

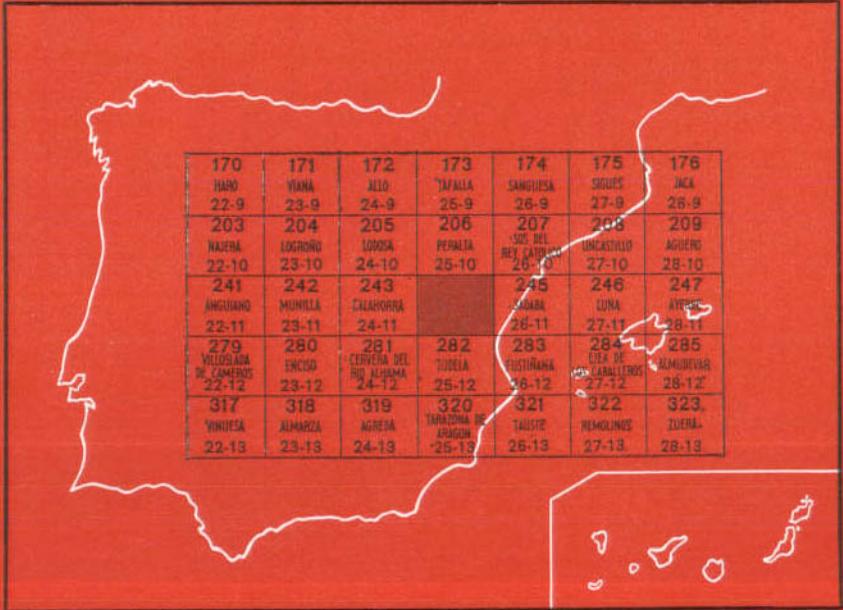


MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

E. 1:50.000

ALFARO

Segunda serie - Primera edición



170 HARO 22-9	171 VIANA 23-9	172 ALLO 24-9	173 TAJALLA 25-9	174 SANGUESA 26-9	175 SIQUES 27-9	176 JACA 28-9
203 NAJERA 22-10	204 LOGROÑO 23-10	205 LODOÑA 24-10	206 PERALTA 25-10	207 SOS DEL REY CALABO 26-10	208 UNKASTIUB 27-10	209 AGÜERO 28-10
241 ANGUIANO 22-11	242 MUNILLA 23-11	243 CALAHORRA 24-11		245 SABINA 26-11	246 LUNA 27-11	247 AYERBE 28-11
279 VILLASASA DE CAMEROS 22-12	280 ENCISO 23-12	281 CERVERA DEL RIO ALHAMA 24-12	282 ZUBELA 25-12	283 TOSTIÑANA 26-12	284 ORIA DE LOS CARALLOS 27-12	285 ALMUDÉVAR 28-12
317 VINUEZA 22-13	318 ALMARGA 23-13	319 AGREDA 24-13	320 TAMAJÓN DE TRAMONTE 25-13	321 TAUSTE 26-13	322 REMOLINES 27-13	323 ZUERA 28-13

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA

E. 1:50.000

ALFARO

Segunda serie - Primera edición

**SERVICIO DE PUBLICACIONES
MINISTERIO DE INDUSTRIA**

La presente Hoja y Memoria han sido realizadas por la Diputación Foral de Navarra, bajo normas, dirección y supervisión del IGME.

La cartografía del Mapa de esta Hoja la han llevado a cabo Carlos Beroiz Pi y Jaime Solé Sedó, Licenciados en Ciencias Geológicas. La redacción de la presente Memoria la ha realizado Jaime Solé Sedó. Dirección técnica: Joaquín del Valle de Lersundi, Doctor Ingeniero de Minas.

El estudio micropaleontológico ha corrido a cargo del Doctor en Ciencias Geológicas don José Ramírez del Pozo.

La sedimentología ha sido estudiada en el Laboratorio de ENADIMSA.

Los análisis químicos se han realizado en el Laboratorio Químico de la Diputación Foral de Navarra.

INFORMACION COMPLEMENTARIA

Se pone en conocimiento del lector que en el Instituto Geológico y Minero de España existe para su consulta una documentación complementaria de esta Hoja y Memoria, constituida fundamentalmente por:

- Muestras y sus correspondientes preparaciones.
- Informes petrográficos, paleontológicos, etc., de dichas muestras.
- Columnas estratigráficas de detalle con estudios sedimentológicos.
- Fichas bibliográficas, fotografías y demás información varia.

Servicio de Publicaciones - Claudio Coello, 44 - Madrid-1

Depósito Legal: M - 9.105 - 1977

Imprenta IDEAL - Chile, 27 - Teléf. 259 57 55 - Madrid-16

1 INTRODUCCION

La Hoja de Alfaro está situada en el Valle del Ebro, justo en la zona donde el río recibe las aguas de sus afluentes Arga y Aragón.

Los materiales que están representados en esta Hoja pertenecen todos al Terciario Continental o al Cuaternario, que presenta aquí un gran desarrollo.

Los depósitos del Terciario Continental son fundamentalmente yesos, arcillas y en menor proporción areniscas y calizas, y en la escala cronológica van desde el Stampiense hasta el Burdigaliense.

Estos materiales están afectados por un sistema de pliegues de dirección ONO.-ESE., que tienen origen halocinético.

También los materiales cuaternarios están afectados por los movimientos de los yesos, produciendo unas deformaciones muy características.

2 ESTRATIGRAFIA

2.1 TERCIARIO

El estudio de esta Hoja, como el de todas las de esta zona pertenecientes al Terciario Continental del Valle del Ebro, presenta una serie de problemas en cuanto a su realización que vamos a intentar presentar.

El primer problema que se presenta es cronoestratigráfico, de datación de los distintos materiales. Hasta hace muy pocos años, en esta zona se han utilizado solamente los yacimientos de vertebrados fósiles para la da-

tación de estas facies continentales. Estos yacimientos son muy pocos y están relativamente alejados de la zona: Tudela I, Tudela II, en la vecina Hoja de Tudela (282); Monteagudo, en la de Tarazona (320), y Desojo, en la de Viana (171), este último muy poco determinativo.

Respecto a otro tipo de yacimientos macropaleontológicos podemos citar la existencia de gasterópodos en niveles calcáreos del Mioceno, que en algunos sitios pueden llegar a ser determinantes, aunque hasta ahora los datos de que disponemos no se ajustan a las otras determinaciones. Concretamente en esta Hoja, aunque hemos observado algunos restos en la zona de Media Cuenca, no hemos podido recoger material clasificable.

Vista la pobreza macropaleontológica, se ha intentado un estudio micro-paleontológico, basado en oogonios de charáceas y en ostrácodos. Este estudio lo ha realizado el doctor J. Ramírez del Pozo con suerte muy diversa, según las facies y los diferentes perfiles estudiados.

Teniendo como base el estudio, no sólo de esta Hoja, sino de las quince de Terciario Continental que entran en la provincia de Navarra, podemos deducir las dificultades con que tropieza este estudio a la hora de dar una cronoestratigrafía válida.

Estas dificultades son:

- a) Una elevada proporción de muestras azoicas, que en algunos terrenos (alternancia de yesos y arcillas) llega al 75 por 100 o más.
- b) Elevada proporción de muestras con fósiles resedimentados, no solamente procedentes de terrenos más antiguos de origen marino, sino también de niveles anteriores del Terciario Continental.
- c) Falta de precisión, hasta el momento, en cuanto al conocimiento de la dispersión vertical de los microorganismos y en especial de su variación con las distintas facies.

Como consecuencia de las dificultades en la datación, se ha optado por realizar una cartografía desde el punto de vista litoestratigráfico, para después adaptar este Mapa, lo mejor posible, a una escala cronoestratigráfica sensible de ser modificada en cuanto los métodos de datación alcancen una mayor precisión.

Desde el punto de vista litológico, uno de los problemas que se han presentado ha sido el de los cambios de facies.

Los materiales depositados en esta zona durante el Oligoceno y el Mioceno están continuamente cambiando de facies entre sí, lo cual dificulta extraordinariamente las correlaciones tanto en el campo como sobre fotografía aérea.

Otro problema es el de la disposición diácrona de las facies y los tramos litológicos. Efectivamente, esto fue ya comprobado por RIBA (1964) en los yesos de Desojo y ha sido comprobado por nosotros (SOLE SEDO

(1972 a), CARBAYO et al. (1973 a y b), en Hojas vecinas. En esta Hoja, aunque no hemos comprobado palpablemente, hay una serie de indicios que hacen suponer que también ocurren fenómenos similares (aunque de menor escala), como veremos más adelante.

Esto hace que al cartografiar un tramo de éstos y tomarlo como un nivel isócrono en el Mapa, podemos cometer errores de correlación a la vez que de datación.

Por todo lo expuesto anteriormente, se comprende con qué reservas nos atrevemos a separar unos tramos cartográficos y sobre todo asignarles una edad. Para ello nos hemos apoyado tanto en la fotogeología como en el estudio de campo, en el estudio micropaleontológico y en nuestro conocimiento regional de distribución de las facies del Terciario Continental.

2.1.1 STAMPIENSE

2.1.1.1 Formación Yesos de Falces. Unidad $T_y^A_{c32}$

(Yesos de Falces, Yesos de Desojo —RIBA, 1964, y CRUSA FONT et al., 1966—)

Esta es la unidad más antigua de las que se presentan en la Hoja, y aflora en los núcleos anticlinales de Falces y Arguedas.

La potencia total de este tramo no la conocemos porque no aflora en ningún sitio la base del mismo, y además los materiales están totalmente replegados debido al carácter diapírico de los pliegues.

Fundamentalmente este tramo está formado por finas capas de yeso de escala centimétrica, con juntas arcillosas de tonalidades pardo-amarillentas, lo que le da un aspecto bastante terroso. Estas características son, como veremos, muy similares a las del tramo inmediatamente superior y es precisamente por las características tectónicas que se pueden separar los dos tramos.

Intercalados entre los yesos terrosos, se encuentran capas de yeso de escala decimétrica, de textura sacaroidea o alabastrina y de color blanco.

De forma esporádica se intercalan capas centimétricas de caliza margosa y de arenisca calcárea dentro de la serie yesífera.

Las muestras recogidas en este tramo para el estudio de micropaleontología han resultado ser todas azoicas; sin embargo, por su posición estratigráfica creemos lógico incluirlo en el Oligoceno Medio o Stampiense.

2.1.1.2 Formación de Cárcar

Esta formación comprende las dos unidades siguientes:

2.1.1.2.1 Unidad $T_c^A_{32}$

Esta unidad aflora en los dos flancos del anticlinal de Falces, entre el río Aragón y el barranco de Valhondo, y en el flanco sur del de Arguedas,

al oeste de Milagro. En la parte central de la Hoja y entre las terrazas hay algunos afloramientos.

Es difícil saber la potencia total del tramo, porque la base está en contacto mecánico con la unidad anterior, pero en la zona de Marcilla se puede medir un mínimo de 700 m.

Desde el punto de vista litológico, este tramo es, en líneas generales, muy parecido al anterior, aunque está mucho menos replegado y fotogeológicamente se pueden seguir mejor las líneas de capa.

Consta de una alternancia de capas de yeso y arcilla de escala milimétrica o centimétrica, de tonalidades amarillentas y grises, con la presencia de niveles de yeso decimétricos de color blanco, textura sacaroidea y que presentan a veces disyunción bolar.

Aisladamente se intercalan capas de unos pocos centímetros de calizas puras de grano fino, con algunos fósiles (ostrácodos y charáceas) indeterminables en sección, y areniscas de cemento calcáreo, la mayoría de las veces bastante yesíferas. La proporción de cuarzo en dichas areniscas calcáreas raramente sobrepasa el 20 por 100.

Hacia el Este todo el tramo se va haciendo más arcilloso, como se puede observar en los cortes de Valhondo y Las Fuentes, aunque éstos sólo muestran la parte más alta del mismo, a la vez que van apareciendo mayor número de capas de caliza y especialmente de arenisca calcárea, a veces algo arcillosa. Las capas de yeso se hacen mucho más aisladas, a la vez que disminuyen en su espesor notablemente.

Ya hemos hecho constar anteriormente la semejanza litológica de esta unidad y los Yesos de Falces. La separación cartográfica de los dos tramos se puede ver bien donde los valles fluviales han erosionado los materiales dejando buenos afloramientos verticales. En estos casos se puede observar el contacto mecánico entre las dos series. Una vez fijados estos contactos en dichos puntos, se pueden estirar fotogeológicamente, debido a que las dos series están afectadas por la tectónica con distinta intensidad y en la unidad más moderna se pueden seguir las capas mucho mejor.

Todas las muestras recogidas en esta unidad en los cortes de Longares, El Montico y Masadas han resultado ser azoicas, a excepción de las de El Montico, que contienen fauna resedimentada del Terciario Marino.

De todas maneras no creemos equivocarnos al atribuir dicha unidad al Stampiense.

2.1.1.2.2 *Unidad Ta_{cc2}^{\wedge}*

Esta unidad aflora en los dos flancos del Anticlinal de Falces, al este del río Aragón, y esporádicamente en el de Arguedas, concretamente al sur de Funes y al oeste de la carretera general de Pamplona a Zaragoza.

Es un tramo básicamente arcilloso, que da una depresión morfológica entre dos tramos yesíferos.

La potencia de este tramo en la parte norte (perfil de Longares) es de unos 450 m.; sin embargo, este espesor es muy variable, decreciendo hacia el sur de la Hoja, a la vez que se van intercalando niveles de yeso.

Es difícil observar si la reducción de la potencia es debida a un cambio de facies con los tramos inmediatamente superior e inferior, o si simplemente se produce una menor deposición. Posiblemente en este caso se produzcan las dos cosas.

Litológicamente, este tramo se caracteriza por unas arcillas bastante calcáreas, de color predominante pardo amarillento, a veces gris, rojo o blanquecino, con intercalaciones de capas finas (normalmente inferiores a los 20 cm. de espesor) de calizas de color gris bastante puras, bioturbadas, con presencia de ostrácodos y oogonios de charáceas, que no pueden clasificarse en sección, y areniscas de color gris o pardas de grano fino a medio, con escaso porcentaje de cuarzo que no suele ser superior al 25 por 100 y con matriz y cemento calcáreo, a veces arcilloso. Algunas de estas areniscas representan paleocanales de poco espesor, y las otras suelen presentar óndulas de corriente, algunas del tipo «climbing».

Si comparamos el corte de Longares con el de Los Portillos, situado en el mismo flanco norte del Anticlinal de Falces, aunque algo más al Oeste, podemos observar una mayor proporción en el último de capas de areniscas en relación con las de caliza.

En el flanco sur, como podemos ver en los cortes de El Montico y Madasas, se intercalan niveles de yeso entre las arcillas.

Hacia el Este, en el barranco de Valhondo, la sucesión es muy parecida a la del corte de Longares, y se caracteriza como en la parte norte del anticlinal, por la ausencia de niveles yesíferos.

Este tramo lo datamos como Stampiense alto, aunque las dataciones no son claras en todos los cortes. En el flanco norte del anticlinal queda bien definido por la asociación de:

Chara cf. microcera, GRAMB. y PAUL;
Rhabdochara cf. major, GRAMB. y PAUL;
Psilochara acuta, GRAMB. y PAUL, y
Limnocythere sp.

Sin embargo, la datación obtenida en el flanco sur es mucho más dudosa.

En todo caso creemos que es un tramo claramente Stampiense Superior, aunque quizá pueda subir algo hasta el Chatiense-Aquitaniense Inferior.

2.1.2 CHATIENSE-AQUITANIENSE INFERIOR

2.1.2.1 Formación de Lerín. Unidades T_{c33-11}^{A-Ba} y Ta_{c33-11}^{A-Ba}

La Formación de Lerín aflora en los dos flancos del Anticlinal de Falces, desde el río Aragón hasta el sureste de Rada, en el Norte, y hasta el límite oriental de la Hoja, en el Sur, y en los flancos del Anticlinal de Arguedas.

La potencia de esta formación es, como la de la mayoría de las unidades de la Hoja, variable, puesto que mientras en la parte más septentrional hemos medido algo más de 600 (corte de Longares) ó 550 m. (corte de Los Portillos), más al Sur, en el otro flanco del anticlinal, no llega a los 400 m. (corte de Masadas).

Desde el punto de vista de los materiales, la Formación de Lerín es básicamente yesífera, pero en la parte norte constituye una alternancia de tramos yesíferos y arcillosos.

Aunque los estudiamos conjuntamente, se han cartografiado como dos tramos litológicos distintos: el yesífero T_{c33-11}^{A-Ba} y el arcilloso Ta_{c33-11}^{A-Ba} .

Los dos tramos cambian de facies entre sí, como se puede observar en el Anticlinal de Falces. En el flanco norte se pueden observar cuatro tramos yesíferos separados por tres niveles arcillosos bien definidos, pero mientras al Oeste los yesos son predominantes, hacia el Este van pasando a las arcillas, de manera que al suroeste de Rada los yesos quedan reducidos a unas capas muy finas.

Sin embargo, en el flanco sur del anticlinal todo el tramo es más yesífero y solamente se puede separar, a efectos cartográficos, un nivel arcilloso. Todavía más al Sur, en los dos flancos del anticlinal de Arguedas, no se puede separar ningún tramo arcilloso.

Los yesos son muy similares a los de las unidades inferiores, se disponen en capas milimétricas o centimétricas con juntas arcillosas o limosas, lo que le da al conjunto un aspecto terroso de color pardo-amarillento. Entre éstos se intercalan capas de escala decimétrica, de color blanco y aspecto sacaróideo. Hay que hacer notar la presencia de algunos niveles de halita en este tramo.

Aisladamente entre el yeso y la arcilla se encuentran niveles finos de arenisca y caliza.

Las calizas pueden ser de dos tipos, las más abundantes son de color gris, de aspecto muchas veces tobáceo, que suelen presentar disyunción bolar por efectos de la meteorización; están bioturbadas y en sección suelen presentar bastantes microorganismos, ostrácodos y oogonios de charáceas; pero hay otro tipo menos abundante que se presenta en capas inferiores de 5 cm. de espesor, de color blanco amarillento, de grano muy fino y aspecto laminado que en ningún caso presenta restos fósiles; sólo una pe-

queña proporción de arcilla. Estas calizas se encuentran siempre interestratificadas con los yesos.

Las areniscas suelen tener un espesor bastante variable, puesto que, aunque normalmente no sobrepasan los 20 cm. de espesor, esporádicamente hay pequeños paleocanales de mayor potencia. Son de color gris y pardo de grano medio a fino, de matriz y cemento calcáreo y esporádicamente yesífero, con proporciones de cuarzo no muy elevadas, normalmente entre 15 y 30 por 100.

Las muestras recogidas en esta formación para el estudio micropaleontológico han resultado ser un fracaso, puesto que tanto en el corte de Longares como en los de El Montico y Masadas, las aisladas recogidas en la zona de Funes han resultado azoicas o bien tenían solamente fauna reesedimentada del Terciario Marino.

En toda la zona, esta unidad ha resultado muy pobre desde el punto de vista micropaleontológico, y hay que irse hasta los cortes hechos en la vecina Hoja de Lodosa (205) para poder disponer de datos. Allí la datación se ha podido efectuar a partir de una asociación de:

Gyrogona gr. medicaginula (LAMARCK),
Chara cf. brongniarti (BRAUN) y
Elkocythereis aff. bramletti.

La parte más alta de este tramo corresponde a los Yesos de Los Arcos o también al nivel R. de RIBA (1964) y CRUSAFONT et al. (1966), que dichos autores utilizaban para la separación del Oligoceno y el Mioceno.

En la vecina Hoja de Tudela se puede comprobar que el nivel calcáreo correspondiente al yacimiento Tudela I (CRUSAFONT et al., 1966), Aquitaniense, está 130 m. por encima de la última capa de yesos del tramo que actualmente estamos describiendo.

Con todo esto creemos justificado atribuir esta formación al Chatiense-Aquitaniense Inferior.

2.1.3 STAMPIENSE-BURDIGALIENSE

2.1.3.1 Unidad T_{c32-12}^{A-Ba}

En esta Hoja y por motivos litológicos y paleogeográficos, hemos optado por diferenciar esta unidad, que se ubica en la esquina noroccidental de la Hoja.

Aunque el perfil de las Fuentes recoge solamente 450 m. de serie, la potencia total supera los 1.000 m., puesto que representa el paso lateral hacia el Este de las Formaciones de Tudela, Lerín y parte de la de Carcar.

Litológicamente se caracteriza por ser una unidad arcillosa, por la desaparición casi total de los yesos, y el aumento de una influencia detrítica procedente del Noreste, que hace aumentar la presencia de areniscas.

Aunque hay todavía capas de caliza aisladas, van desapareciendo hacia el Este y Noreste. Son calizas de color gris, algunas bastante limosas, con presencia de microfósiles y bioturbados.

Las areniscas pueden ser de dos tipos, unas representadas por pequeños paleocanales, de color pardo-gris y tamaño de grano fino a medio y con un tanto por ciento de cuarzo de alrededor del 30 por 100; el cemento es normalmente calcáreo, así como la mayoría de los fragmentos de rocas.

Otro tipo lo constituyen las areniscas de grano fino, que no suelen sobrepasar los 30 cm. de espesor, con óndulas de corriente, normalmente del tipo «climbing», que presentan en contraste con las anteriores una mayor continuidad lateral.

Este tramo, por ser cambio de facies de las Formaciones de Cárcar, Lerín y Tudela, queda datado como Stampiense-Burdigaliense.

2.1.4 AQUITANIENSE SUPERIOR-VINDOBONIENSE

2.1.4.1 Formación Alfaro. Unidad T_{c11}^{Ba-Bc}

La Formación Alfaro queda, en la presente Hoja, circunscrita a la parte suroccidental de la misma, al sur del río Ebro.

La potencia de dicha formación no se puede saber porque no tenemos en ningún caso el techo de la misma; sin embargo, en el perfil de Alfaro se han medido hasta 50 m., y en realidad afloran algunos más.

Las características generales de esta Unidad son: el color rojo y la predominancia de limos y arcillas con intercalaciones de areniscas.

Las areniscas, a diferencia de las de las otras unidades estudiadas, se caracterizan por una mayor proporción de granos de cuarzo, que en algunas muestras ha llegado a ser del 60 por 100; el resto de los granos suele repartirse entre fragmentos de calizas, de rocas metamórficas y feldespatos, siendo la matriz calcárea y ferruginosa. Están muy poco cementadas y se deshacen fácilmente.

Su posición estratigráfica se puede observar en la zona de Llasa Mata, al sur de la carretera Zaragoza-Logroño, donde se sitúa encima de las últimas capas de yeso de la Formación de Lerín.

Al norte del Ebro la Formación Alfaro no aparece, cambiando de facies a la Formación Tudela, que veremos a continuación.

Como en muchas de las anteriores unidades, la fauna y flora se han mostrado muy poco abundantes en las muestras que se han recogido, pero podemos decir que por la presencia de:

Chara 3,

Chara 7 y

Cypridopsis kinkelini, LIENENKL,

este tramo debe estar incluido en el Aquitaniense Superior-Burdigaliense.

2.1.4.2 Formación Tudela. Unidad ^{Ba-Bc} Tc_{c11}

Esta formación está representada en el Mapa en la mitad oriental de la Hoja, precisamente en los sinclinales de Miranda de Arga, al Norte; de Peralta, en el centro, y al Sur, en la zona de Arguedas.

Esta unidad, lo mismo que la anterior, está situada encima de la Formación de Lerín y es fundamentalmente arcillosa y carbonatada.

La potencia total no se puede saber por no estar la sucesión completa; sin embargo, en el Sinclinal de Peralta se han medido algo más de 400 m. en el perfil de Media Cuenca, en el flanco sur. En el norte, en el perfil de Eguaras, el espesor no llega a los 300 m.

Litológicamente es una formación arcillosa y calcárea, con gran predominio de las arcillas, que en cualquier caso son siempre algo calcáreas, de colores predominantes pardos, rojos y blanquecinos.

Las capas de caliza se van haciendo más potentes hacia arriba, pudiendo alcanzar los dos metros de espesor, aunque lo normal es que varíen entre 10 y 50 cm.

A simple vista, en el campo, se pueden diferenciar dos tipos distintos de calizas; unas más puras y compactas, de color gris blanquecino, en las que se observa bioturbación y acción kárstica.

Otras tienen color gris más oscuro, son más arcillosas y suelen erosionarse y meteorizarse, dando una especie de disyunción bolar. Se puede observar la presencia de restos de macrofauna, bastante deficiente para su clasificación, especialmente gasterópodos.

En sección, los dos tipos de caliza presentan microorganismos, charáceas y ostrácodos.

También se encuentran intercaladas entre las arcillas algunas capas aisladas de areniscas cementadas, especialmente concentradas en la parte basal de la unidad.

Son areniscas muy calcáreas, debido a que tanto el cemento como la mayoría de los fragmentos de roca son calizos. La proporción de granos de cuarzo suele oscilar entre el 30 por 100.

Aunque en la presente Hoja no hemos recogido macrofauna para su clasificación, en la vecina Hoja de Tudela se han recogido ejemplares de los géneros *Limnaea*, *Planorbis*, *Hydrobia*, *Melanopsis*, *Succinea*, etc., y en esta Hoja se han clasificado *Planorbis* e *Hydrobia* en los levigados recogidos para micro.

En cuanto al estudio micropaleontológico, este tramo ha resultado ser el que más abundancia de microorganismos presenta y quizá el que más exactamente puede ser datado.

Las muestras han dado la siguiente asociación:

Elkocythereis aff. pterigoventrata, DICKINS y SWAIN;
Candona aff. chassei, DICKINS y SWAIN;
Cypridopsis cf. kinkelini, LIENENKL;
Chara 3,
Chara 7,
Planorbis e
Hydrobia,

que parece representar claramente el Aquitaniense Superior-Burdigaliense, aunque es posible que la parte más alta pueda corresponder al Vindoboniense, especialmente las calizas que forman la mesa de Media Cuenca.

Esta formación, en las Hojas contiguas de Peralta y Lodos, al Norte y Noroeste, está en contacto discordante con la inmediatamente inferior (Formación de Lerín).

Hacia el Sureste, las capas se ponen totalmente paralelas y es muy difícil decir si hay discordancia o no, aunque hay un cambio de buzamiento notable, como se puede observar en la zona del Cabezo de la Muga, al este de la carretera Pamplona-Tudela, donde hay un abanico de capas con cambio de buzamiento en poco espacio.

2.2 CUATERNARIO

El Cuaternario se halla muy bien representado en la Hoja de Alfaro, puesto que supera el 50 por 100 de la superficie total de la misma.

El río Ebro, que la cruza, así como sus afluentes el Aragón, el Arga y el Alhama, han desarrollado un sistema de terrazas antiguas y una llanura aluvial actual muy desarrollada.

En la llanura aluvial o terraza de inundación se ha hecho una serie de diferenciaciones a partir de la fotografía aérea, como son los meandros abandonados y las barras de acreción lateral, que son funcionales en los meandros actuales de los ríos.

La diferenciación que se ha hecho entre Holoceno y Pleistoceno no tiene ninguna base de datación, es simplemente un criterio subjetivo para la realización de la leyenda.

2.2.1 PLEISTOCENO

2.2.1.1 Terraza. Nivel Q_1^{T2}

Este nivel corresponde a la terraza suspendida más alta del río Aragón, ya citado por FLORISTAN (1951). Se encuentra a una altura sobre el nivel actual del río de 120-130 m., y se sitúa en la esquina nororiental de la Hoja, formando la meseta de El Plano.

Aunque hacia el Oeste continúa el mismo nivel de terraza, a ésta la hemos incluido en otro apartado, debido a las deformaciones que la afectan.

Básicamente está constituida por gravas y conglomerados, con algunos lentejones de limos y arcillas que suelen ser ricos en materia orgánica.

Los cantes presentan, en algunos puntos, una clara imbricación y son heterogéneos, con predominio de las calizas secundarias y terciarias, aunque también hay areniscas del Terciario Continental y en menor proporción cantes del Permotrías.

Cabe destacar el desarrollo de una costra calcárea (caliche), a veces superior al metro de espesor, en la parte alta de los depósitos, que en total pueden tener más de 10 m.

2.2.1.2 Terraza. Nivel Q_1^{T1}

Este nivel, que se encuentra a 70-80 m. sobre el nivel del río, está presente solamente en la margen derecha del río Ebro, en la zona de Rincón de Soto y Alfaro.

Desde el punto de vista litológico, este nivel de terraza es muy semejante al anterior, formado por gravas, a veces consolidadas, constituyendo verdaderos conglomerados y algunos lentejones de arenas y limos.

2.2.1.3 Nivel Q_1^{Td}

En este nivel incluimos una serie de terrazas de los niveles superiores a la de Cadreita (Q_1^{T3}), cuya característica principal es la de estar fuertemente deformadas debido a la tectónica diapírica que afecta a las formaciones yesíferas subyacentes, como ya observaron diversos autores anteriormente, SOLE SABARIS (1953), RIBA y BOMER (1957), RIBA (1964)...

El movimiento relativo producido por dichas deformaciones es muy importante, puesto que al noreste de Arguedas podemos observar, en materiales correspondientes a la terraza más alta, una diferencia de altura con respecto al nivel del río de 230 m., mientras que otros puntos de dicha terraza están solamente a 130 m.

Estas deformaciones siguen las estructuras anticlinales de Falces y de Arguedas, y además de presentar un abombamiento general, muestran unas ondulaciones debidas seguramente a que hay tramos más yesíferos que otros.

Litológicamente estas terrazas son iguales a las de los dos niveles descritos anteriormente.

2.2.1.4 Terraza. Nivel Q_1^{T3}

Este nivel se conoce normalmente por Terraza de Cadreita (RIBA, 1964), y está entre 10 y 20 m. sobre el nivel del río. Está muy bien desarrollada

entre Villafranca y Cadrete y también al oeste de Milagro. En la margen derecha del Ebro sólo hay unos pequeños retazos al SE. de Rincón de Soto y en la zona de influencia del río Alhama.

En la parte sur esta terraza no está prácticamente deformada; sin embargo, al norte del Ebro son muy claras unas deformaciones longitudinales al este de Villafranca (SOLE, 1953; RIBA y BOMER, 1957, y RIBA, 1964).

RIBA (1964) las describe como «Deformaciones encima de capas yesíferas, alternantes con margas, fuertemente levantadas y recubiertas por la terraza de Cadrete», y después «El yeso de las capas oligocenas, al ascender paralelamente a la capa que lo contiene, deforma la terraza, produciéndole una deformación anticinal de eje parelelo a la capa, y de flancos con buzamientos de hasta 15 grados».

Litológicamente esta terraza está compuesta principalmente de gravas, con un nivel discontinuo de limos en la parte alta.

En las zonas donde la terraza se apoya contra los yesos subyacentes son muy abundantes los limos yesíferos, como al noroeste de Valtierra (RIBA, 1964).

2.2.1.5 **Glacis. Q₁^g**

Los glacis se encuentran muy repartidos en todo el marco de la Hoja, y se pueden formar a expensas tanto del Terciario Continental como de las terrazas antiguas.

Normalmente forman depósitos poco potentes, que no suelen sobrepasar el metro, pero que esporádicamente pueden tener mayor desarrollo.

En cuanto a su composición, los glacis varían mucho, según la roca a expensas de la cual se desarrollan. Así, hay algunos formados por gravas bien rodadas, englobadas en arcillas y limos, que son los formados a partir de las terrazas antiguas.

Los glacis que se desarrollan a partir de los yesos terciarios suelen estar constituidos por limos yesíferos que tienen una tonalidad blanca o amarillenta, entre los que se incluyen cantos de las capas de yeso más gruesas.

Algunos de los glacis se encuentran perfectamente ligados a las terrazas, y a veces es difícil hacer la separación cartográfica de los dos.

2.2.2 HOLOCENO

2.2.2.1 **Terraza. Nivel Q₂¹⁴**

Este es un nivel de Terraza del Ebro muy bajo, que está entre 5 y 10 m. sobre el nivel del río y que está especialmente bien desarrollada en la margen derecha del río, ya que en la parte izquierda solamente se puede observar al norte de Rincón de Soto.

Está constituido principalmente por gravas en la base y un nivel de limos en la parte superior que no suele aflorar bien; también puede haber lentejones de arena.

2.2.2.2 Llanura aluvial. Q_2^A

La llanura aluvial tiene un gran desarrollo, no sólo debido al río Ebro, sino también al Arga y al Aragón, y a una escala mucho más reducida, al Alhama.

Los tres primeros ríos son meandriformes y evolucionan con gran velocidad, abandonando meandros y creando nuevos cauces, así como acentuando la curvatura de los mismos, lo cual produce problemas a la hora de la cartografía, puesto que hay muchos cambios entre los Mapas topográficos que se han venido realizando. Concretamente nosotros hemos podido observar ya un desfase notorio entre la cartografía que nos sirve de base y la fotografía aérea utilizada (vuelo del año 1967), e incluso entre ésta y las observaciones directas realizadas por nosotros al hacer el estudio.

En general todos los ríos que desembocan en el Ebro por el Norte en esta zona son de tipo meandriforme, mientras que los que lo hacen por el Sur son de tipo anastomosado.

Aunque es muy difícil ver los materiales de que está compuesta esta terraza, podemos decir, por resultados de sondeos, que consta principalmente de gravas y limos, aunque hay lentejones de arenas.

2.2.2.3 Relleno de Valle. Q_2^1

Aunque morfológicamente son sedimentos relacionados con la llanura aluvial, los hemos separado por el carácter litológico distinto que poseen.

Estos depósitos los desarrollan los pequeños ríos que circulan por los barrancos de la zona de Las Bardenas, como son el arroyo de Las Limas, al Sureste, y los de los barrancos de Agua Santa, Valhondo y Las Fuentes.

Son barrancos que drenan zonas arcillosas y yesíferas, y en ellos se han depositado limos y arcillas con niveles esporádicos de gravas procedentes de la erosión de las terrazas antiguas o de los glaciares.

2.2.2.4 Meandros abandonados. Q_2^M

Esta es una diferenciación que hemos hecho a partir de la fotografía aérea, en la que se pueden distinguir las trazas de los antiguos meandros que se hallan dispersos en la llanura aluvial.

Normalmente estos meandros abandonados se rellenan con material fino, más que el resto de la terraza, puesto que es un relleno posterior al abandono del curso fluvial, y se va colmatando con las grandes avenidas que

dejan al meandro como un lago («ox-bow lake») y se sedimentan arcillas, limos y arenas finas.

2.2.2.5 Barras de acreción lateral actual. Q₂^B

En este apartado incluimos los depósitos de meandro («point bar») actuales, donde hay una deposición de acreción lateral por efectos de la mecánica fluvial en estos puntos, y constan fundamentalmente de arenas, gravas y limos.

3 TECTONICA

La Hoja de Alfaro se caracteriza por la presencia de dos ejes anticlinales y dos sinclinales que la cruzan en dirección ONO.-ESE.

De norte a sur podemos citar:

- Sinclinal de Miranda de Arga.
- Anticlinal de Falces.
- Sinclinal de Peralta.
- Anticlinal de Arguedas.

El Sinclinal de Miranda de Arga aparece solamente en la esquina nor-oriental de la Hoja y prácticamente sólo tenemos representado el flanco sur.

El Anticlinal de Falces presenta un núcleo yesífero (F. Falces) muy replegado, cabalgando hacia el Norte sobre los dos tramos de la Formación de Cárcar, como se puede observar muy bien en la orilla izquierda del río Aragón, cerca de Caparroso (PUIGDEFABREGAS, 1971), donde se ve perfectamente el cabalgamiento, en este caso sobre la unidad arcillosa de la Formación de Cárcar.

Esto es también observable en fotografía aérea, en la zona de Longares, donde la unidad inferior (yesífera) de Cárcar va desapareciendo hacia el Oeste debajo del núcleo yesífero desbordante del anticlinal.

En el flanco sur, aunque el contacto entre estas dos formaciones es también mecánico, no hemos observado cabalgamiento; sin embargo, los buzamientos son más fuertes que en el flanco norte, como se puede observar en el Mapa.

El núcleo anticlinal es de tipo diapírico y se caracteriza por un replegamiento muy intenso.

Hacia el Este, y como consecuencia de una desaparición progresiva de los yesos, el anticlinal se va amortiguando y desaparece en la vecina Hoja de Sádaba, al terminar periclinalmente.

El Sinclinal de Peralta es paralelo al anterior, su parte central está rellena

por la Formación de Tudela y hay un ensanchamiento hacia el Sureste, donde tenemos las máximas potencias de la anterior formación, mientras que al Noroeste hay mucho menos espesor y además casi no hay calizas, sino solamente arcillas.

Esto es debido seguramente a que las capas están imbricadas con buzamiento hacia el Sureste, como ocurre en el Sinclinal de Miranda.

El accidente más meridional es el Anticlinal de Arguedas, que es del mismo tipo que el de Falces, aunque en éste no hemos observado ningún cabalgamiento. Como en el anterior, al entrar en la Hoja de Sádaba se amortigua el pliegue.

Para conocer la edad y el funcionamiento de estos pliegues no podemos circunscribirnos al marco de la Hoja, puesto que no tenemos evidencias suficientes para formular ninguna teoría.

Si vemos la disposición de las capas que llenan el Sinclinal de Miranda de Arga, tanto en la Hoja de Peralta como en las de Lodosa y Allo, podemos comprobar que tienen una disposición imbricada a lo largo del eje (PUIGDEFABREGAS, 1971) que implica una translación a lo largo del eje en dirección sureste. Es lo que RIBA (1964) denominó «polaridad axial».

Todo esto hace pensar que el funcionamiento del sinclinal empezó en el Aquitaniense Superior-Burdigaliense, pues afecta a calizas de esta edad en la zona al noreste de Lerín (Hoja de Lodosa), mientras que ya en la Hoja de Peralta llega a afectar a capas de Vindoboniense.

Como ya hemos dicho anteriormente, la Formación de Tudela presenta en otras Hojas discordancia sobre la de Lerín. Aquí es posible que exista también, pero es difícil observarla al ponerse las capas paralelas. En cualquier caso se presenta un abanico de capas con cambio fuerte de buzamiento.

Para explicar el funcionamiento de estos pliegues, RIBA (1964) dio la teoría de anticlinales de origen halocinético, de fondo plano, formados por grandes acumulaciones de yeso. Posteriormente, en 1966, CRUSAFONT, TRUYOLS y RIBA confirmaban dicha opinión aduciendo datos de sísmica.

Estos anticlinales, verdaderas intumescencias yesíferas, se extienden por toda la parte sur de Navarra a lo largo de más de 60 Km. de longitud.

RIBA, en 1964, estableció tres fases tectónicas en esta región. La primera de ellas, considerada como muy importante, atribuida al Oligoceno Superior y que vendría indicada por la discordancia de Barbarín y del Perdón.

La segunda se desarrollaría durante el Aquitaniense y Burdigaliense, con la formación de discordancias progresivas, translación de surcos sedimentarios, discordancias angulares, etc., todo ello producido por los movimientos halocinéticos.

La tercera a finales del Mioceno, con la formación de los cabalgamientos de Sierra de Alaiz y Sierra de Cantabria.

Posteriormente, SOLER y PUIGDEFABREGAS (1970) y ROJAS et al. (1971),

también hablan de la primera de las fases, coincidiendo aproximadamente en su datación.

En este apartado de tectónica queremos hacer también referencia a las deformaciones que afectan al Cuaternario, que ya han sido descritas por otros autores anteriormente, SOLE SABARIS (1953), RIBA y BOMER (1957), RIBA (1964), PUIGDEFABREGAS (1971) y BEROIZ (1972).

Estas deformaciones se producen siempre en los depósitos cuaternarios que se hallan asentados encima de las unidades yesíferas. En general encima de los núcleos anticlinales presentan un abombamiento general, adaptándose al anticinal subyacente, pero cuando hay alternancia de yesos y arcillas se produce una deformación en escalones, como se puede observar a lo largo de la carretera de Pamplona a Tudela, especialmente por la zona de Cabezas Altas.

Se puede ver cómo las capas de yeso empujan a las gravas, limos y arcillas cuaternarios, mientras que los tramos arcillosos dan una respuesta menos activa a los esfuerzos.

4 HISTORIA GEOLOGICA

Teniendo en cuenta las distintas unidades caracterizadas anteriormente en el apartado de estratigrafía, vamos a tratar de componer una síntesis paleogeográfica y evolutiva de los distintos episodios geológicos.

Durante el Oligoceno Medio, Stampiense, la zona estudiada está caracterizada por una sedimentación básicamente evaporítica, representada por los yesos de la Formación de Falces, que precisamente en esta Hoja y en las vecinas de Peralta y Lodos alcanza un gran desarrollo, representando en aquel momento el centro de una cubeta sedimentaria bastante amplia, puesto que los mismos yesos también están representados más al Norte, en las zonas de Tafalla, Desojo y Mendigorriá. Más al Noreste, en la zona de Sangüesa, la deposición es arcillosa y carbonatada.

También durante el Stampiense tuvo lugar la sedimentación de la Formación de Cárcar, cuya parte inferior representa la continuación de las mismas condiciones ambientales del tramo anterior; sin embargo, la parte superior es básicamente arcillosa, el yeso ha desaparecido casi por completo y esporádicamente se produce la sedimentación de finos bancos de caliza y de arenisca construida normalmente por óndulas de corriente («current-ripples»).

Esta formación es mucho menos uniforme que la otra, puesto que se puede observar cómo los yesos de la unidad inferior van cambiando en el Este (sur de Rada) a arcillas. Esto se puede ver muy bien en la Hoja de Lodos, donde todo el tramo es reemplazado por arcillas, y en el Anticinal de Falces, mientras que en el de Arguedas, situado más al Sur, la sustitu-

ción no es total y se realiza más al Suroeste. Más al Norte tampoco aparecen ya más yesos, con lo que podemos afirmar que la cuenca evaporítica del Oligoceno Medio fue restringiéndose cada vez más hacia el Sur.

Entre el Stampiense y el Chatiense-Aquitaniense Inferior tiene lugar una fase tectónica importante, marcada por la discordancia de Barbarín (RIBA y PEREZ MATEOS, 1962, y RIBA, 1964), que da como resultado la formación de un frente discontinuo de conglomerados (Montejurra, Perdón, Izaga, Gallienzo, Peña, etc.).

En la zona central de la cubeta, donde está situada la Hoja en estudio, esto queda totalmente amortiguado, y la deposición de la Formación de Lerín deja bien claras unas condiciones muy parecidas a las existentes en el Stampiense. Efectivamente, podemos ver que dominó la sedimentación evaporítica con episodios más terrígenos en los que predominan las arcillas.

En la parte nororiental se puede ver ya una clara influencia del régimen fluvial que se sitúa más al Norte, con la presencia de arcillas y limos, y de algunos canales aislados.

Hay un inicio de nuevos movimientos en el Aquitaniense Superior de claro signo halocinético (RIBA, 1964).

Los grandes espesores de sedimentos plásticos depositados hasta ahora se pliegan formando unos pliegues anticlinales alargados que dejan en medio unos surcos sinclinales que empiezan a funcionar como cubetas sedimentarias, aunque por efectos de los que RIBA (1964) llamó «polaridad axial», estas cubetas van basculando hacia el Sureste, produciendo una imbricación en las capas que se van depositando.

Estos movimientos siguen durante todo el Burdigaliense y seguramente Vindoboniense.

En estas cubetas se produce una sedimentación dominada por arcillas y calizas, estas últimas se van haciendo más importantes hacia arriba en la serie estratigráfica.

Al sur del curso actual del Ebro la sedimentación es algo distinta, sigue siendo básicamente arcillosa, pero no hay calizas, sino areniscas producidas por los aportes terrígenos que vienen del Sur.

De todas maneras en esta zona han desaparecido las condiciones evaporíticas reinantes hasta ahora y sólo se desarrollan yesos en pequeñas cuencas, como en la zona de Ablitas y Monteagudo. Más al Sureste, ya en Zaragoza, sí se producen importantes cuencas, como la de Remolinos.

5. GEOLOGIA ECONOMICA

5.1 MINERIA Y CANTERAS

Las explotaciones en esta Hoja se limitan a dos cosas: las canteras de áridos, que se sitúan en las terrazas, especialmente en la Cadrete, ni-

vel $Q_1^{T_3}$, y las de arcillas de la parte suroeste, que se utilizan para cerámica, especialmente en la zona de Rincón de Soto y de Alfaro.

Antiguamente han existido explotaciones de yesos de carácter familiar, pero hoy en día están abandonadas.

5.2 HIDROGEOLOGIA

Desde el punto de vista de la hidrogeología, son muy interesantes la llanura aluvial y las terrazas bajas del Ebro, Aragón, Arga y Alhama.

Las terrazas superiores tienen muy pocas posibilidades, debido a que las gravas suelen estar muy cementadas, porque presentan una costra calcárea en la parte alta que obstruye la infiltración, y porque al quedar colgadas hay una rápida pérdida del agua acumulada.

6 BIBLIOGRAFIA

ALASTRUE, E. (1958).—«Nota sobre la estratigrafía de Las Bardenas en su extremo meridional». *N. y C. del I. G. M. E.*, núm. 50, fasc. 2, Madrid.

ALLEN, J. R. L. (1965).—«The sedimentation and Paleogeography of the Old Red Sandstone of Anglesey, North-Wales». *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, 35 [8], pp. 139-185.

BEROIZ, C. (1972).—«Memoria explicativa de la Hoja 244, Alfaro, del Mapa 1:25.000 de la Diputación Foral de Navarra». Documentación interna. Pamplona (Inédita).

— (1972).—«Memoria explicativa de la Hoja 282, Tudela, del Mapa 1:25.000 de la Diputación Foral de Navarra». Pamplona (Inédita).

BOMER, B., y RIBA, O. (1965).—«Deformaciones tectónicas recientes por movimiento de yesos en Villafranca de Navarra». *Com. C. 6-3 del tomo V de las publ. del I Coloquio Intern. sobre las obras públicas en terrenos yesíferos*. Madrid.

CARBAYO, A.; CASTIELLA, J., y SOLE, J. (1974 a).—«Memoria explicativa de la Hoja 172, Allo, escala 1:25.000». *Diputación Foral de Navarra*. (Inédita.)

— (1974 b).—«Memoria explicativa de la Hoja 171, Viana, del Mapa de Navarra a escala 1:25.000». *Diputación Foral de Navarra*. (Inédita.)

CRUSAFONT-PAIRO, M., y GOLPE-POSSE, J. M. (1974).—«Nuevos yacimientos del Terciario Continental del NE. de España». *Acta Geol. Hisp.*, tomo IX, núm. 3, pp. 81-83.

CRUSAFONT-PAIRO, M.; TRUYOLS SANTOJA, J., y RIBA ARDERIU, O. (1966).—«Contribución al estudio de la estratigrafía del Terciario Continental de Navarra y Rioja». *N. y C. del I. G. M. E.*, 90, pp. 53-76.

FLORISTAN SAMANES, A. (1951).—«La Ribera Tudelana de Navarra». *Diputación Foral de Navarra e Inst. J. S. Elcano, C. S. I. C.*, 316 págs., 40 figs., 63 láms., Zaragoza.

HERNANDEZ-PACHECO, F. (1947).—«Rasgos fisiográficos y geológicos del suroeste y este de las tierras navarras». *Rev. Príncipe de Viana*, t. 8, núm. 26, pp. 73-86, Pamplona.

— (1949).—«Las Bardenas Reales. Rasgos fisiográficos y geológicos». *Rev. Príncipe de Viana*, año 10, núm. 37, pp. 472-440, 9 láms., fig. 3.

MALDONADO, A. (1971).—«Memoria explicativa de la Hoja 283, Fustiñana, del Mapa 1:25.000». *Diputación Foral de Navarra*. Pamplona. (Inédita.)

MENDIZABAL, y CINCUNEGUI, M. (1932).—«Nota acerca de la extensión del Oligoceno en Navarra». *Información de carácter geológico, 2.ª Región. N. y C. del I. G. M. E.*, núm. 4, pp. 140-142.

MENSUA, S. (1960).—«La Navarra Media oriental. Estudio Geográfico». *Insti-tuto «Príncipe de Viana»*, Dep. Geol. Aplic., Zaragoza, Serv. Reg. 8, 186 páginas, 40 figs., 25 láms.

PANZER, W. (1948).—«El desarrollo de los valles y el clima de la época cuaternaria en el NE. de España (1926)». *Trad. Esp. de C. V. en Est. Geogr.*, núm. 30, pp. 79-130, Madrid.

PUIGDEFABREGAS, C. (1971).—«Memoria explicativa de la Hoja 206, Peralta, del Mapa 1:25.000». *Diputación Foral de Navarra*. Pamplona (inédita).

— (1972).—«Memoria explicativa de la Hoja 173, Tafalla, del Mapa 1:25.000». *Diputación Foral de Navarra*. Pamplona (inédita).

— (1973).—«Miocene point-bar deposits in the Ebro Bassin. Northern Spain». *Sedimentology*, V. 20, núm. 1, pp. 133-144.

— (1975).—«La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca». Tesis leída en la Facultad de Ciencias de Barcelona. (Próx. publicación en Pirineos).

RIBA, O. (1955).—«Sur le type de sédimentation du Tertiaire Continental de la part ouest du Bassin de l'Ebre». *Geol. Rundeschan*, t. 43, núm. 2, pp. 363-371, fig. 1, Stuttgart.

— (1964).—«Estructura sedimentaria del Terciario Continental de la Depresión del Ebro en su parte riojana y Navarra». *Aportación española al XX Congr. Geogr. Int. Reino Unido*, pp. 127-138, fig. 4, Zaragoza.

RIBA, O., y BOMER, B. (1957).—«Les terrasses et glacis du bassin de l'Ebre dans la Ribera de Navarra et la Rioja Baja». *Livr. Guide Ex.* núm. 3, *Villa-franchien de Villarroya*. INQUA, Congr. Int. Madrid-Barcelona, pp. 7-10, map. 1, fig. 1, Barcelona.

RIBA, O., y LLAMAS, M. (1962).—«Libro-guía del viaje de estudios núm. 3, Canal de Lodosa-Presa de Alloz». *I Coloquio Internacional sobre Obras Públicas en terrenos yesíferos. R. S. E. Hist. Nat.*, p. 335, Madrid.

RIBA, O., y PEREZ-MATEOS, Josefina (1962).—«Sobre una inversión de apor-tes sedimentarios en el borde N. de la cuenca terciaria del Ebro». *II*

Reunión de Sedimentología, Sevilla, 1961. C. S. I. C. Inst. de Edafología, Madrid, pp. 201-222.

ROJAS, B. J. de; LATORRE, F., y FERNANDEZ-VARGAS, E. A. (1971).—«Contribución al conocimiento de la última fase de los movimientos mesoalpinos en las provincias de Navarra, Zaragoza y Huesca». *Congreso de Geol. Económica Hispano-Luso-Americano*. Madrid.

RUIZ DE GAONA, M.; VILLALTA COMELLA, y CRUSAFONT-PAIRO, M. (1946). «El yacimiento de mamíferos fósiles de las yeseras de Monteagudo (Navarra)». *N. y C. del I. G. M. E.*, núm. 16, pp. 159-182, Madrid.

SOLE SABARIS, L. (1953).—«Terrazas cuaternarias deformadas en la cuenca del Ebro». *Mem. R. Acad. Ciencias Art. Barcelona*, t. 31, núm. 7, pp. 239-258, 2 figs.

— (1954).—«Sobre la estratigrafía de Las Bardenas y los límites del Oligoceno y del Mioceno en el sector occidental de la Depresión del Ebro». *Real Soc. Esp. de Hist. Nat., tomo Extr. Hernández Pacheco*, pp. 637-658.

SOLE SEDO, J. (1972 a).—«Formación de Mues: Litofacies y procesos sedimentarios». Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias de la Universidad de Barcelona (inédita).

— (1972 b).—«Memoria explicativa de la Hoja 202, Sos del Rey Católico, del Mapa 1:25.000». *Diputación Foral de Navarra. Pamplona* (inédita).

SOLER, M., y PUIGDEFABREGAS, C. (1970).—«Líneas generales de la geología del Alto Aragón Occidental». *Pirineos*, 96, pp. 5-20.

VALLE, A. del; MENDIZABAL, J. y CINCUNEGUI, M. (1935).—«Memoria explicativa de la Hoja 244, Alfaro». *I. G. M. E.*, 22 págs., 12 figs.

INSTITUTO GEOLOGICO
Y MINERO DE ESPAÑA
RIOS ROSAS, 23 · MADRID-3



SERVICIO DE PUBLICACIONES
MINISTERIO DE INDUSTRIA