric or 30 % orthophosphoric acid was used in first instance, they were subsequently treated as the shales and sandstone. Minor modifications were made to de Jekhowsky's method to reduce the time spent on processing. The procedure followed for larger microfossils does not differ essentially from that for the smaller. The fraction in which they were expected to occur was separated by screening. The refuse was processed on small forms, the coarse fraction was separately processed in the same way. This division helps to reduce the bulk of sample to a great extent, since the larger microfossils are generally rarer than the smaller forms and thus require a greater amount of sample. It was more rapid to process the same sample twice to obtain a set of slides with a high concentration of small forms and another set of slides with a high concentration of the associated large forms. The final procedure employed is outlined here.

1. Soak the sample, reduced to particle size of 2-4 mm in 96 % methyl alcohol at room temperature for about five minutes.
2. Add reaction mixture to the sample, allow reaction to take place for 45 minutes and then remove the liquid from the disintegrated sample. The reaction mixture is composed of 3 parts 78 % hydrofluoric acid plus 1 part 30 % hydrogen peroxide (all chemicals used are technical grade) at 25 to 50° Celsuis starting temperature. For the reaction, which is exothermic, use polypropylene beakers with wide mouths, the reaction keeps the sample at 50° to 80° Celsius; agitate sample and liquid every 15 minutes;

the liquid is removed from the disintegrated sample by centrifuging first run 3 to 4 minutes at 2,000rpm., retain sink; second to fourth runs: add water, stir thoroughly with air-driven mechanical stirrer, centrifuge 2 to 3 minutes at 1,500 rpm., syphon off liquid plus loose, jelly-like flocculated silica and aluminum fluorides and hydroxides which often constitute more than half the upper half of the precipitate. The loss of microfossils through discarding the flocculation products is negligible as examination of numerous samples has shown. For runs with HF containing liquids, use plastic tubes.

3. Replace water with cellosolve. Three washing runs: centrifuge 2 minutes at 1,000 to 1,500 rpm., syphon off flocculation products and liquid, retain sink. Cellosolve dissolves a considerable amount of organic material in most samples, and by adding a drop of Darvan No. 4, or another dispersing agent, the clay and fine-sized organic and anorganic material remains dispersed so that it can be syphoned off together with the liquid. Since cellosolve as well as bromoform dissolve plastic, use glass tubes for these and the following runs.

5. Bring float over in water medium. Six runs at 2,000 rpm. for 3 minutes: first three runs with cellosolve, last three runs with distilled water; retain sink; syphon off liquids.

6. Heavy liquid separation with 2.0 sp. w. bromoform-alcohol. One or, if the separation is incomplete, two runs: first centrifuge 3 minutes at maximum 500 rpm, then accelerate centrifuge rapidly and let it run 5 minutes and 2,500 rpm; use no brake to stop centrifuge; retain float.

During the first stages of the investigation, slides were mounted with safranin O stained glycerine jelly, but the method in essence described by Jefford and Jones (1959) proved to be so much more satisfactory that it was preferred. The procedure followed to mount slides was: place the clean, grease free coverslips on a hot plate, kept at 30 to 40° Celsius; add two drops of cellosolve to the center of the coverslip, and then pipet one drop of the well-mixed aqueous residue to the cellosolve. Kepp coverslip in place with a toothpick and mix the cellosolve and residue thoroughly with another toothpick. Avoid touching the coverslip with fingers because cellosolve will not fix on greasy surfaces. Let the liquids evaporate, then mount the coverslip on the slides. Lucite was used by the author. Lucite has the advantage that it is colorless, easy to work with, and slides mounted with lucite can be analyzed after being kept for one hour on a 36° Celsius hotplate or in an oven.

Streel (1963) has given an ample description of the use of ultrasonics equipment in the processing of rock samples for palynology. An ultrasonic

equipment gave no reproducible results and often caused more damage than possible advantages. Its use was therefore abandoned in the later stages of the investigation. Too many uncontrolled variables are involved in the use of ultrasonics on many different rock types from different regions.

Several samples have been run up to ten times through the processing method outlined above and gave comparable results. So, there is absolutely no reason to believe that the method induces either a selective destroying or removal of taxa, or that the slides do not represent the entire recoverable thanatocenose present in the sample before it was run.

Of every sample, two slides were scanned for qualitative analysis and a 500 or 1,000 count was made of most slides to find the relative frequencies of the more abundant taxa.

#### IV.2 INFORMATION ON SOME CHEMICALS USED IN SAMPLE PROCESSING

*Cellosize*.—Powdered hydroxyl cellulose, manufactured by the Union Carbide Chemicals Company. (Jeffords & Jones, 1959: p. 345.)

*Cellosolve*.—Butyl cellosolve, commercial grade ethylene glycol monobutyl ether,  $\text{CH}_2\text{OH}_2\text{CH}_2\text{O.C.H.}_5$ .

*Lucite*.—Lucite 2 044, n-Butyl methacrylate;  $n = 1.480$ . Manufactured by Dupont, Electrochemicals Department, Wilmington, Delaware. Dissolve in xylene, let stand overnight; thin with xylene to consistency of Canada Balsam. Prepare slides at warm temperature, then dry for about one hour in oven at 40 to 50° C. (Evitt, personal communication). It is perfectly colorless and transparent, requires a short drying time, and does not deteriorate or dry out, provided a solution of the consistency of Canada Balsam is used.

*Darvan 4*.—Product of R. T. Vanderbilt Co., Inc., 230 Park Ave., New York (N. Y.).

#### IV.3 UNNAMED FORMATIONS FIGURED IN RANGE CHART

*Formation 1*.—Some 90 m of sandy shales, also called Villasimpliz shales, or "Zwischenschichten" (Almela, G. Fuente & Ríos, 1956, p. 16 a; Poll 1963; Rading 1961).

*Formation 2*.—Upper Devonian Sandstone, of mapping unit E of the provisional map of the south flank of the Cantabrian Mountains of Spain

(1:1,000,000) compiled and prepared by de Sitter and collaborators (1962).

**Formation 3.**—The 50 to 100 m of sandy shales overlying the black ampelitic shales with graptolites and underlying the ferrogenous sandstones and quartzites of the San Pedro Formation in León (Comte, 1959, p. 166, thru 174).

**Formation 4.**—Ferruginous sandstones alternated with shales of mapping unit S, of the E part of the provisional map of the south flank of the Cantabrian Mountains by de Sitter (1962).

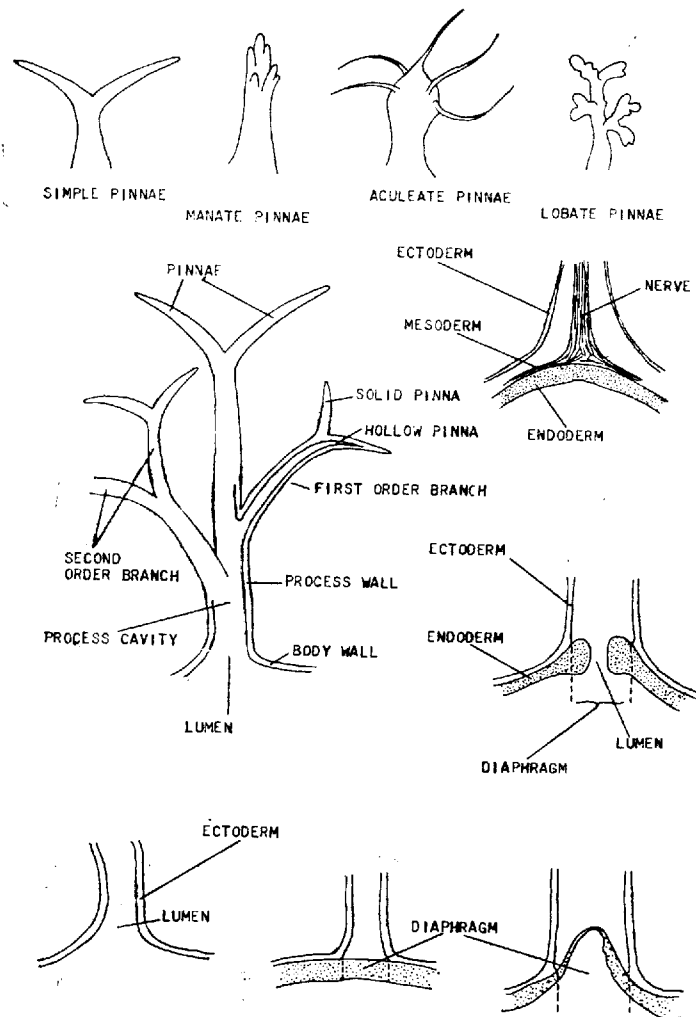


Figure 7.—Explanation of some descriptive terms used in the systematic descriptions of acritarchs.

## REFERENCES

- ALMELA, A.; GARCÍA FUENTE, S., and RÍOS, J. M., 1956: Explicación de la Hoja número 52 (Proaza, Asturias).—*Inst. Geol. y Min. de España*. Madrid, 1956.
- BARROIS, CH., 1882: Recherches sur les terrains anciens des Asturias et de la Galice. *Mém. Soc. Géol. du Nord*, II, n.º 1, 630 p.
- BALME, B. E., and HASSEL, C. W., 1962: Upper Devonian spores of the Canning Basin, Western Australia.—*Microfaleontology*, 8, 1-28.
- BENOIT, A., and TAUGOURDEAU, PH., 1961: Sur quelques Chitinozoaires de l'Ordovicien du Sahara.—*Rev. Inst. Fr. Pétrole*, XVI/12, 1403-21.
- CHIBRIKOVA, E. V., 1959: Spores of the Devonian and older deposits of Bashkir. Akad. Nauk. S. S. R.—*Materials on Paleont. and Strat. of Devonian and older Deposits of Bashkir*, 3-116 (In Russian).
- C. I. M. P., C. R., Seminar, Bordeau 1965, Revision de la systématique des chitinozoaires, 79 pp.
- COMBAZ, A., and POUMONT, C., 1963: Observations sur la structure des Chitinozoaires.—*Rev. Micropaléont.*, 5/3, 147-60.
- COMTE, P., 1938: Les facies du Dévonien supérieur dans la Cordillère Cantabrique.—*C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 206, 1496-8.
- 1938: La transgression du Famennien supérieur dans la Cordillère Cantabrique.—*C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 206, 1741-1743.
- 1959: Recherches sur les terrains anciens de la Cordillère Cantabrique.—*Mem. Inst. Geol. y Min. Esp.*, 60, 1-440.
- CRAMER, F. H., 1963: Nota provisional sobre la presencia de microplancton y esporomorfos en las rocas sedimentarias del Devónico Inferior en las Montañas Cantábricas.—*Estudios Geológicos*, XIX, 215-18.
- 1964 a: Microplankton from three Palaeozoic Formations in the Province of León, NW Spain.—*Leidse Geol. Meded.*, XXX, 253-361.
- 1964 b: Some Acritarchs from the San Pedro Formation of the Cantabrian Mountains in Spain.—*Bull. Soc. Géol. Hydr. Belge*, LXXIII, 33-8.
- 1966 a: Additional morphographic information on some characteristic

- acritarchs of the San Pedro and Furada Formations (Silurian-Devonian boundary) in León and Asturias, Spain.—*Bol. Inst. Geol. y Min. de España*. Madrid (in press).
- CRAMER, F. H., 1966 b: Polymorphs from the Siluro-Devonian boundary in NW Spain.—*Bol. Inst. Geol. y Min. de España*. Madrid (in press).
- 1966 c: Hoegispheres and other microfossils incertae sedis of the San Pedro Formation (Siluro-Devonian boundary) near Valporquero, León, Spain.—*Bol. Inst. Geol. y Min. de España* (in press).
- DEUNFF, J., 1954: Microorganismes planctoniques (Hystrichosphères) dans le Dévonien du Massif armoricain.—*C. R. Soc. Géol. Fr.*, 239-42.
- 1954: Veryhachium, genre nouveau d'Hystrichosphères du Primaire.—*C. R. Soc. Géol. Fr.*, 305-6.
- 1955: *Aremoricanium*, genre nouveau d'Hystrichosphères du Silurien breton.—*Soc. Géol. Fr., C. S. Somm.*, 11-22, 227-9.
- 1955: Un microplancton fossile Dévonien à Hystrichosphères du continent Nord-Américain.—*Bull. Microsc. Appl.*, 5, pp. 138-49.
- 1957: Microorganismes nouveaux (Hystrichosphères) du Dévonien de l'Amérique du Nord.—*Bull. Soc. Miner, Bretagne*, 2, 5-14.
- 1961: Un microplancton à Hystrichosphères dans le Trémadoc du Sahara.—*Rev. Micropaléont.*, 4, 37-52.
- 1965: Genera *Phoenisphaeridium*, *Tunisphaeridium*, n. g. (in press).
- DOWNIE, C., 1959: Hystrichospheres from the Silurian Wenlock Shale of England.—*Palaeontology*, 2, 56-71.
- 1963: Hystrichospheres (acritarchs) and spores of the Wenlock Shales (Silurian) of Wenlock, England.—*Palaeontology*, 6, 625-52.
- DOWNIE, C., EVITT, W. R., and SARJEANT, W. A. S., 1963: Dinoflagellates, hystrichospheres and the classification of acritarchs.—*Stanford Univ. Geol. Papers*, 7, 3, 3-16.
- DOWNIE, C., and SARJEANT, W. A. S., 1963: On the interpretation and status of some Hystrichosphere genera.—*Palaeontology*, 6, 83-96.
- EISENACK, A., 1951: Retioliten aus dem Graptolitengestein.—*Palaeontographica C. A.* (1951), 129-64.
- EVITT, W. R., 1963: A discussion and proposals concerning fossil Dinoflagellates Hystrichospheres and Acritarchs.—*Nat. Acad. Sci., Proc.*, 49, 158-64; 298-302.
- GARCÍA-FUENTE, S., 1959: Explicación de la Hoja número 77, La Plaza (Teverga), Asturias. *Inst. Geol. y Min. de España*. Madrid.
- GÓMEZ DE LLARENA and ARANGO, C. R., 1948: Datos para el estudio geológico de la Babia Baja (León).—*Bol. Inst. Geol. Min. España*, 61, 81-206. Madrid.
- HERNÁNDEZ-SAMPELAYO, P., 1944: Datos para el estudio de las Hojas del Mapa Geológico 1:50.000, Gijón (14), Oviedo (29).—*Inst. Geol. Min. España*. Madrid.

- FFMEISTER, W. S., 1959: Lower Silurian plant spores from Libya.—*Micropaleont.*, V, 331-4.
- FORDS, R. M., and JONES, D. H., 1959: Preparation of slides for spores and other microfossils.—*J. Paleont.*, 33, pp. 344-347.
- JEKHOWSKY, B., 1959: Une technique standard de préparation des roches pour l'étude des microfossiles organiques.—*Rev. Inst. Fr. Pétrole*, XIV, 315-20.
- JEKHOWSKY, B., and TAUGOURDEAU, PH., 1959: Sur la présence de nombreux Chitinozoaires dans le Siluro-Dévonien du Sahara.—*C. R. Somm. Soc. Géol. France*, 1, 17-8.
- DO, G. I., 1957: On the stratigraphy and spore-pollen complexes of the lower horizons of the Carboniferous in the B. S. S. R.—*Dokl. Akad. Nauk. S. S. S. R.*, 115, 1165-8 (in Russian).
- PIS LLADÓ, N., 1958: Las bases estratigráficas del Devónico de Asturias.—*Brev. geol. astúr.*, 2, Oviedo.
- GREGOR, D. C., 1961: Spores with proximal radial pattern from the Devonian of Canada.—*Geol. Survey of Canada, Bull.* 76.
- UMOVA, S. N., 1953: Spore-pollen complexes of the Upper Devonian of the Russian Platform and their stratigraphical value.—*Tr. Inst. Geol. Nauk. Akad. Nauk. S. S. S. R.*, 143 (Geol. Ser. n.º 60), 1-204 (in Russian).
- YFORD, G., 1962: Lower Carboniferous Microfloras of Spitsbergen.—*Palaeontology*, V, 550-618.
- L, K., 1963: Zur Stratigraphie des Altpaläozoikums von Belmonte (Asturien, Nordspanien).—*N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 117, 235-50.
- IG, F., 1961: Zur Stratigraphie des Devons in Asturien (Nordspanien).—*Geol. Rundschau*, 51, 249-67.
- HARDSON, J. B., 1965: Middle Old Red Sandstone Shore assemblages from the Orcadian Basin, northeast Scotland.—*Palaeontology*, VII, 559-605.
- SITTER, L. U., 1962: The structure of the southern slope of the Cantabrian Mountains: explanation of a geological map with sections, scale 1:100.000.—*Leidse Geol. Mededel.*, 26, 255-64.
- PLIN, F. L., 1961: Reef controlled distribution of Devonian microplankton in Alberta.—*Palaeontology*, 4, 392-424.
- KMANS, F., & WILLIÈRE, Y., 1963: Les hystrichosphères ou mieux les Acritarches du Silurien belge. Sondage de la Brasserie Lust à Kortrijk.—*Soc. Belg. Géol.*, Bull. 71, 450-481.
- 1962: Hystrichosphères du Dévonien belge (Sondage de l'Asile d'aliénés à Tournai).—*Bull. Soc. Géol. Belge*, LXXI, 41-77.
- 1962: Hystrichosphères du Dévonien belge (Sondage de Wépion).—*Bull. Soc. Géol. Belge*, LXXI, 83-99.
- EEL, M., 1963: Utilisation des ultrasons à divers stades de la technique d'extraction des spores d'une roche détritique.—*V Congr. Inst. Strat. Geol. Carb.* 1239-48.

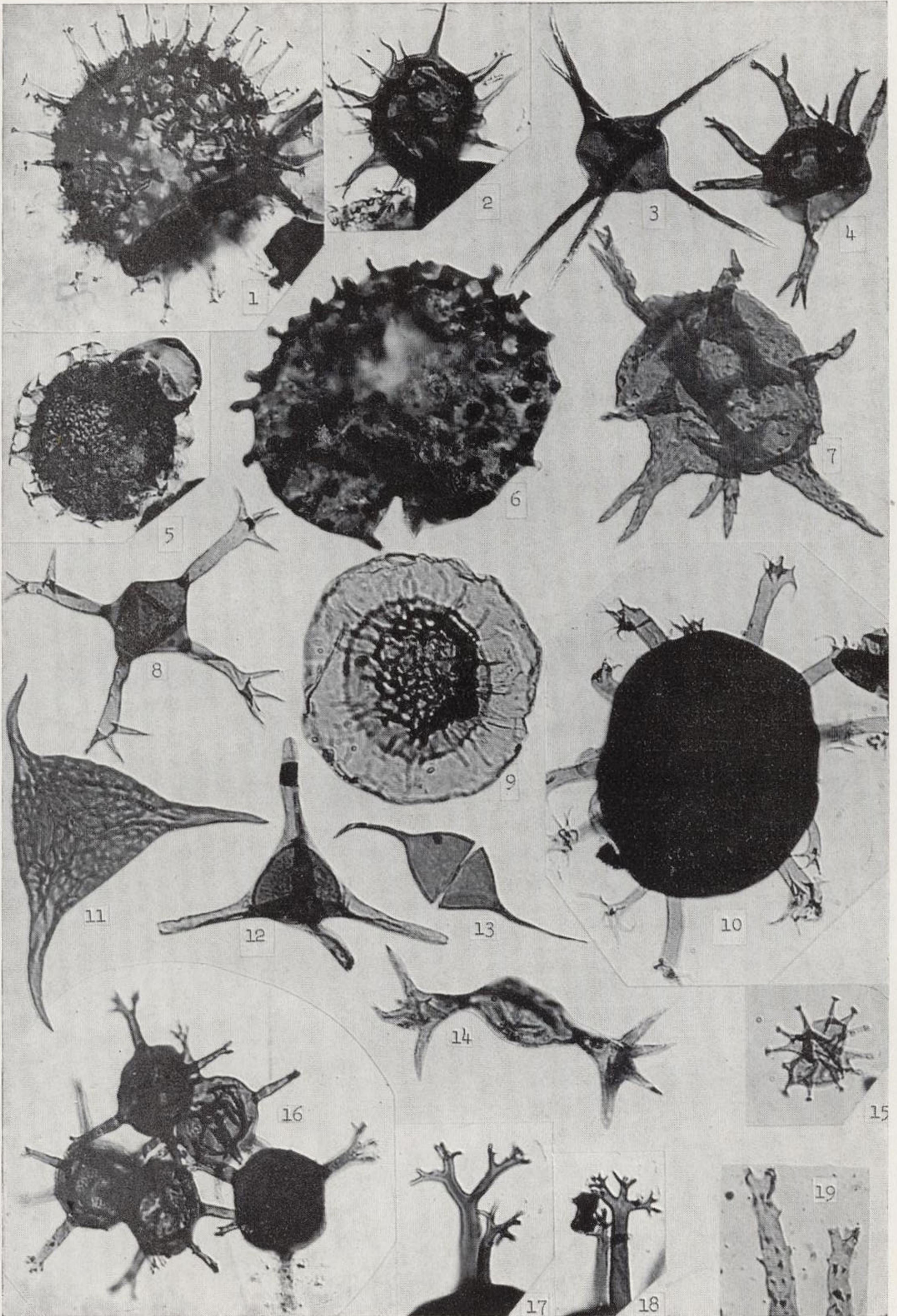
- STREEL, M., 1964: Une association de spores du Givétien Inférieur de la Vesdre, à Goé (Belgique).—*Ann. Soc. Géol. Belgique*, 87, 30 pp.
- TAUGOURDEAU, P.:., and DE JEKHOWSKY, B., 1960: Repartition et descriptions des Chitinozoaires siluri-dévonieniens de quelques sondages de la C. F. P. A. et de la S. N. Repal du Sahara.—*Rev. Inst. Fr. Pétrole*, XV, 1190-259.
- TAUGOURDEAU, PH., 1961: Chitinozoaires du Silurien d'Aquitaine.—*Rev. Micropaléont.*, 4, 135-54.
- 1962: Associations de Chitinozoaires dans quelques sondages de la région d'Edjelé, Sahara.—*Rev. Micropaléont.*, 4, 229-36.
- 1963: Association de Chitinozoaires sahariens du Gotlandien supérieur (Ludlovien).—*Bull. Soc. Géol. France*, 7.<sup>e</sup> série, IV, 806-8.
- 1965: Les chitinozoaires. 96 pp. (Ph. D. thesis, University of Paris).
- WAGNER, R. H., 1963: A general account of the Palaeozoic rocks between the rivers Porma and Benesga (León, NW Spain).—*Bol. Inst. Geol. Min. España*, 74, 190 pp.
- WILSON, L. R., and URBAN, J. B., 1963: An *Incertae sedis* from the Devonian of Oklahoma.—*Oklahoma Geol. Notes*, 23/1, 16-9.

PLATES

PLATE I

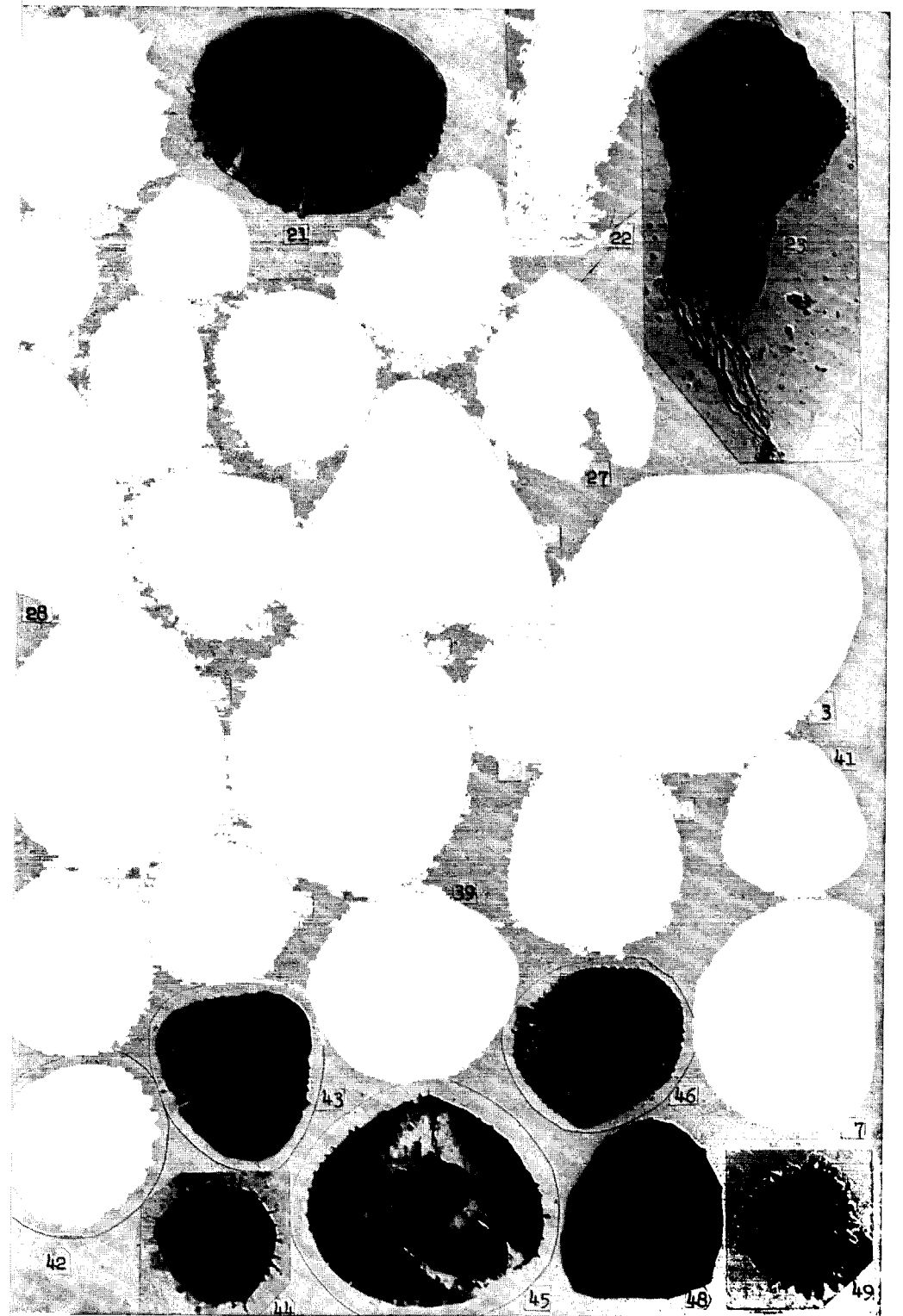
1. *Baltisphaeridium carrascum* n. sp. (55  $\mu$ ).
2. *B. variopinnum* *lissum* n. sp., n. var. (40  $\mu$ ).
3. *B. ? denticulatum* Stockmans and Willière (140  $\mu$ ).
4. *B. variopinnum* n. sp. (41  $\mu$ ).
5. *B. estrellaferum* n. sp. (31  $\mu$ ).
6. *B. peltatum* n. sp. (56  $\mu$ ).
7. *B. tranmaticum* Cramer (71  $\mu$ ).
8. *B. palidodigitatum* n. sp. (55  $\mu$ ).
9. *Pterospermopsis martinii* n. sp. (43  $\mu$ ).
10. *B. dilatispinosum* Downie (75  $\mu$ ).
11. *Veryhachium scabratum* Cramer (61  $\mu$ ).
12. *B. triplodermum* n. sp. (120  $\mu$ ).
13. *Leiofusa berneseae* Cramer (48  $\mu$ ), notice the characteristic splitting.
14. *Anthatractus insolitus* Deunff (55  $\mu$ ).
15. *Polyplanifer exoticum* Cramer (18  $\mu$ ).
16. Cluster of *B. pilaris* Cramer in living habitus (diameter of central body of upper left specimen, 36  $\mu$ ).
17. Pinnae of *B. pilaris* Cramer.
18. Pinnae of *B. pilaris* Cramer.
19. Pinnae of *B. denticulatum* Stockmans and Willière.



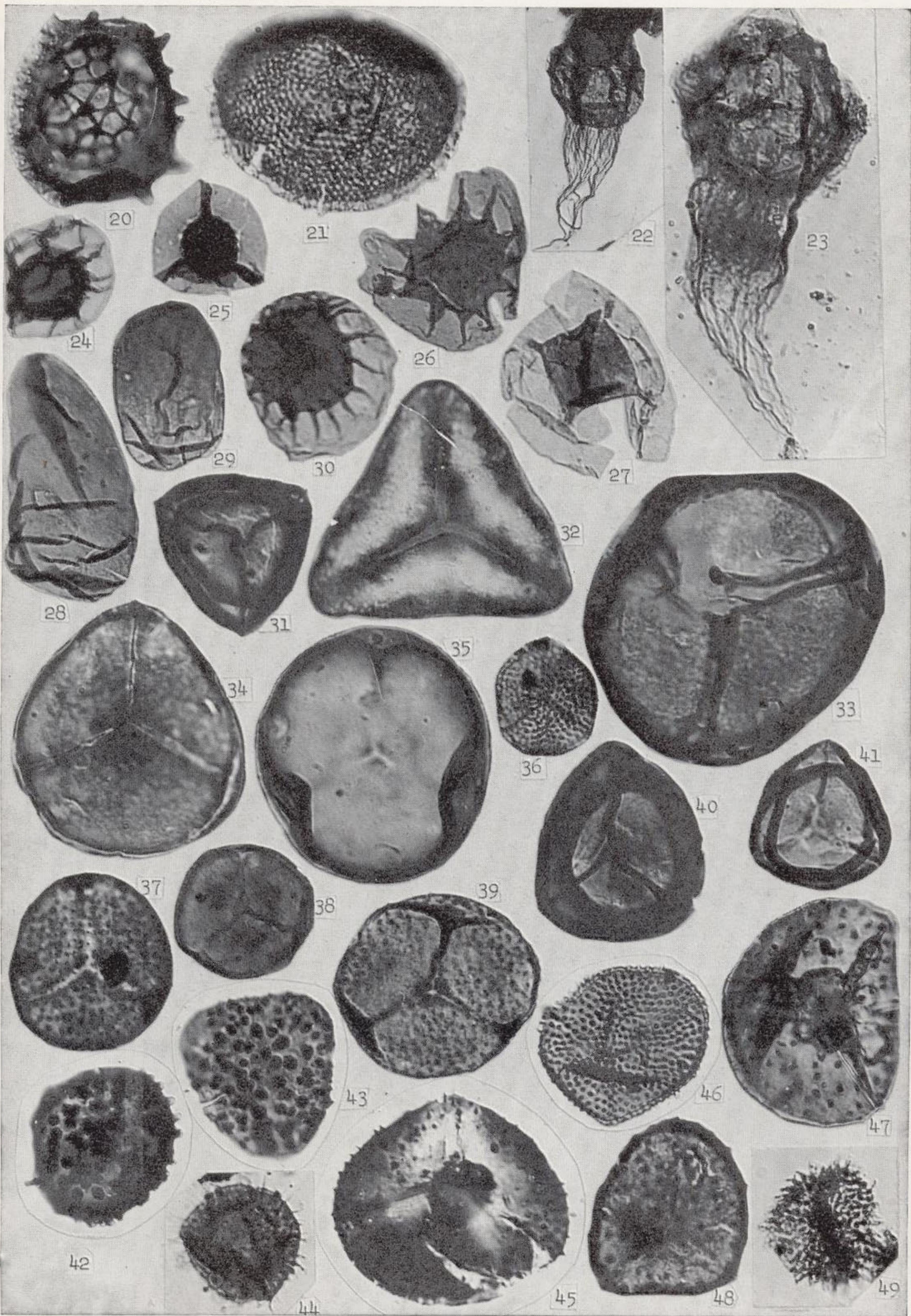


## PLATE II

20. *Pterotosphaerula astrala* n. sp., focussed on equatorial lamella, and on sculptural elements of central body (36  $\mu$ ).
21. *P. aliculata* n. sp. (45  $\mu$ ).
22. *Geron guerillerus* n. sp. (58  $\mu$ ).
23. *G. guerillerus* n. sp. (73  $\mu$ ).
24. *Perisaccus drepanoptychius* n. sp. (38  $\mu$ ).
25. *Cymatiosphaera pauciplanum* n. sp. (20  $\mu$ ).
26. *Helios cranoides* Cramer (32  $\mu$ ).
27. *Quadraditum fantasticum* Cramer (32  $\mu$ ).
28. *Ellipsaletes laevigatus* Cramer (44  $\mu$ ).
29. *E. laevigatus* Cramer (30  $\mu$ ).
30. *H. aranoides* Cramer (30  $\mu$ ).
31. *Amicosporites splendidus* n. g., n. sp. (28  $\mu$ ).
32. *Leiotriletes bonitus* n. sp. (42  $\mu$ ).
33. *Retusotriletes sanpetri* (83  $\mu$ ).
34. *Ambitisporites avitus* Hoffmeister (45  $\mu$ ).
35. *Retusotriletes splendidus* (43  $\mu$ ).
36. *Anapiculatisporites picantus* (20  $\mu$ ).
37. *Anap. ventae* Cramer (31  $\mu$ ).
38. *Retusotriletes barbatus* Cramer (25  $\mu$ ).
39. *Apiculoretusispora toriensis* Cramer (233  $\mu$ ).
40. *Amico. splendidus* (35  $\mu$ ).
41. *Amico. splendidus* (25  $\mu$ ).
42. *Anap. cf. Loph. subverrucosus* Jush. (28  $\mu$ ).
43. *Anap. cf. Loph. subverrucosus* Jush. (28  $\mu$ ).
44. *Acanthotriletes cf. tenuispinosus* Naumova (diameter of sporebody, 21  $\mu$ ).
45. *Anap. chistosus* n. sp. (40  $\mu$ ).
46. *Anap. matagallegus* n. sp. (30  $\mu$ ).
47. *Anap. abrepunius* n. sp. (40  $\mu$ ).
48. *Anap. tojooides* n. sp. (30  $\mu$ ).
49. *Aca. espinositus* n. sp. (24  $\mu$ , sculptural elements included).

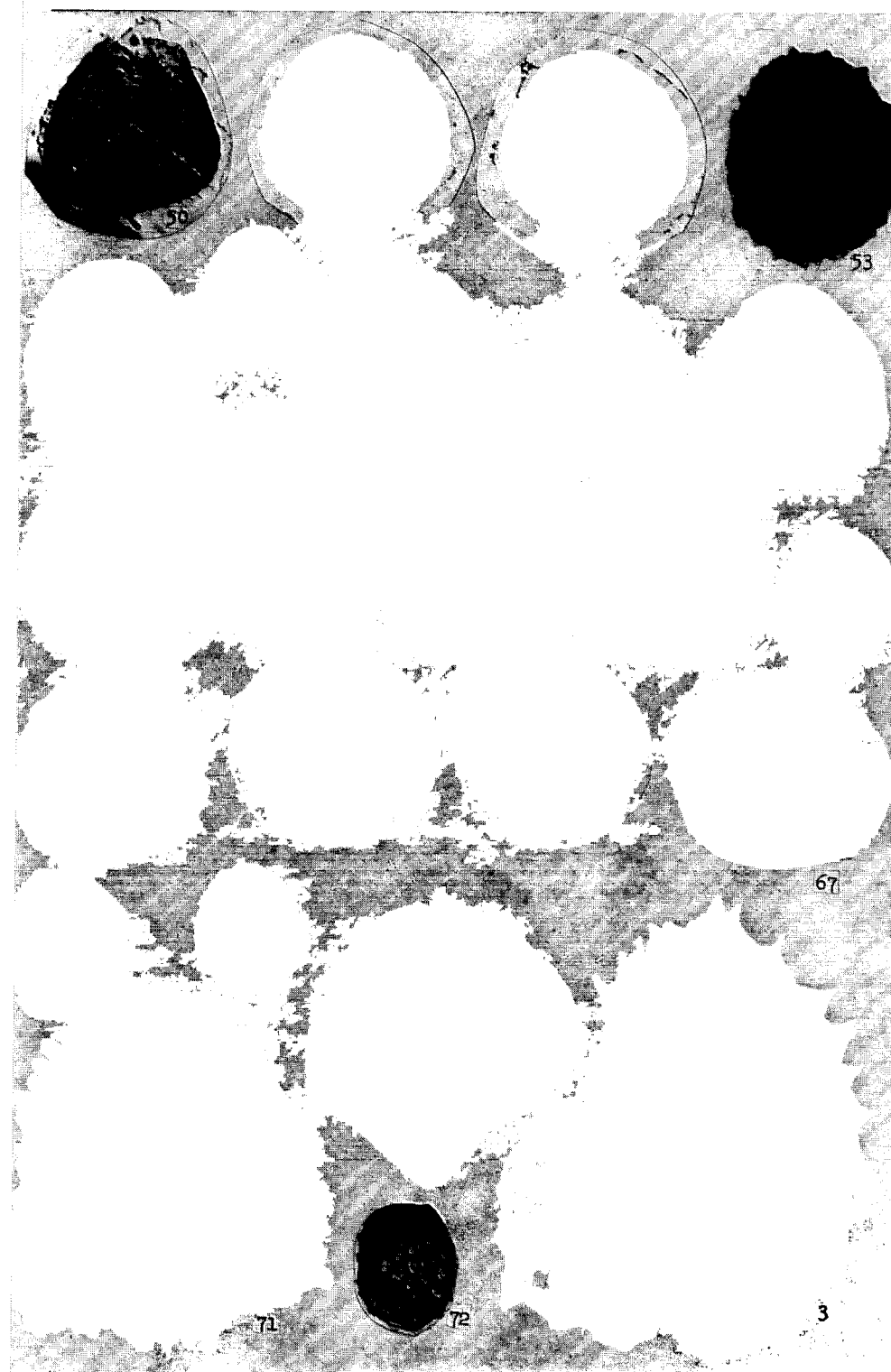






## PLATE III

50. *Anapiculatisporites matagallegus* n. sp. (30  $\mu$ ).
51. *Anap. carminae* n. sp. (51  $\mu$ ).
52. *Anap. carminae* n. sp. (51  $\mu$ ).
53. *Anap. rosendae* n. sp. (59  $\mu$ ).
54. *Cyclogranisporites finum* n. sp. (30  $\mu$ ).
55. *Cycl. rosendae* n. sp. (18  $\mu$ ).
56. *Emphanisporites* cf. *obscurus* McGregor (33  $\mu$ ), Lud'ovian.
57. *E. rotatus* McGregor (28  $\mu$ ), Siegenian-L. Emsian.
58. *E. rotatus* McGregor (32  $\mu$ ) Siegenian-L. Emsian.
59. *E. mcgregorii* n. sp. (32  $\mu$ ).
60. *E. erraticus* (Eisenack) (35  $\mu$ ).
61. *E. erraticus* (Eisenack) (31  $\mu$ ).
62. *E. rotatus* McGregor (33  $\mu$ ), Couvinian-L. Givetian.
63. *E. annulatus* McGregor (24  $\mu$ ).
64. *Perotriletes gordianus* n. sp. (34  $\mu$ ).
65. *Camptotriletes araneosus* n. sp. (29  $\mu$ ).
65. *Camptotriletes araneosus* n. sp. (29  $\mu$ ).
67. *Cycl. zumbonus* n. sp.
68. *Acanthotriletes* cf. *tenuispinosus* Naumova (20  $\mu$ ).
69. *Dictyotriletes gorgoneus* n. sp. (20  $\mu$ ).
70. *Hymenozonotriletes narancae* n. sp. (111  $\mu$ ).
71. *H. cf. domenicus* Naumova (140  $\mu$ ).
72. *D. gorgoneus* n. sp. (21  $\mu$ ).
73. *H. argutus* II Naumova (190  $\mu$ ).



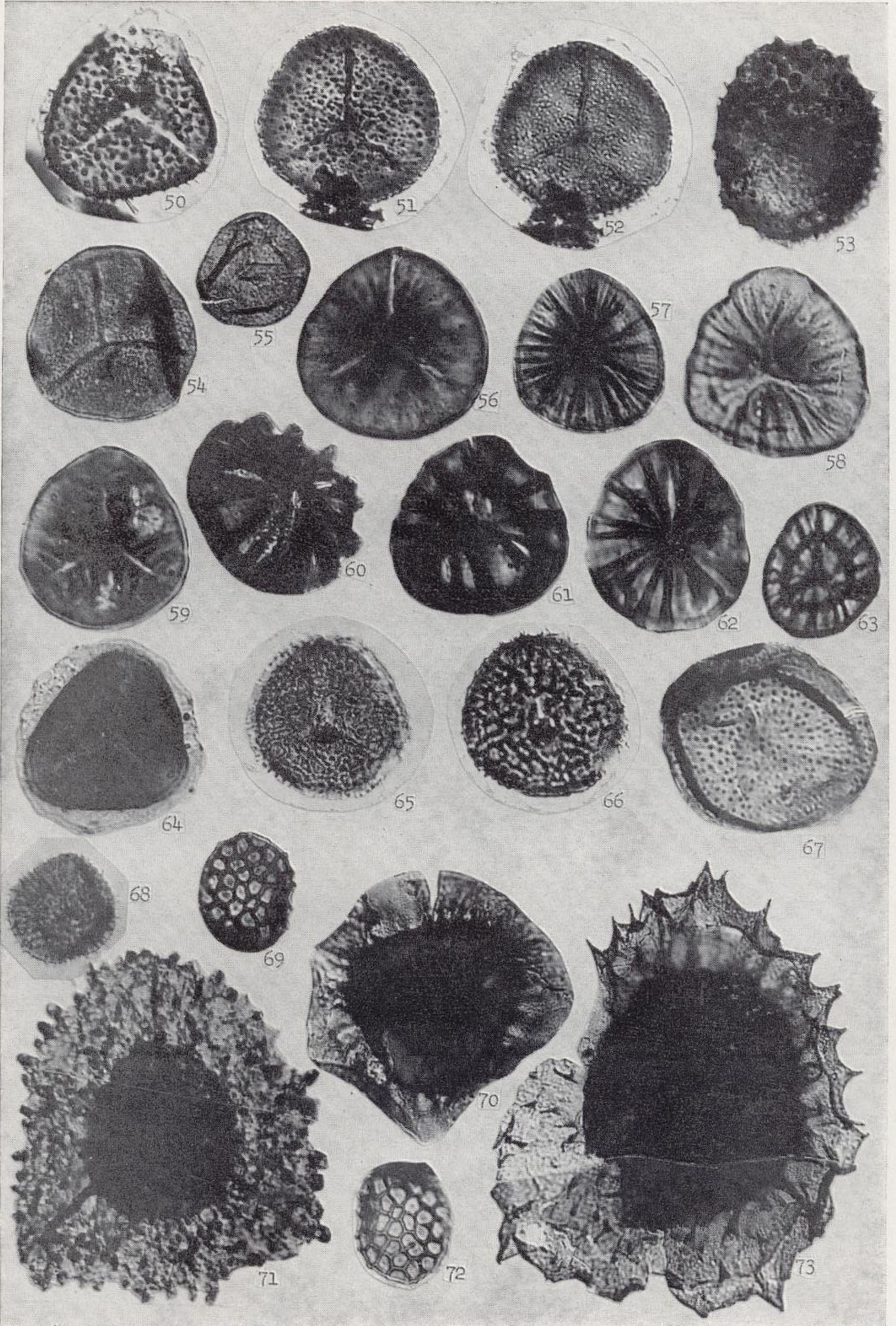


PLATE IV

- 74. *Hymenozonotriletes argutus* I Naumova (99  $\mu$ ).
- 75. *Plectochitina carminae* Cramer (length of body, 130  $\mu$ ).
- 76. *H. prosperus* n. sp. (62  $\mu$ ).
- 77. *H. cf. deliquescens?* Naumova (approximately 110  $\mu$ ).
- 78. *H. aterciopeladus* n. sp. (diameter of spore body, 57  $\times$  34  $\mu$ ).
- 79. *H. butifarrus* n. sp. (62  $\mu$ ).
- 80. *Retialetes legionis* Cramer (48  $\mu$ ).
- 81. *H. prosperus* n. sp. (50  $\mu$ ).
- 82. Detail of processus tissue of *P. carminae* Cramer.
- 83. ? *Hoegisphaera astrica* n. sp. (61  $\mu$ ).
- 84. *Hoeg. tortugoides* Cramer (50  $\mu$ ).

