

La presente Hoja y Memoria (204-I), ha sido realizada por "Informes y Proyectos, S.A. (INYPSA)", durante el año 2000, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

Dirección y Supervisión (Gobierno de Navarra)

Faci Paricio, Esteban

Dirección del Proyecto

Autores y Colaboradores

López Olmedo, Fabián (INYPSA)

Cartografía, Geomorfología y Memoria

Solé Pont, Javier (INYPSA)

Cartografía y Memoria

Díaz de Neira, Alberto (INYPSA)

Geomorfología

García de Domingo, Alfredo (INYPSA)

Geología regional

Hernaiz Huerta, Pedro Pablo (INYPSA)

Geotecnia

Martínez Arias, Alfredo (INYPSA)

Hidrogeología

Salvany Duran, Josep Maria (U.P.C.)

Sedimentología

0. INTRODUCCIÓN

La Hoja a escala 1:25.000 de Logroño (204-I), incluida en la que a escala 1:50.000 recibe el mismo nombre, se encuentra al SO de la Comunidad Foral.

Administrativamente la mayor parte de la Hoja pertenece a la Comunidad de La Rioja, que se extiende al Sur del Ebro y el extremo noroccidental pertenece a la provincia de Álava.

El territorio correspondiente a la Comunidad de Navarra se limita a la esquina NE de la Hoja y se encuentra en el extremo suroccidental de la Ribera Navarra.

La Ribera del Ebro constituye fisiográficamente una zona deprimida, en consecuencia con su posición axial en el valle. A su paso por la localidad de Logroño el río Ebro se encuentra a una cota de unos 350 m. A ambos márgenes del valle se elevan relieves de mediana altura con cotas máximas comprendidas entre los 400 y 600 m.

Los ríos Ebro e Iregua representan las principales arterias hidrográficas. El primero discurre de O a E por la mitad septentrional de la Hoja y el Iregua lo hace en sentido S a N confluyendo al Ebro en las afueras de Logroño.

Logroño concentra la mayor parte de la población existente en la Hoja y su núcleo urbano se extiende ampliamente en el sector central de la misma. Otras poblaciones riojanas, Lardero, Villamedina de Iregua Varea y El Cortijo recogen, junto con diversas urbanizaciones modernas que se encuentran en la periferia de la capital, la práctica totalidad del resto del contingente demográfico. Al N del Ebro, en territorio alavés y navarro, no hay ninguna localidad destacable disponiéndose, de forma diseminada, algunas granjas y caseríos.

La actividad industrial se centraliza en los diversos polígonos dispuestos alrededor de Logroño.

La agricultura y ganadería representan las principales actividades fuera de las zonas urbanas y buena parte del desarrollo industrial se encuentra subordinado a la producción agraria.

Las vías de comunicación más importantes parten radialmente de Logroño, articulándose a partir de las carreteras nacionales, N-111 y N-232, y de las comarcales LR-250, LR-441 y LR-131. La circunvalación de Logroño regula el tráfico de estas vías y la autopista A-68 cruza la Hoja de E a O al S de la capital. Las principales carreteras en territorio navarro son la N-111, que se dirige a Viana, y la N-134 que va a Mendavia y Lodosa. El ferrocarril tiene estación en Logroño y apeadero en El Cortijo y discurre por la margen izquierda del Ebro.

En el aspecto geológico, la Hoja a escala 1:25.000 de Logroño se enmarca regionalmente en el sector occidental de la Cuenca Terciaria del Ebro, cuyo relleno se realizó a lo largo del Oligoceno y Mioceno por depósitos continentales en condiciones endorreicas. Este sector actuó durante el Terciario como una subcuenca (Cuenca Navarro-Riojana en el sentido de SALVANY, 1989) con relativa independencia de los sectores vecinos, representados al E y O por el Sector Central o Aragonés y de La Bureba, respectivamente. Los márgenes septentrional y meridional de la Cuenca Navarro-Riojana están delimitados por los cabalgamientos de la Sierra de Cantabria y Cuenca de Pamplona (Pirineos) al Norte, y por las Sierras de Cameros y de La Demanda (Cordillera Ibérica) al Sur.

En la Hoja de Logroño y su entorno el Terciario está representado por una serie esencialmente arcillosa de gran extensión en la Rioja Baja (Fm. Alfaro). Se atribuye al Mioceno inferior a medio y está relacionada con los sistemas aluviales procedentes de los bordes meridional y nororiental de la cuenca. Los materiales terciarios dan lugar a los relieves principales de la Hoja y registran una disposición subtabular, con buzamientos bajos generalmente inferiores a los 10°.

La vega del Ebro está ocupada por distintos niveles de terrazas bajas y medias. Las terrazas altas y los glaciares forman rellanos más o menos aislados en lo alto de los cerros existentes configurando el típico relieve en mesetas de la Rioja Baja.

Los primeros estudios geológicos relevantes sobre los materiales terciarios de la Cuenca Navarro-Riojana datan de las décadas de los 50' y 60', son de carácter estratigráfico regional y están suscritos por Oriol Riba y diversos colaboradores (RIBA, 1955, 1964, RIBA y PÉREZ, 1962, CRUSAFONT et al., 1966, y más recientemente, RIBA et al., 1983, RIBA y JURADO, 1992 y RIBA, 1992). Paralelamente se inicia la prospección petrolera en el país, con la perforación, en las hojas vecinas de Peralta y Calahorra, de los sondeos Marcilla-1,

(Valdebro, 1953) y Arnedo-1, (Amospain, 1962), cuyos resultados figuran de forma resumida en la publicación específica del IGME, (1987). En la década de 1970 se produce un nuevo avance en el conocimiento de la geología del Terciario de Navarra por parte de los geólogos de la Diputación Foral de Navarra Jaime Solé, Javier Castiella, Cayo Puigdefábregas, Joaquín Del Valle y otros colaboradores. Su trabajo culmina con la publicación del primer Mapa Geológico de Navarra (CASTIELLA et al., 1978) a escala 1:200.000, basado en cartografías previas a escala 1:25.000 de Navarra. De esta misma época son también los primeros mapas geológicos a escala 1:50.000 del Plan MAGNA editados por el IGME (Hojas de Sadaba, Lodosa, Logroño, Alfaro, Calahorra, Tudela y Sos del Rey Católico) y realizados por el mismo grupo de geólogos, con la asistencia del paleontólogo Ramírez del Pozo. Otro trabajo relevante de este período es la tesis de licenciatura de SOLÉ (1972) sobre el Terciario del margen NO de la Ribera de Navarra. A finales de la siguiente década SALVANY, (1989) presenta su tesis doctoral, centrada en el estudio de los depósitos lacustres evaporíticos del Terciario de Navarra y La Rioja. Esta tesis estuvo financiada por el Gobierno de Navarra, en un convenio con la Universidad Central de Barcelona, cuyo informe final fue realizado por ORTÍ y SALVANY, (1986). De los estudios de Salvany se derivan un buen número de publicaciones, entre las que destacan las de SALVANY (1989), MUÑOZ y SALVANY (1990), SALVANY et al. (1994), SALVANY y ORTÍ (1994), y INGLÉS et al (1994, 1998). A lo largo de la década de los 80' el IGME publica las Hojas MAGNA a escala 1:50.000 de Allo, Tafalla, Viana, Peralta y Sangüesa. Entre los estudios más recientes cabe destacar la revisión y actualización del Mapa Geológico de Navarra, a escala 1:200.000 (GOBIERNO DE NAVARRA, 1997) y a escala 1:25.000, en cuyo marco se realiza el presente trabajo.

1. ESTRATIGRAFÍA

En la cartografía geológica de la Hoja a escala 1: 25000 de Logroño se han aplicado técnicas modernas en el campo de la sedimentología y estratigrafía secuencial consistentes básicamente en el análisis sistemático de facies y cicloestratigráfico. En este sentido hay que hacer notar las limitación de aplicación de estas técnicas debido a escaso registro estratigráfico existentes y a la homogeneidad litológica y sedimentológica de la serie terciaria. En consecuencia la división estratigráfica planteada en el presente informe se basa, para buena parte de la serie terciaria, en criterios esencialmente litoestratigráficos.

La descripción de los distintos niveles diferenciados en la cartografía geológica se ha realizado con el apoyo de las distintas bases de datos elaboradas en la Hoja, y éstos han sido agrupados dentro de las unidades litoestratigráficas que se han definido en la región, de acuerdo con la escala de trabajo y el objetivo eminentemente cartográfico del estudio.

1.1. Terciario

El Terciario de la Cuenca Navarro-Riojana está compuesto por formaciones aluviales y lacustres continentales depositadas en régimen endorreico desde finales del Eoceno hasta el Mioceno medio, con una potencia de varios miles de metros.

En la Hoja de Logroño a escala 1:25.000, (204-I), afloran los términos superiores de la serie terciaria de la Cuenca Navarro-Riojana constituyendo un conjunto arcilloso bastante homogéneo de origen aluvial. Los depósitos lacustres son minoritarios, poseen un carácter carbonatado y su desarrollo se concentra en los términos inferiores de la sucesión miocena aflorante.

El registro estratigráfico aflorante se atribuye al Orleaniense (Mioceno inferior a medio).

La sucesión terciaria presenta una disposición subtabular, con buzamientos bajos, inferiores a los 10°. A gran rasgos conforma un anticlinorio de gran radio, con eje

centrado en el valle del Ebro y dispuesto en dirección ONO-ESE conforme a la estructuración regional.

Litoestratigráficamente corresponde a la Fm. Alfaro, también denominada Facies de Alfaro (CASTIELLA et al., 1978), que se relaciona lateralmente con la parte superior de la Fm. Nájera (PÉREZ-LLORENTE, 1987) o Facies de Nájera (RIBA, 1955). Al N de Logroño la serie culmina con las Facies de Haro, representadas por materiales aluviales relacionados con sistemas procedentes del margen NO (Sierra de Cantabria, básicamente), que se distinguen de la Fm. infrayacente por un mayor contenido en niveles de areniscas.

La Fm Alfaro se correlaciona hacia el N de la Cuenca Navarro-Riojana con la Fm. Tudela (CASTIELLA et al., 1978) con la que presenta notable analogías litológicas, sedimentológicas y estratigráficas.

En la Hoja no aflora la base de la Fm. Alfaro aunque debe estar muy próxima en el sector nororiental de la misma. Regionalmente corresponde a un contacto discordante que trunca los términos superiores de la Fm. Lerín.

En conjunto, la serie aflorante configura una secuencia negativa , relacionada con la propagación progresiva de los frentes aluviales. Está integrada de muro a techo por términos arcillosos con intercalaciones carbonatadas (7), sobre los que se disponen arcillas rojizas con escasas intercalaciones de areniscas (8), que se hacen más frecuentes en vertical y especialmente hacia el NO (9), para terminar con las Facies de Haro (10), donde se reconocen intercalaciones areniscosas de mayor entidad. Esta tendencia evolutiva refleja una etapa de diastrofismo creciente que provoca un consecuente estrechamiento de la Cuenca Navarro Riojana.

La edad se establece en el Ageniense superior (MN2) a Orleaniense (MN4) merced a los numerosos yacimientos de mamíferos existentes en la Rioja Baja, si bien ninguno de ellos se encuentra dentro de la Hoja.

1.1.1

Arcillas rojas, calizas y areniscas (7). Fm. Alfaro. Ageniense superior-Orleaniense.

La Unidad 7 Forma parte del conjunto de la Fm. Alfaro, característica de la Rioja Baja.

Constituye, en la Hoja de Logroño, la base de la serie miocena aflorante, si bien se alcanza una posición muy próxima a su muro.

Su desarrollo se circunscribe la ángulo NE de la Hoja donde adopta una disposición prácticamente horizontal.

Se dispone mediante una discordancia erosiva a escala regional sobre la Fm. Lerín, de manera que trunca parcialmente los términos superiores ésta.

El techo es transicional con la Unidad 9 y está definido por la práctica desaparición de los niveles carbonatados y por un incremento en intercalaciones de areniscas.

La potencia de la presente Unidad en la Hoja es de unos 50 m.

Litológicamente predominan los términos lutíticos, representados por arcillas rojizas en tramos homogéneos de potencia métrica a decamétrica, a veces con trazas de yesos, o alternando con otras litologías.

Las calizas constituyen niveles tabulares de potencia centimétrica a decimétrica asociadas a las cuales se generan intervalos adyacentes de arcillas grises más o menos margosas. Texturalmente predominan los *wackestones* micríticos generalmente arcillosos que presentan ostrácodos y caráceas como principales aloquímicos y registran un contenido normalmente elevado en granos terrígenos. Eventualmente se desarrollan delgados niveles de *mudstones* micríticos con laminaciones discontinuas, onduladas y subhorizontales, de origen algal.

Las areniscas aparecen como capas tabulares de potencia centimétrica a decimétrica que adquieren tonos ocre-rojizos a grises. Su morfología y estructuras sedimentarias (granoclasificación positiva, huellas de base, laminación paralela,

estratificación cruzada de mediana escala, escapes de fluidos y *ripples* a techo) indican su depósito bajo mecanismos de tipo *sheet flood* en avenidas episódicas, que en ocasiones pueden afectar a zonas lacustre-palustres, generándose capas de tonos grises con *ripples* de oleaje y laminaciones onduladas.

Se encuentra relacionada genéticamente con sistemas aluviales de diversa procedencia (Sierra de Cantabria y Cordillera Ibérica) constituyendo sus equivalentes de frente distal. En este contexto son relativamente frecuentes los desarrollos de facies lacustre-palustres carbonatadas evidenciados por niveles de calizas micríticas de extensión kilométrica.

La Edad se establece, por su posición estratigráfica, en el Ageniense superior-Orleaniense.

1.1.2 Arcillas rojas, areniscas y calizas (8). Fm. Alfaro. Ageniense superior-Orleaniense.

La presente unidad está representada por una serie arcillosa de tonos rojizos, con intercalaciones areniscosas de escasa potencia, que se extiende al Sur del valle del Ebro a lo largo de buena parte de Rioja Baja.

Cubre la mayor parte de la mitad meridional de la Hoja donde presenta buzamientos comprendidos entre 3 y 10°, dirigidos mayoritariamente hacia el SSO.

La potencia máxima de la Unidad en la Hoja se cifra en unos 200 m.

Litológicamente predominan los términos lutíticos, representados por arcillas rojizas en tramos homogéneos de potencia métrica a decamétrica, ocasionalmente con trazas de yesos, o alternando con otras litologías.

Las areniscas forman capas tabulares de potencia centimétrica a decimétrica y con tonos ocre-rojizos a grises. Su morfología y estructuras sedimentarias (granoclasificación positiva, huellas de base, laminación paralela, estratificación cruzada de mediana escala, escapes de fluidos y *ripples* a techo) indican su depósito bajo mecanismos de tipo *sheet flood* en avenidas torrenciales episódicas.

Las calizas constituyen intercalaciones muy escasas y su presencia se limita a la parte basal de la Unidad. Forman niveles tabulares de potencia centimétrica a decimétrica con intervalos adyacentes subordinados de arcillas grises más o menos margosas. Texturalmente predominan los *wackestones* micríticos generalmente arcillosos que presentan ostrácodos y caráceas como principales aloquímicos y registran un contenido bastante elevado en granos terrígenos.

La Unidad se encuentra relacionada genéticamente hacia el S con sistemas aluviales de procedencia ibérica, constituyendo sus representantes de frente distal.

En IGME (1977) se han identificado: *Chara gr. Tornata*, *Chara cf. Cylindrica*, *Tectochara cf. Meriani*, *Sphaerochara minutissima* y *Candona sp.* que representan una asociación de caráceas y ostrácodos propia del Mioceno inferior. Se cuenta además con la referencia de los yacimientos de vertebrados de la Fm. Alfaro y diversos equivalentes en la región, donde se indica una edad de Ageniense superior (MN2) a Orleaniense medio (MN4).

1.1.3 Arcillas rojas y areniscas (9). F. Nájera. Orleaniense.

Las Facies de Nájera, también denominadas Fm. Nájera, fueron descritas inicialmente por RIBA (1955) como un potente conjunto terrígeno, predominantemente arcilloso, de carácter aluvial que se extiende ampliamente al SO de Logroño y corresponde cronoestratigráficamente al Oligoceno-Mioceno.

Posteriormente, otros autores (PÉREZ-LLORENTE, 1987 e IGME, 1978) establecen diversas relaciones estratigráficas con formaciones limítrofes que se resumen finalmente en el trabajo actualizado de MUÑOZ (1992), (Fig. v).

En la Hoja a escala 1.25.000 de Logroño el término de Fm Nájera se aplica a los equivalentes laterales hacia el Oeste de la Fm. Alfaro.

Su representación en la Hoja se limita a la esquina noroccidental donde adopta una disposición subhorizontal alcanzando una potencia máxima próxima a los 100 m.

Su base está definida por un cambio lateral de facies con las unidades de la Fm. Alfaro (7 y 8) y el techo corresponde a un incremento granulométrico que da paso a las Facies Haro (10).

Los términos lutíticos constituyen la litología predominante y consisten en niveles bastante homogéneos de arcillas rojizas y ocres que alternan por tramos con areniscas.

Las capas de areniscas poseen espesores de orden decimétrico y centimétrico y tamaños de grano de medio-fino a muy fino. Presentan una marcada morfología tabular y exhiben una gama variada de estructuras sedimentarias (granoclasificación positiva, huellas tractivas de base, laminación paralela y *ripples*, etc.) propias de flujos arenosos laminares no confinados (*sheet flood*).

El predominio de arcillas y las características sedimentológicas de las intercalaciones areniscosas indican un medio de frente aluvial muy distal conectado con sistemas procedentes del margen meridional de la cuenca.

En IGME (1977) se ha distinguido la siguiente asociación de ostrácodos y caráceas: *Candona sp.*, *Ostrácodo sp.*, *Chara cylindrica* y *Sphaerochara minutissima*, que sugiere una edad de Mioceno inferior. Se establece por su posición estratigráfica la atribución al Orleaniense.

1.1.4 Areniscas y arcillas ocres (10). F. Haro. Orleaniense.

Las Facies Haro representan el techo de la serie terciaria en la Hoja.

Se encuentran sobre la Fm. Nájera y su muro se establece por la entrada términos areniscosos de mayor potencia y granulometría.

Su desarrollo se restringe al borde NO de la Hoja donde se registra una potencia inferior a los 100 m.

A pesar del incremento en términos clásticos las lutitas representan la mayor parte de la Unidad distribuyéndose en intervalos de potencia métrica y decamétrica.

Muestran un aspecto masivo o alternan en algunos tramos con areniscas, y exhiben una tonalidad ocre a rojiza.

Las areniscas aparecen en capas tabulares y subtabulares de potencia decimétrica y métrica. Los niveles de menor espesor presentan morfologías tabulares y las mismas estructuras que la Unidad infrayacente correspondiendo igualmente a depósitos de *sheet flood*. Las capas más potentes muestran geometrías algo más irregulares con bases canalizadas laxas. El tamaño de grano oscila entre medio-grueso y fino-muy fino. Las estructuras sedimentarias indican un régimen de depósito más tractivo observándose estratificación cruzada, eventuales lechos de cantos blandos, y *cosets* de *climbing ripples*, siendo relativamente frecuentes las estructuras de deformación hidroplástica.

La Unidad se enmarca en un contexto de frente aluvial relacionado con sistemas que se extienden desde los márgenes noroccidental (Sierra de Cantabria) y meridional (Sistema Ibérico).

Su edad se establece, dada su situación en la serie, en el Orleaniense.

1.2. CUATERNARIO

1.2.1 Pleistoceno-Holoceno

1.2.1.1. Gravas y arenas. Terrazas altas medias y bajas (12,13 y 14). Pleistoceno- Holoceno

Dentro de este apartado se incluyen todos aquellos depósitos relacionados con la red fluvial actual articulada entorno al río Ebro y a su tributario por la margen derecha el Iregua.

Ocupan dentro de la Hoja una buena extensión superficial, habiéndose diferenciado hasta diez niveles de terrazas en el río Ebro respecto a su cauce actual. Todos ellos por su disposición y cota han sido agrupados en tres niveles denominados: terrazas altas, media y bajas.

Así en el río Ebro se incluyen como terrazas altas los niveles situados a +155-165 m, +130 m, +125-120 m, +100 m y la +75-80 m, en las terrazas medias las situadas a +40-35 m, 20-25 m y +15 m y finalmente como terrazas bajas las situadas a +8-10 m y +5 m

El río Iregua presenta varios niveles de terrazas, encontrándose las altas (+165, +130, y +120 m) claramente relacionadas con las del Ebro mientras que las medias y las bajas están más individualizadas. Entre estas últimas están la de +20 m, +15 m y +5 m. A destacar la terraza de +20 m por su amplia extensión superficial y sobre la que se asienta y se ha expandido la ciudad de Logroño. También es de destacar el importante desarrollo de la llanura aluvial (+3 m) y del cauce activo de dicho río.

La litología de los depósitos de las terrazas es muy similar en casi todas ellas, si bien la granulometría a veces resulta algo mayor en las superiores que en las inferiores así como el grado de cementación de los materiales. En general están formadas por gravas poligénicas con arenas y arcillas en proporciones variables. Los clastos son poligénicos y heterométricos siendo de calizas, cuarcitas, areniscas y microconglomerados y por lo general se encuentran redondeados. En ocasiones están ligeramente cementados por carbonatos, siendo más frecuente este proceso en las terrazas medias y altas.

El tamaño de los cantos es muy variable, presentando en ocasiones dos modas. No obstante se llegan a reconocer clastos de hasta 50 cm de diámetro en las terrazas altas, si bien el tamaño medio fluctúa entre los 10-12 cm y los 15-20 cm. Los espesores son muy irregulares, así en las terrazas altas se reconocen potencias medias de 10-12 m.

Las terrazas bajas, son las más extensas y por lo general las menos potentes. Sobre ellas se desarrolla de forma intensa la horticultura. Están constituidas por gravas y arenas con lutitas a veces rojizas y por lo general de tonos ocre y grises, que predominan en la parte alta de los depósitos. Los clastos son también poligénicos de calizas y areniscas y son frecuentes los niveles de arenas.

Tanto las terrazas medias como las bajas son las que mayor representación superficial tienen en ambas hojas han sido objeto de explotación tanto de áridos como de recursos hídricos. Las terrazas altas están menos desarrolladas aunque lo hacen preferentemente en la margen izquierda dando grandes replanos tipo mesas que destacan en el paisaje de la región

La edad asignada para los distintos niveles es similar, atribuyéndolas todas al Pleistoceno, excepción hecha de la terraza más baja que correspondería ya al Holoceno.

1.2.1.2. Lutitas con cantos. Glacis. (15). Pleistoceno-Holoceno

Se trata de depósitos que se desarrollan sobre los materiales neógenos generalmente arcillosos, contribuyendo a la morfología actual de lagunas laderas y valles.

Por lo general presentan una composición similar al sustrato sobre el que se desarrollan, por lo que los materiales suelen ser lutitas con cantos dispersos e incluso a veces bloques, angulosos y subangulosos generalmente de areniscas y/o yesos así como redondeados procedentes de gravas de zonas de cabecera o de áreas próximas correspondientes a algún nivel de terraza.

Su formación y desarrollo están en relación con la evolución a lo largo del Cuaternario del relieve de la región por lo que su edad se considera de Pleistoceno-Holoceno.

1.2.1.3 Lutitas con cantos y a veces bloques. Glacis degradados (16). Pleistoceno

Se localizan en el cuadrante nororiental de la Hoja, al Noroeste del pantano de las Cañas

Se trata de depósitos de muy poco espesor, generalmente decimétrico que se reconocen sobre una superficie que se desarrolla en el paraje de las Caracuevas. Los afloramientos son de muy mala calidad, ya que se encuentran muy degradados y apenas se pueden reconocer en algún cantil

Litológicamente los materiales que constituyen los depósitos de este glacis son lutitas con cantos dispersos y en ocasiones bloques que tapizan y enmascaran parcialmente el sustrato.

Por su posición y estado de degradación de los materiales y de su morfología se atribuyen al Pleistoceno

1.2.1.4. Limos y arcillas ocreas con cantos. Conos de deyección (17). Pleistoceno-Holoceno

Se describe en este apartado una serie de depósitos que han sido considerados por su morfología en planta como conos de deyección o conos aluviales

Se localizan generalmente en grandes valles como el del Ebro o Iregua. A destacar los depósitos asociados a estas formas en la mitad oriental de la Hoja. Están formados por limos y arenas de tonalidades ocreas que tapizan el sustrato. A veces presentan una morfología bastante difícil de reconocer. En ocasiones, como p.e como en la margen derecha del valle del Ebro o del Iregua se disponen sobre niveles de gravas correspondientes a las terrazas bajas o medias de dicho río.

Se encuentran en las salidas de los arroyos y de los pequeños valles que acceden a otros de rango superior o así como en las terrazas de la red fluvial. En ocasiones se solapan, dando lugar a formas coalescentes de mayor desarrollo

Litológicamente están formados por un conjunto también heterogéneo y bastante caótico de lutitas, con cantos y bloques de tamaño, a veces gravas en hiladas de composición muy variable. Ocasionalmente se pueden producir cementaciones en algunos de estos depósitos, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia.

Por su relación con la red fluvial los primeros se atribuyen al Pleistoceno y a los segundos se les asigna una edad de Holoceno.

1.2.1.5. Lutitas y arenas con cantos. Aluvial-Coluvial (18). Pleistoceno

En este epígrafe se describen un conjunto de depósitos de origen fluvial que por su morfología en planta, difieren de la de los fondos de valle y ponen en evidencia un aporte lateral difícil de separar de los propiamente fluviales.

Por lo general se localizan en áreas de topografía muy suave y en zonas de cursos de carácter ligeramente divagante y bastantes efímeros. Se reconocen en dos zonas. Al Norte de la Hoja, en el límite con la de Viana y en las proximidades de Logroño.

Su litología por regla general corresponde a materiales finos, generalmente lutitas ocreas o rojas y arenas procedentes de zonas laterales o arrastrados por el propio

cursos de los arroyos. Su espesor puede llegar a ser considerable, del orden a veces de varios metros.

Por su posición respecto al resto de los depósitos cuaternarios se atribuyen al Pleistoceno-Holoceno

1.2.1.6. Gravas, arenas y lutitas. Meandros y/o cursos abandonados (19). Pleistoceno-Holoceno

En algunos parajes de las terrazas bajas del río Ebro se reconoce zonas, a veces algo deprimidas y de cierta continuidad lateral, que son perfectamente identificables en fotografía aérea por su forma rectilínea y a veces algo sinuosa y cuyas características litológicas son similares a las de las terrazas fluviales.

Son depósitos formados por gravas, arenas y limos en distinta proporción, con desarrollo de suelos que son frecuentemente utilizados para el cultivo.

Por su posición respecto a las terrazas bajas su edad es principalmente de Holoceno, aunque algunos de ellos pueden ser del Pleistoceno

1.2.1 Holoceno

1.2.2.1. Gravas, arenas y lutitas. Llanura aluvial y barras fluviales (20). Holoceno

Estos depósitos corresponden a gravas y arenas a veces con cantos, aunque ocasionalmente incluyen clastos tamaño bloque, con cantos de litología muy variada: areniscas, calizas etc. Se trata de depósitos de llanura aluvial desarrolladas junto a las terrazas bajas o bien a barras fluviales en zonas próximas a los márgenes del río con una marcada acreción lateral o bien a los sectores centrales del mismo y cuya morfología es perfectamente apreciable en fotografía aérea a lo largo del curso del Ebro.

1.2.2.2. Lutitas con cantos y arenas. Gravas. Fondos de valle y cauces activos (21).
Holoceno.

Estos depósitos corresponden a los materiales que dejan cursos de escorrentía superficial efímera o casi nula, por la que discurren los principales arroyos, así como los del río Iregua principal afluente del Ebro. Constituyen pues la red fluvial de orden menor que transcurre por la Hoja.

Se trata de depósitos de forma alargada, algunos de orden kilométrico y cierta anchura que por lo general tienen poca potencia (3 a 5 m), aunque en ocasiones pueden presentar mayor espesor

Predominan en este tipo de depósitos las lutitas de tonalidades rojas, grises u ocre que incluyen cantos de diverso tamaño y a veces bloques. Ocasionalmente se reconocen niveles de arenas. Los cantos son de litología muy variable, aunque los que predominan son los de yesos y/o areniscas según las zonas.

Mención especial tienen los depósitos del cauce del río Iregua. Se trata de gravas y arenas de cierto espesor y que constituyen una ancha banda a su paso por la Hoja de Logroño.

Estos depósitos se asignan al Holoceno por su relación con la red fluvial actual

1.2.2.3. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (22). Holoceno

Se trata de depósitos por lo general de muy poco espesor, aunque a veces de amplia representación superficial. Se encuentran repartidos de forma irregular a lo largo de toda la Hoja. Se localizan al pie de las laderas de los principales valles, asociados a veces a los distintos niveles de terrazas, así como a pequeños relieves, tratándose en todo caso de depósitos de poca entidad, al menos en cuanto a espesor se refiere.

Litológicamente la composición de estos depósitos es muy variable, ya que dependen del sustrato sobre el que se desarrollan. Lo más frecuente es encontrar lutitas de color ocre mezcladas y/o empastando cantos angulosos y subangulosos de arenisca o yesos, y a veces algunos de caliza según por donde se desarrollen.

Por su posición al pie de las laderas y su relación con el resto de los depósitos cuaternarios se les asignan al Holoceno.

1.2.2.4. Fangos. Depósitos perilagunares (23). Holoceno

Se incluyen en este apartado un conjunto de materiales finos de tipo lutítico que orlan diversas zonas húmedas de la Hoja. Estos depósitos arcillosos, tipo fangos, por su contenido y humedad en agua, presentan tonalidades rojizas y suelen tener poco espesor y un desarrollo a veces importante de vegetación.

Se localizan en la Hoja en el entorno del pantano de las Cañas, cerca de la carretera a Viana así como en el pantano de La Grajera, ya en La Rioja cerca de Logroño.

1.2.2.5. Escombreras y vertederos. Depósitos antrópicos (24). Holoceno

En la cartografía y por su extensión superficial se han diferenciado un conjunto de depósitos heterogéneos y artificiales, de claro origen antrópico. Corresponden estos a escombreras de materiales o a vertederos que se sitúan a las afueras de Logroño

Se han localizado en la Hoja en varios puntos principalmente en el entorno de la capital de La Rioja. Los depósitos de mayor desarrollo se localizan aguas arriba del Ebro, aunque se trata del vertedero controlado de dicha localidad.

2 TECTÓNICA

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La presente Hoja de Logroño 204-I se localiza en la Depresión del Ebro, unidad estructuralmente conocida como Dominio del Ebro, que corresponde a un área de geometría triangular con un comportamiento de cuenca de antepais, es decir se trata de una cuenca tipo "*foreland*" del orógeno pirenaico desarrollada a lo largo del Terciario en el borde entre las placas ibérica y europea. Esta cuenca ha sufrido el empuje por el Norte de las laminas cabalgantes pirenaicas y por el Sur los de la cadena Ibérica, presentando esta ultima una clara aloctonia hacia el Norte con desplazamientos de mas de 20-30 km hacia la cuenca

La evolución y geometría de la Hoja esta relacionada con la estructuración de las cadenas pirenaica e ibérica. El Pirineo comenzó su configuración a finales del Cretácico y se prolongo durante buena parte del Terciario, presentando además una deformación heterocrona a lo largo del trazado de la cordillera, haciéndose progresivamente más moderna esta hacia el Oeste. La Ibérica presenta una estructuración un poco más reciente iniciándose esta durante el Paleógeno. Finalmente el Macizo de Cameros de la cadena ibérica, es el dominio alpino más próximo al área ocupada por las Hoja, siendo este en parte también responsable de la geometría y estructura de los depósitos que la conforman.

De acuerdo con los criterios mas actualizados, la extensión de la cadena sobrepasa ampliamente a la longitud actual del istmo, por lo que la Cordillera Cantábrica y en particular la sierra de Cantabria, con un desplazamiento hacia el Sur, sería una prolongación de la citada cadena y pondría limite septentrional a la cuenca en el sector de Logroño, situándose pues a relativa poca distancia del área estudiada..

Los materiales que conforman la Hoja a escala 1:50.000 a la que pertenece la cuadrícula son todos ellos terciarios, con edades comprendidas entre el Oligoceno superior y el Mioceno medio (Arverniense-Orleaniense). A grandes rasgos se identifican dos unidades: una inferior, formada por un potente conjunto detrítico-evaporítico del Oligoceno superior-Mioceno inferior (Arverniense-Ageniense), estructurado según grandes pliegues de escala kilométrica y otra superior, eminentemente detrítica y de edad Mioceno inferior-medio (Ageniense superior-Orleaniense) que se dispone discordante claramente sobre la anterior.

Estructuralmente el área objeto de estudio esta constituida por un basamento rígido y una cobertera formada por materiales continentales terciarios plegados, con importantes acumulos de evaporitas que facilitan los despegues o la halocinesis. Sobre estos materiales se dispone una potente serie detrítica, de procedencia ibérica que cubre en parte la infrayacente. La disposición de estos materiales es subhorizontal o formando a veces grandes y laxos pliegues de escala regional.

Información sobre la estructura profunda de la zona la aporta el sondeo Marcilla, ubicado en una zona relativamente próxima, al Este de la zona estudiada, poniendo de manifiesto el importante acumulo de materiales salinos que existen en el subsuelo, así como el tipo de estructura de la región.

Entre las referencias y/o los autores que han estudiado los depósitos terciarios así como su estructuración cabe citar previamente los trabajos llevados a cabo por la DIPUTACIÓN FORAL DE NAVARRA a comienzos de los 70, con la realización de las Hojas a escala 1:25.000 y posteriormente reflejadas a escala 1:50.000 en el MAGNA por el IGME (1976, 1977). En la década de los 80 destacan los trabajos de PEREZ (1983), GONZALEZ(1982), GONZALEZ et al (1988), SALVANY (1989) y MUÑOZ (1992). Estos autores la metodología que presentan es la del análisis tectosedimentario, caracterizando un total de ocho unidades (UTS) a nivel cuencial (MUÑOZ, 1992) que abarcan un intervalo temporal comprendido entre el Eoceno y el Mioceno superior.

El acercamiento definitivo entre las placas ibérica y europea, motivo en la cadena pirenaica la creación de un cinturón de pliegues y cabalgamientos, que se propagaron hacia el antepais en secuencia de bloque inferior. Estas estructuras se agrupan en las denominadas "laminas cabalgantes (mantos) inferiores y superiores". La colisión de placas culmina en el Eoceno, durante el Luteciense, con la denominada "fase pirenaica", si bien el régimen compresivo perduró hasta comienzos del Mioceno.

A partir del Eoceno superior, los cabalgamientos de basamento de la zona axial pirenaica, adquieren un notable e importante desarrollo, emergiendo sobre las rocas de la cobertera ya deformadas anteriormente. Durante este intervalo y en el Oligoceno inferior-medio, se produce el mayor desplazamiento de la vertiente sur del Pirineo sobre la cuenca del Ebro a favor de un cabalgamiento basal.

Esta traslación hacia el Sur se tradujo en la deformación interna y de manera progresiva de los depósitos clásticos, cuya geometría corresponde a sistemas de pliegues y cabalgamientos en las series paleógenas y a la emergencia del frente o rampa frontal de cabalgamiento surpirenaico.

Durante el Oligoceno superior y Mioceno inferior continuó la deformación y tuvo lugar el emplazamiento definitivo del Manto de Gavarnie originando una serie de estructuras plegadas y/o cabalgantes a lo largo del frente surpirenaico, así como la propagación de despegues no emergentes hacia la cuenca de antepais pasiva o cuenca del Ebro a la vez que una migración de los depocentros de la cuenca hacia el Sur.

Durante el Mioceno inferior se produjo el plegamiento de la cuenca navarro-riojana como resultado de una etapa principal de compresión pirenaica. Se desarrollaron extensos pliegues de dirección NO-SE, que compartimentaron la cuenca en diferentes dominios sedimentarios, situados en los surcos sinclinales, más o menos independientes entre sí, desplazándose los grandes sistemas lacustres evaporíticos de centro de cuenca, característicos de la etapa anterior, hacia el sector aragonés, convirtiéndose el sector navarro-riojano en una zona de sedimentación principalmente detrítica tanto en el margen ibérico como en el pirenaico.

Algunas de las estructuras de plegamiento del relleno sintectónico de la cuenca de antepais, corresponderían a veces a cabalgamientos ciegos que llegarían a afectar a la cobertera mesozoica subyacente. Muchas de ellas estarían relacionadas con pliegues de crecimiento o sinsedimentarios.

La estructura alpina de la zona estudiada es función de la orientación e intensidad de las distintas fases compresivas y la naturaleza y disposición de los materiales que configuran la cobertera sedimentaria. En el marco de la Hoja, la estructura es el resultado por un lado de los cabalgamientos de Cameros sobre la cuenca del Ebro y por otro del desplazamiento hacia el Sur y Suroeste de los cabalgamientos, que a veces ponen límite a las grandes estructuras que en la región presentan una dirección general E-O y N.NO-S.SE con ligeras inflexiones hacia el Oeste, por lo que adoptarían posiciones E.NE-O.SO.

Finalmente interesa destacar a partir del Mioceno superior, la existencia de procesos neotectónicos motivados probablemente por la deformación de las evaporitas, como consecuencia de la lenta y continua actividad halocinética de las sales. Esto conlleva a una serie de deformaciones observadas en los depósitos cuaternarios, a veces bastante notables

acaecidas durante el Pleistoceno y observables en el valle del Ebro, principalmente en los depósitos fluviales.

La existencia de esos procesos es de antaño conocida, siendo numerosos trabajos los que hacen referencia a deformaciones en los valles del Ega, Arga, Aragón y Ebro. Así, al margen de los pioneros, entre ellos los de BOMER y RIBA (1965) son dignos de mención los de GONZALO (1968), MENSUA y BIELZA (1974), ATARES et al. (1983) y CASAS y BENITO (1988).

2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES ESTRUCTURAS

La Hoja 204-I de Logroño se caracteriza por presentar en casi la totalidad de ella una disposición de sus materiales horizontal o subhorizontal. La única excepción hecha es el sector occidental, en el área comprendida entre los ríos Ebro e Iregua. En dicho sector aparecen la serie neógena en una disposición monoclinial, a lo largo de varios kilómetros, con buzamientos hacia el Norte del orden de 6° a 8° e incluso a veces 12° . Todo ello hace que la estructura de la cuadrícula resulte bastante monótona y adopte un aspecto monoclinial, con buzamientos más fuertes en el sector meridional al Oeste de Lardero, ya en el límite meridional de la cuadrícula.

Más hacia el Sur, aunque fuera ya de Hoja y según una dirección general E-O a O.NO-E.SE, se reconoce una importante estructura: el denominado sinclinal de La Rioja Baja, estructura laxa que se desarrolla y afecta a los depósitos neógenos de la margen derecha del Ebro y que se extiende desde el Sur de Logroño hasta al menos Calahorra e incluso Autol.

En la mitad septentrional de la Hoja, en la margen izquierda del río Ebro, tanto el sector navarro como el riojano y vasco, presenta buzamientos muy suaves, prácticamente horizontales o subhorizontales con ligera inclinación hacia el Norte de apenas 2°-3°. Se estructuran pues los materiales en una disposición también monótona bastante horizontal.

Finalmente en el sector oriental, en la margen derecha del Iregua, en un área comprendida entre ese curso y el Ebro, la serie terciaria resulta bastante homogénea y su disposición también es horizontal o subhorizontal, con buzamientos muy suaves (2°-3°) hacia el Sur.

En cuanto a accidentes tipo fallas, solo destacar que estas a escala hectométrica o kilométrica no se reconocen, observándose solo pequeñas discontinuidades con saltos decimétrico a métrico.

3. GEOMORFOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

La Hoja a escala 1:25.000 de Logroño (204-I) está incluida en la Hoja a escala 1:50.000 de Logroño (204), encontrándose situada en el sector suroccidental de la Comunidad Autónoma de Navarra, abarcando una gran parte de la Comunidad Autónoma de La Rioja así como también una parte del País Vasco.

Pertenece a la Depresión del Ebro, cuenca sedimentaria de forma triangular rellena durante el Terciario y limitada por los Pirineos y los Montes Vasco-cantábricos, al Norte, la Cordillera Ibérica, al Sur, y la Cadena Costero Catalana, al Este. Más concretamente, se enmarca en su sector occidental, denominado Cuenca de La Rioja-Navarra (RIBA, 1983) o Cubeta Navarro-Riojana (ORTÍ, 1990), que morfoestructuralmente está caracterizada en el ámbito navarro por un dominio plegado, modelado sobre los materiales terciarios, y un dominio encajado en el anterior, constituido por depósitos cuaternarios, fundamentalmente de origen fluvial.

A grandes rasgos, el relieve de la Hoja se caracteriza por presentar una elevación moderada en los sectores meridionales y baja en los septentrionales, contrastando las zonas de relieve con los suaves y planos aterrazamientos de los ríos Ebro e Iregua que de Oeste a Este y Sur a Norte respectivamente transcurren por la Hoja y terminan de configurar la fisiografía de esta.

Es precisamente en el cuadrante suroccidental donde se da la mayor altitud, cerro Coronilla con 668 m, concretamente cerca de la localidad de Lardero, mientras que es en el valle del Ebro, en el borde más oriental de la Hoja, donde se encuentra la altitud mínima, en el denominado paraje de La Lastra (360 m). No obstante y a grandes rasgos, la cota media de la cuadrícula se sitúa entre los 400 y 600 m excepción hecha del entorno del Ebro que lo hace por debajo de los 400 m.

Los principales cursos fluviales son los ríos Ebro e Iregua. Este último vierte sus aguas al primero en la población de Logroño, tras dejar atrás una amplia vega. En torno a

ellos se articula la red de drenaje del sector integrada por diversos arroyos y barrancos de pequeña entidad.

Climatológicamente, la región pertenece al tipo Mediterráneo Templado, con precipitaciones medias anuales comprendidas entre 450 y 600mm y temperaturas medias anuales de 12 a 13°C.

Se trata de una zona bastante poblada ya que sobre ella se levanta la capital de La Rioja, dando nombre a la Hoja y concentrándose como es lógico la población en ella y su entorno, que se encuentra altamente industrializado. El resto de la población se distribuye entre los núcleos urbanos próximos: Villamediana de Iregua y Lardero. Es de destacar, dentro de la cuadrícula, la inexistencia de poblaciones pertenecientes a la Comunidad Autónoma de Navarra, si bien en a poca distancia del límite septentrional se encuentra la localidad de Viana.

La red de comunicaciones es muy abundante, destacando tanto la autopista A-68 que atraviesa la cuadrícula por su mitad meridional como la N-111y la N-232 que circunvalan la capital. Además discurren las carreteras autonómicas: NA-134, LR-259, LR-250, LR-255, IA-124 y A-2126, así como un sinfín de numerosos caminos y pistas que permiten el acceso por la práctica totalidad de la Hoja.

En cuanto a la vegetación, alternan los terrenos de monte bajo y matorral, predominantes en las zonas de mayor relieve, con los de cultivo, habituales en las zonas bajas, que adquieren su máxima expresión en el valle del Ebro. Esta labor agrícola, al margen de la industria, constituye la principal ocupación de la población.

3.2. ANTECEDENTES

Son escasos los trabajos de índole geomorfológica llevados a cabo en el sector occidental de la Depresión del Ebro y más aún los que afectan de forma específica al territorio ocupado por la Hoja. Entre los trabajos de carácter general, cabe señalar el de GUTIÉRREZ y PEÑA (1994), que trata la totalidad de la cuenca en el marco del libro "Geomorfología de España", así como el Mapa Geológico de la Comunidad de Navarra a escala 1:200.000 (GOBIERNO DE NAVARRA, 1997).

Por lo que respecta a estudios más concretos, en su mayor parte se centran en los depósitos de terrazas y glaciares del río Ebro, destacando los de RIBA y BOMER (1957), GONZALO (1977 y 1979) y LERÁNOZ (1989), mereciendo la pena señalar el de LERÁNOZ (1990) que aborda el endorreísmo del sector meridional navarro. Por su interés neotectónico es preciso señalar la publicación de ATARES et al. (1983), en relación con la existencia de fallas cuaternarias en el área de Alcanadre.

También es preciso destacar las aportaciones de las Hojas geológicas a escala 1:50.000 correspondientes al Plan MAGNA de la región, especialmente la de Logroño (204) y las más recientes de Viana (171), Allo (172) y Tafalla (173), que incluyen un capítulo de geomorfología acompañado del correspondiente esquema a escala 1:100.000. Por último, mención aparte merecen las Hojas geológicas y geomorfológicas a escala 1:25.000 realizadas dentro del presente proyecto de actualización e informatización de la cartografía geológica de Navarra en las zonas limítrofes (Hojas 171-III, Viana, y 171-IV, Los Arcos; GOBIERNO DE NAVARRA, 1998), por la gran cantidad de datos aportados y la puesta al día llevada a cabo en cuanto al conocimiento geológico de la región.

3.3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

El estudio morfológico se aborda desde dos puntos de vista:

- Considerando el relieve como una consecuencia del sustrato geológico y de la disposición del mismo (estudio morfoestructural).
- Teniendo en cuenta la incidencia de los procesos exógenos sobre dicho sustrato (estudio del modelado).

3.3.1. Estudio morfoestructural

La Hoja de Logroño (205-I) se localiza en la Cuenca de La Rioja-Navarra, perteneciente al sector noroccidental de la Depresión del Ebro, caracterizado por una clara influencia de la estructura en el relieve, derivada a su vez de la acción de la tectónica sobre los diferentes conjuntos litológicos.

De acuerdo con los principales rasgos regionales, los afloramientos terciarios integran un dominio truncado por el valle del río Ebro que, tapizado por sus depósitos cuaternarios, constituye el principal dominio de la Hoja.

3.3.1.1. Formas estructurales

El dominio terciario, en el que aflora un conjunto sedimentario atribuido al Mioceno inferior, está caracterizado por una serie, de naturaleza arcillosa con intercalaciones de areniscas en la que ocasionalmente y en su borde oriental se reconocen delgados niveles de calizas cuya mayor resistencia a la erosión les confiere el papel de resaltes estructurales. Todo el conjunto se dispone en la Hoja en disposición horizontal o con buzamientos hacia el Sur muy pequeños. Son estos niveles los que permiten establecer la geometría de la zona, consistente en una serie monoclinas orden kilométrico orientada a grandes rasgos según una dirección E-O, paralela al curso del Ebro e interrumpida únicamente por la red de drenaje. Los resaltes poseen una continuidad muy variable, con frecuencia de varios kilómetros, pudiendo aparecer como simples líneas de capa o acompañados de escarpes más o menos pronunciados, a veces incluso con desniveles superiores a 100m, como en el valle del Ebro, cerca de la estación de Logroño. Es frecuente, especialmente en el sector nororiental, la conservación de superficies estructurales, degradadas o no, que pueden aparecer en forma de pequeñas mesas. Entre estas formas derivadas de la estructura es preciso señalar también los cerros cónicos, como resultado de procesos de erosión selectiva.

3.3.1.2. Estructura de la red de drenaje

Con relación al río Ebro, que actúa como nivel de base regional, los principales cursos de la red tienen un marcado carácter consecuente, discurriendo a favor de la pendiente regional. Por sus reducidas dimensiones, resulta prácticamente anecdótica la presencia de cursos obsecuentes y resecuentes.

3.3.2. Estudio del modelado

El relieve de la zona es el resultado de la acción de los procesos externos, tanto erosivos como sedimentarios, sobre la estructura existente al finalizar el Terciario. Dichos procesos tienen un origen gravitacional (de laderas), fluvial, poligénico y antrópico.

3.3.2.1. Formas de laderas

Lógicamente, los procesos relacionados con la dinámica de las laderas son frecuentes en algunas zonas, como consecuencia de los abundantes desniveles existentes, debidos a la profusión de escarpes, cuestras, cerros cónicos, terrazas y glacis colgados, entre otros elementos de relieve positivo. No obstante, la representación cartográfica de las formas de ladera es mínima, estando restringida a un pequeño número de coluviones.

Los coluviones están exiguamente representados, apareciendo en general en la parte baja de las vertientes, principalmente como bandas delgadas en torno a los relieves estructurales del sector oriental y generalmente como formas de enlace entre las terrazas y los relieves terciarios.

3.3.2.2. Formas fluviales

Constituyen, con mucho, el grupo de mayor relevancia, merced principalmente al cortejo de terrazas que escalonan el valle del río Ebro, en el que también está representada su llanura de inundación, junto con diversas barras y meandros y cauces abandonados. Las formas sedimentarias se completan con los fondos de valle y conos de deyección repartidos por todo el territorio. Como formas erosivas, se han reconocido aristas, divisorias de aguas, huellas de incisión lineal y acarcavamientos.

Los fondos de valle son especialmente abundantes en el sector septentrional, donde tapizan los numerosos barrancos que inciden en el sustrato terciario. Aparecen como formas alargadas y anchas, cuya longitud varía sensiblemente. En general, su geometría se adapta a la estructura y a la pendiente regional.

La llanura de inundación está representada a modo de pequeños retazos adyacentes al cauce activo de los ríos Ebro e Iregua, presentando su típica morfología plana y ligeramente encajada en la terraza más baja. En relación con el cauce activo, se distinguen igualmente pequeños sistemas de barras, cuya diferenciación con respecto a la llanura es difícil de establecer debido a los represamientos existentes a lo largo del cauce.

El sistema de terrazas del río Ebro es el conjunto de formas más característico, habiéndose diferenciado como terrazas altas los niveles situados a +155-165 m, +130 m,

+125-120 m, +100 m y la+75-80 m, en las terrazas medias las situadas a +40-35 m, 20-25 m y +15 m y finalmente como terrazas bajas las situadas a +8-10 m y +5 m

El río Iregua presenta varios niveles de terrazas, encontrándose las altas (+165, +130, y +120 m) claramente relacionadas con las del Ebro mientras que las medias y las bajas están mas individualizadas. Entre estas ultimas están la de +20 m, +15 m y +5 m. A destacar la terraza de +20 m por su amplia extensión superficial y sobre la que se asienta y se ha expandido la ciudad de Logroño. También es de destacar el importante desarrollo de la llanura aluvial (+3 m) y del cauce activo de dicho río.

Las terrazas “bajas” poseen un dispositivo de terrazas encajadas o solapadas, en tanto que las consideradas terrazas “altas”, se presentan generalmente como terrazas colgadas. Las terrazas “medias” y pueden aparecer encajadas o colgadas. En conjunto, confieren al valle un aspecto escalonado asimétricamente, con netos escarpes entre los distintos niveles; de entre éstos, son los inferiores los que poseen una mayor continuidad superficial, en tanto que los superiores aparecen a modo de retazos aislados.

Asociados a las terrazas “bajas” del Ebro aparecen meandros y cauces abandonados, a modo de suaves encajamientos de forma lineal. Los primeros muestran su típica forma arqueada, en tanto que los segundos poseen una tendencia más rectilínea.

También los conos de deyección son frecuentes. Se generan cuando la carga concentrada en barrancos estrechos alcanza áreas más amplias, en las cuales se expande, dando lugar a sus típicas morfologías en abanico. Aunque existen formas aisladas, la proximidad entre los barrancos hace que predominen los dispositivos coalescentes, de forma que aparecen como bandas que orlan los principales valles.

En cuanto a las formas erosivas de origen fluvial, poseen una distribución muy inferior, destacando entre ellas la incisión lineal, generalmente con desarrollo transversal a los principales cursos de la zona. En algunas áreas, su acción da lugar a un retroceso de las cabeceras que favorece el desarrollo de aristas, como interfluvios de morfología afilada diseminados por la zona.

El desarrollo de cárcavas, con sus correspondientes cabeceras, es frecuente en este tipo de materiales, aunque no suelen tener un gran desarrollo en los afloramientos arcillosos del sector occidental, cuyo carácter “blando” favorece el desarrollo de una

profunda incisión; no obstante, debido a sus reducidas dimensiones, generalmente carecen de representación cartográfica.

3.3.2.3. Formas poligénicas

Están moderadamente representadas por glacis y sedimentos de tipo aluvial-coluvial como formas con depósito, así como por superficies de erosión degradadas y escarpes.

Los glacis aparecen en relación con los relieves meridionales, mientras que con respecto a los relieves septentrionales lo hacen de forma muy degradada. Mucha menos entidad poseen los depósitos de tipo aluvial-coluvial, que están restringidos a dos afloramientos localizados uno al Norte de la Hoja y de escasa relevancia y otro situado en las proximidades de Logroño. Se trata de fondos de valle que reciben aportes laterales, siendo tan gradual el paso entre fondos y laderas, que su separación se hace extremadamente dificultosa.

3.3.2.5. Formas lacustres

Se asocian a este tipo de formas los depósitos que se localizan en el entorno de los pantanos de las Cañas al Norte de la Hoja y en el de la Grajera, al Oeste de la Hoja en las afueras de Logroño. Son depósitos lutíticos, de aspecto fangoso asociados al borde de dichos embalses y están en relación con la fluctuación del nivel de agua de los mismos. Es frecuente el desarrollo de vegetación en estas zonas, así como la presencia de aves, lo que hace que se trate de zonas protegidas por su interés natural.

3.3.2.6. Formas antrópicas

La actividad antrópica se concentra fundamentalmente en el valle del Ebro, donde la región ha sufrido profundas transformaciones en relación con el desarrollo vial e industrial reciente. No obstante, tan sólo se han representado aquéllas que han supuesto fuertes remodelaciones del relieve, entre las que se encuentran escombreras y vertederos, frentes de canteras y escarpes, estos últimos relacionados con la construcción de la autopista A-68.

3.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

3.4.1. Lutitas y arenas con cantos y bloques. Coluviones (a). Holoceno

Se trata de depósitos de reducido espesor, en general inferior a 2m aunque con buena representación superficial, localizados al pie de algunas laderas, así como formas de enlace entre niveles de terrazas o estas y los relieves. Su constitución litológica es variable, dependiendo de la naturaleza de su área madre. Predominan las lutitas ocre que engloban cantos y bloques angulosos y subangulosos de areniscas, yesos o calizas de tamaño muy variable, con frecuencia de orden decimétrico.

Su posición respecto a las vertientes actuales, así como su relación con el resto de los depósitos cuaternarios han aconsejado su asignación al Holoceno.

3.4.2. Lutitas con cantos y arenas. Fondos de valle y cauces activos (b). Holoceno

Constituyen el depósito de cursos de escorrentía superficial efímera o actualmente nula, que discurren intermitentemente a través de la mayoría de los valles de la red fluvial secundaria. Por otro lado, se han incluido también los materiales que en la actualidad el río Iregua deja a su paso antes de verter sus aguas al Ebro

Se trata de depósitos de forma alargada, adaptados a la estructura de la red de drenaje. Aunque en algunos casos poseen una longitud de orden kilométrico y anchura moderada, en general carecen de interés; poseen un espesor comprendido entre 3 y 5m, aunque ocasionalmente puede ser superior.

Las lutitas de tonalidades rojas, grises u ocre, que incluyen cantos de tamaño variable y, en ocasiones, bloques son los materiales que se predominan. En menor medida, también se reconocen niveles de arenas. La litología de sus componentes es muy variable, predominando los fragmentos de yeso o arenisca, según las zonas. En el río Iregua, predominan por el contrario las gravas con cantos y bloques, a veces de gran tamaño

Por su íntima relación con la red fluvial actual se atribuyen al Holoceno.

3.4.3. Gravas poligénicas, arenas y lutitas. Llanuras de inundación (c). Barras (c). Terrazas (c). Meandros y/o cauces abandonados (c). Pleistoceno-Holoceno

En relación con el sistema fluvial del río Ebro, se reconocen depósitos de gravas, arenas y lutitas, bajo varios contextos diferentes: por una parte como depósitos de terrazas y por otro como formaciones de reducida extensión adyacentes al cauce activo y ligeramente encajados en la terraza más baja, correspondientes a la llanura de inundación (c) o a barras fluviales (c). También y suavemente encajados en el seno de las terrazas “bajas” con formas estrechas, en ocasiones fuertemente curvadas, correspondiendo a meandros o cauces abandonados (c). En el caso de la llanura de inundación, se encuentra ampliamente representada en el valle del río Iregua.

Las terrazas, como ya se ha expuesto en otros epígrafes pertenecen al sistema fluvial del Ebro y su afluente, Iregua, que han dejado a lo largo de la Hoja un cortejo escalonado de niveles, agrupados en terrazas “altas”, los niveles situados a +155-165 m, +130 m, +125-120 m, +100 m y la +75-80 m, en las terrazas medias las situadas a +40-35 m, 20-25 m y +15 m y finalmente como terrazas bajas las situadas a +8-10 m y +5 m

El río Iregua presenta varios niveles de terrazas, encontrándose las altas (+165, +130, y +120 m) relacionadas con las del Ebro mientras que las medias y las bajas están más individualizadas. Entre estas últimas están la de +20 m, +15 m y +5 m. A destacar la terraza de +20 m por su amplia extensión superficial y sobre la que se asienta la ciudad de Logroño.

El tamaño de los cantos es variable, con ocasionales clastos de tamaño bloque, siendo su litología muy variada, si bien predominan los constituyentes carbonatados y areniscosos. Con frecuencia desarrollan suelos que, por sus características, son habitualmente utilizados para el cultivo.

Por su posición con respecto a las terrazas “bajas”, la llanura de inundación y las barras se han atribuido al Holoceno, en tanto que los meandros y cauces abandonados se han asignado al Pleistoceno-Holoceno.

3.4.4 Limos y arcillas ocreas con cantos. Conos de deyección (d). Holoceno

Se encuentran extensamente representados, orlando parte de las vertientes, especialmente en el sector oriental, así como a veces desarrollados sobre las terrazas del Ebro. Generalmente, están formados por limos y arcillas de tonalidades ocreas, que ocasionalmente engloban cantos o gravas dispuestas en delgadas hiladas; también pueden apreciarse cementaciones, pero siempre muy superficiales y de poca consistencia. Se disponen a la salida de los barrancos estrechos hacia valles más amplios y lógicamente su composición de detalle varía en función del área madre. Es frecuente el solapamiento o la coalescencia de varios aparatos, dando lugar a formas de desarrollo lateral de orden kilométrico.

Por su relación con el relieve actual y en particular con la red fluvial, se han enmarcado en el Holoceno.

3.4.5. Arcillas con cantos y bloques. Glacis (e) y Glacis degradados (e) Pleistoceno

Se han reconocido dos tipos: glacis y glacis degradados. En ambos casos su desarrollo se produce sobre depósitos neógenos preferentemente arcillosos, contribuyendo a la morfología actual de las laderas. Se disponen a modo de fina película que tapizan las superficies que culminan el relieve local o algunas laderas, reflejando la litología del sustrato sobre el que se desarrollan, así como la de las vertientes al pie de los cuales se generan. Están constituidos por arcillas con cantos dispersos, a veces bloques, angulosos a subangulos, de composición areniscosa.

Su génesis está en relación con el desmantelamiento del relieve finiterciario en la zona, y el encajamiento de la red fluvial, razón por la que se han atribuido al Pleistoceno.

3.4.6. Lutitas y con cantos. Aluvial-coluvial (f). Holoceno

En general, se trata de un depósito de granulometría fina, con predominio de lutitas, en el que se intercalan esporádicos cantos de areniscas, en su mayor parte procedentes de las vertientes. Tapizan de forma ligera el sustrato arcilloso de algún fondo de valle así como el de parte de sus vertientes.

Se atribuyen al Holoceno, al igual que las formas elementales que lo integran, es decir, coluviones y fondos de valle.

3.4.7. Fangos. Depósitos perilagunares (g). Holoceno

Se trata de materiales finos de tipo lutítico que orlan diversas zonas húmedas de la Hoja. Estos depósitos arcillosos, tipo fangos, presentan tonalidades rojizas y suelen tener poco espesor y un desarrollo a veces importante de vegetación.

Se localizan en la Hoja en el entorno del pantano de las Cañas, cerca de la carretera a Viana así como en el pantano de La Grajera, ya en La Rioja cerca de Logroño. Se trata de sedimentos actuales.

3.4.8. Escombros y vertidos. Depósitos antrópicos (h). Holoceno

Tan sólo se ha diferenciado un reducido grupo de depósitos de esta naturaleza, relacionados con escombreras de canteras o vertederos municipales; en las primeras predominan las acumulaciones de gravas, en tanto que en los segundos se puede encontrar cualquier tipo de material, natural o no, con dimensiones muy variables. En cualquiera de los casos, su espesor varía constantemente, dentro de márgenes métricos a hectométricos. Obviamente, se trata de un depósito actual.

3.5. EVOLUCIÓN DINÁMICA

Lógicamente, es difícil establecer la evolución geomorfológica de una zona de reducidas dimensiones sin integrarla dentro de un ámbito regional más amplio, por lo que es preciso el tratamiento de la Hoja de Logroño dentro del contexto de la Depresión del Ebro.

El proceso de desmantelamiento del relieve se inició a comienzos del Cuaternario y fue conducido por los agentes externos, sin que deba olvidarse que la evolución del mismo ha estado condicionada en todo este periodo por la estructura y litología del sustrato.

El encajamiento de la red fluvial como principal modelador de la zona, ha llevado aparejados una serie de procesos erosivos y sedimentarios entre los cuales destacan la

erosión de los relieves por parte de los cauces principales Ebro e Iregua y la acumulación de depósitos, que en sucesivos encajamientos se han configurado como terrazas, algunas de ellas desarrolladas de forma amplia y extensa, como es el caso del Iregua. La erosión vertical de la red fue acompañada por un retroceso de las laderas, favorecido por los procesos gravitacionales.

Una vez esbozada la red principal, con valles aún poco pronunciados, posiblemente a partir del Pleistoceno medio dio comienzo el encajamiento generalizado de la red secundaria, que propiciaría, no sólo un incremento de la superficie susceptible de ser atacada por los procesos denudativos, sino también el desarrollo de sistemas de conos de deyección y de glaciares, generalmente orlando los principales relieves.

Ya en el Holoceno, la dinámica fluvial ha seguido gozando de una gran preponderancia en el modelado de la región, tanto por la acción llevada a cabo en los fondos de los valles como, en menor medida, por la ejercida a través de los conos de deyección. Por otra parte, los procesos de las laderas ahora sí permanecen “momentáneamente” conservados en forma de coluviones, en tanto que la influencia del sustrato se pone de manifiesto por la profusión de escarpes, mesas y cerros cónicos que la erosión ha modelado y que constituyen elementos inseparables del paisaje actual en la región.

3.6. MORFOLOGÍA ACTUAL-SUBACTUAL Y TENDENCIAS FUTURAS

La fisonomía actual de la Hoja de Logroño es debida fundamentalmente a dos factores, la estructura del sustrato y el encajamiento de la red fluvial, cuya preponderancia se plasma en la existencia de dos dominios morfológicos principales.

La estructura está condicionada por la existencia de un sustrato arcilloso en el que se intercalan niveles areniscosos y carbonatados, de mayor competencia, en disposición horizontal o subhorizontal y en el ámbito regional estructurado en grandes pliegues de orientación E-O. Por su parte, la red fluvial se encaja mediante procesos de incisión vertical, más acusados en la red secundaria de las zonas de mayor relieve, estos procesos van acompañados por retrocesos de las laderas y en algunas zonas, erosión lateral de los cauces y acarreamientos; en el valle del Iregua se producen importantes fenómenos de aluvionamiento.

La previsible evolución del relieve a corto plazo no sugiere modificaciones importantes en relación con los procesos actuales, siendo de esperar una tendencia general de aproximación del relieve al nivel de base local, marcado por el Ebro. Si bien en las áreas de afloramiento de materiales blandos se incrementará la tendencia a suavizar las formas, incluso con aparición de tendencias endorreicas, la superior resistencia a la erosión de algunos niveles podría exagerar los desniveles de algunas formas estructurales. Otro probable efecto futuro es la captura de algunos cursos del sector septentrional o del cuadrante suroccidental, adaptándose así a la pendiente regional.

4. HISTORIA GEOLÓGICA

La síntesis descriptiva de la evolución geológica realizada en este capítulo es válida para la mitad septentrional de la Hoja a escala 1:50.000 de Logroño (204), a la que pertenece este cuadrante.

Buena parte del registro estratigráfico al que se hace mención está representado únicamente en el subsuelo ya que los materiales aflorantes son predominantemente del Mioceno inferior-medio.

Los depósitos aflorantes pertenecen a la Depresión del Ebro y son todos ellos cenozoicos. En particular, el Terciario navarro-riojano en el que quedan incluidos estos materiales está compuesto por formaciones aluviales y lacustres continentales depositadas desde el Eoceno medio hasta el Mioceno superior, con una potencia que localmente alcanza los 5000 m. Los depósitos aluviales son depósitos de aluvial o fluviales hacia la parte más interna de la cuenca. Los depósitos lacustres son principalmente evaporíticos y se sitúan en la parte central de la misma, pero también tienen desarrollo los depósitos lacustres carbonatados, especialmente durante el Mioceno medio-superior. La posición de estos depósitos en la cuenca es muy variable, reflejo de una paleogeografía muy cambiante en el transcurso del tiempo.

La evolución de la cuenca sedimentaria ha estado directamente controlada por el levantamiento de las cordilleras limítrofes, principalmente por el Pirineo, que cabalgan los depósitos terciarios. Según esta influencia a nivel regional pueden diferenciarse varias etapas principales de sedimentación:

La primera etapa acontece en el Eoceno medio-superior: durante este periodo la cuenca navarro-riojana estuvo abierta al mar por su parte septentrional (cuenca de Pamplona). En el margen ibérico se depositaron los materiales aluviales de la Fm. Turruncún (700 m de potencia), mientras que en la zona pirenaica de influencia marina se depositó una potente unidad margosa de más de 1000 m de potencia (Margas de Pamplona) y un nivel evaporítico a techo (Potasas de Navarra). La zona de enlace entre ambos dominios es desconocida al no aflorar en ningún lugar y no disponerse de datos de subsuelo. A finales del Eoceno el levantamiento del Pirineo produjo la regresión del mar y la cuenca adquirió un carácter continental endorreico que ha perdurado hasta el Mioceno superior.

La segunda etapa tiene lugar durante el Oligoceno y Mioceno inferior basal: Constituye la etapa principal de relleno sedimentario de la cuenca, con una acumulación de 2000 m de depósitos aluviales proximales en el margen ibérico y más de 4500 m de depósitos aluviales distales, fluviales y lacustres evaporíticos en la zona central.

Durante el Oligoceno inferior la sedimentación lacustre estuvo localizada sobre el actual margen septentrional de la Cuenca del Ebro (estos depósitos en la actualidad están cabalgados por la Sierra de Cantabria y Cuenca de Pamplona). Se trata de las evaporitas de la Fm. Puente La Reina, de 400 m de espesor en el anticlinal de Añorbe. Entonces, toda la zona central y meridional de la cuenca estuvo ocupada por depósitos aluviales y fluviales procedentes de la Cordillera Ibérica, cuyas facies proximales constituyen la parte inferior de la Fm. Arnedo y las distales la Fm. Mués (más de 2000 m de potencia). Los depósitos aluviales y fluviales de procedencia pirenaica formaron una estrecha franja en la zona de enlace de las evaporitas de Puente La Reina con la cuenca surpirenaica de Jaca, representados por la parte inferior de la Fm. Sangüesa.

Durante el Oligoceno superior y el Mioceno inferior, como resultado del continuo levantamiento del Pirineo, el depocentro de la cuenca migró hacia el Sur, y con él la sedimentación lacustre, representada por las formaciones Falces (1000 m) y Lerín (600 m). Este desplazamiento lacustre estuvo acompañado de una regresión de los sistemas aluviales de procedencia ibérica (parte superior de la Fm. Arnedo) y a la vez la expansión de los de procedencia pirenaica (parte superior de la Fm. Sangüesa y parte inferior de la Fm. Ujué).

Desde el punto de vista paleogeográfico, los materiales más antiguos representados en las hojas son los Yesos de Falces del Oligoceno superior. Estos yesos representan un periodo con gran desarrollo de un sistema evaporítico de centro de cuenca que ocupó la mayor parte de la cuenca navarro-riojana. Por el sur, este sistema lacustre enlazó lateralmente con una estrecha franja de abanicos aluviales (parte inferior de la Fm. Arnedo), actualmente cobijados bajo los mantos de la Sierra de Cameros. Por el norte, el sistema lacustres enlazó lateralmente con los depósitos fluvio-lacustres representados por la parte inferiores de la Fm. Sangüesa, que formaron la zona de enlace de la cuenca navarro-riojana con la cuenca surpirenaica de Jaca-Pamplona

Las Arcillas de Marcilla corresponden a una etapa de reactivación de los sistemas aluviales por causa tectónicas, ocurrida durante el tránsito Oligoceno-Mioceno. Durante su

desarrollo el sistema evaporítico de Falces se desplaza hacia el NO de la cuenca, situándose en el actual sector NO de la Ribera de Navarra y por debajo de la Sierra de Cantabria. Las Arcillas de Marcilla representan el desarrollo de una extensa llanura aluvial en la parte central de la cuenca, enlazada lateralmente con los abanicos aluviales representados por la Fm. Arnedo al Sur, y con las facies fluvio-lacustres de Sangüesa al Noreste.

La Fm. Lerín representa el desarrollo de un nuevo sistema evaporítico que se inicia por la parte suroriental de la cuenca y progresivamente se expande hacia el NO, siendo su nivel más expansivo los Yesos de Los Arcos. A diferencia del sistema evaporítico de Falces, el de Lerín formó un surco evaporítico alargado, de dirección SE-NO, localizado sobre una franja centro-meridional de la cuenca, y relacionado lateralmente con amplios sistemas aluviales que en diferentes momentos invadieron el dominio evaporítico (desarrollo de ciclos y megaciclos evaporíticos). Por el Norte y Noreste este sistema evaporítico enlazó con una extensa llanura aluvial pirenaica representada por las facies de Allo, Sos y San Martín de la Fm. Ujué. Por el Sur, enlaza con los abanicos aluviales ibéricos representados por el techo de la Fm. Arnedo, y por el oeste (sector de la Bureba), con los depósitos aluviales distales y fluviales de la Fm. Nájera.

La tercera etapa de evolución sedimentaria tuvo durante el Mioceno inferior-superior: Durante el Mioceno inferior se produjo el plegamiento de la cuenca navarro-riojana como resultado de una etapa principal de compresión pirenaica. Se desarrollaron extensos pliegues de dirección NO-SE, que compartimentaron la cuenca en diferentes dominios sedimentarios, situados en los surcos sinclinales, más o menos independientes entre sí. El rasgo sedimentológico más relevante fue el hecho del desplazamiento de los grandes sistemas lacustres evaporíticos de centro de cuenca, característicos de la etapa anterior, hacia el sector aragonés (Fm. Zaragoza), convirtiéndose el sector navarro-riojano en una zona de sedimentación principalmente detrítica (Fms. Fitero y parte superior de la de Ujué, respectivamente en margen ibérico y pirenaico), con algunos sistemas lacustres carbonatados localizados en los núcleos de los sinclinales mayores y en la zona de enlace con el sector aragonés (Fm. Tudela).

Así pues, los depósitos situados estratigráficamente, por encima de la Fm. Lerín son sincrónicos o posteriores al plegamiento de la cuenca navarro-riojana, ocurrido durante el Ateniense superior. Así, las Facies de Alfaro representan un sistema fluvial desarrollado en el sinclinal de La Rioja Baja, que fue colector de los depósitos aluviales con área fuente en la Sierra de Cameros, y con drenaje hacia el SO. Las Facies de Tudela representan

depósitos aluviales distales y lacustres carbonatados desarrollados en dos diferentes ámbitos paleogeográficos: por un lado, están las Facies de Tudela localizadas en la región de Tudela-Las Bardenas. En este caso se trata de los depósitos de tránsito entre el sistema fluvial Alfaro y el sistema evaporítico representado en Aragón por la Fm. Zaragoza. Por otro lado, están las Facies de Tudela localizadas en los surcos sinclinales de Sesma y Miranda de Arga, que representan los depósitos de dos subcuencas de carácter principalmente lacustre carbonatado, aisladas de las áreas fuentes ibérica y pirenaica, cuyos depósitos detríticos proceden del reciclaje de los depósitos terciarios más antiguos erosionados en las crestas de los anticlinales contiguos.

El plegamiento de la cuenca navarro-riojana duró buena parte del Mioceno inferior, de forma sinsedimentaria a las facies de Alfaro y Tudela. Por este motivo, se reconocen frecuentes discordancias progresivas en ellas y desplazamientos de los ejes de las cubetas sinclinales durante su sedimentación.

La última etapa transcurre desde el Mioceno superior hasta la actualidad: A finales del Mioceno la cuenca del Ebro pierde su carácter endorreico y se abre al Mediterráneo comenzando un ciclo exorreico con un vaciado erosional importante de la cuenca, con encajamiento de la red de drenaje y desarrollo de todo el conjunto de formas de erosión y depósitos plio-cuaternarios y cuaternarios que recubren de forma discontinua la serie terciaria.

5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

5.1. RECURSOS MINERALES

En el territorio perteneciente a la Comunidad Foral dentro la Hoja se han reconocido 6 indicios. Todos ellos corresponden a canteras de gravas sobre depósitos de terrazas bajas y medias de la margen izquierda del Ebro y no registran en la actualidad actividades extractivas permanentes. Se describen además algunas sustancias que si bien no cuentan con indicios inventariados en la Hoja, presentan posibilidades de aprovechamiento minero.

5.1.1. Minerales y Rocas Industriales.

Las gravas constituyen la única sustancia con indicios registrados en la Hoja. Se describen también otras sustancias, arcillas, arenas y sal común, por sus posibilidades de aprovechamiento en el futuro.

5.1.1.1. Gravas

Se cuenta con seis indicios de esta sustancia listados en el territorio navarro de la Hoja.

Corresponden a canteras de dimensiones variables que se concentran a lo largo de la carretera NA-134.

Benefician depósitos clásticos de las terrazas medias y bajas del Ebro y las plantas de selección se encuentran en las propias canteras o en puntos muy próximos.

Litológicamente corresponden a gravas heterométricas de cantos bien rodados con contenidos variables en matriz arenosa y arenoso-limosa. El tamaño de los cantos varía entre 2 y 15 cm y corresponden mayoritariamente a calizas del Terciario y Mesozoico, y en menor medida a cuarcitas y areniscas.

La potencia de los niveles de terrazas es de orden métrico a decamétrico por lo que las canteras presentan frentes de explotación con alturas comprendidas entre 3 y 10.

Las explotaciones se encuentran en la actualidad inactivas o registran un funcionamiento ocasional con objeto de cubrir demandas locales relacionadas con la construcción o con el mantenimiento de las carreteras.

5.1.1.2. Arcillas

En el entorno de Logroño existen varias explotaciones de arcillas comunes si bien no se encuentra ninguna dentro del territorio navarro de la Hoja.

Las formaciones terciarias de la Hoja constituyen una importante fuente potencial de arcillas, especialmente la Fm. Alfaro, debido al marcado predominio de materiales lutíticos.

Mineralógicamente se caracterizan por su elevado contenido en minerales arcillosos de origen detrítico, caolinita, y especialmente illita (50-60%), lo que confirma su procedencia aluvial.

Las arcillas de la región se emplean principalmente para la elaboración de ladrillos. No se descarta no obstante la existencia de niveles de arcillas especiales (ricas en esmectita y sepiolita) asociadas a las facies lacustre-palustres de la Fm. Alfaro (Unidad Cartográfica 7).

5.1.1.3. Arenas y areniscas

Los términos arenosos de los niveles de terrazas son objeto de explotación en la región para la obtención de áridos.

Por otro lado en la zona se han establecido canteras sobre las principales intercalaciones de areniscas de las Fms. terciarias para la obtención de bloques de mampostería.

Dentro del territorio de la Comunidad Foral en la Hoja no se reconoce ninguna explotación de esta sustancia, que se ha citado en el presente epígrafe únicamente por su potencial.

5.1.1.4. Sal común

Se ha constatado por sondeos la presencia de grandes volúmenes de halita en el subsuelo de la región.

Los niveles yesíferos de las Fms. Falces y Lerín contienen sal, a profundidades poco distantes de la superficie, que puede extraerse mediante procedimientos simples de inyección de agua y bombeo de salmuera.

En la Hoja de Logroño, si bien no aflora ninguna unidad. evaporítica, hay que indicar que el techo de la Fm. Lerín se alcanzaría a escasa profundidad bajo la Fm. Alfaro (Unidad Cartográfica 7) en el extremo oriental de la Hoja y probablemente constituye el sustrato del cuaternario hacia el Este en el eje del valle del Ebro.

Teniendo en cuenta que en la parte superior de la Fm. Lerín se encuentra el intervalo evaporítico más importante (Yesos de Los Arcos) cabe destacar las posibilidades de aprovechamiento de la sal que contiene que podría destinarse a demandas locales (curtidos y alimentación, esencialmente).

5.2. HIDROGEOLOGÍA

5.2.1. Descripción de las formaciones

En el presente apartado se trata de forma agrupada y resumida el comportamiento hidrogeológico de las unidades cartográficas del Mapa Geológico diferenciadas en la Hoja atendiendo especialmente a la litología, geometría y permeabilidad.

5.2.1.1. Arcillas rojizas con intercalaciones de areniscas y calizas. Fms. Alfaro, Nájera y Haro. Mioceno inferior a medio

La serie terciaria de la Hoja está representada por arcillas rojizas que intercalan areniscas y calizas en bajas proporciones. Se han diferenciado cuatro unidades cartográficas (7 a 10) que corresponden litoestratigráficamente a las denominadas facies de Alfaro, Nájera y Haro, enumeradas de muro a techo.

Las Facies Alfaro o Fm. Alfaro ocupan buena parte de la mitad meridional de la Hoja extendiéndose a la esquina NE, mientras que las Facies Nájera y Haro se distribuyen al NNO de Logroño.

La potencia de la serie terciaria aflorante en la Hoja se cifra en unos 300 m y se registran valores bajos de buzamientos, inferiores a los 10°, que definen un anticlinorio muy laxo con el eje centrado en el valle del Ebro.

La permeabilidad del conjunto es muy baja dado el marcado predominio de los términos arcillosos y la escasa entidad de las intercalaciones. Únicamente las Facies Haro contienen niveles areniscosos relevantes (espesor métrico) que pueden constituir horizontes aislados de mayor permeabilidad y permitir cierta circulación de agua en zonas próximas a la superficie por fisuración, descalcificación y descompactación de las areniscas.

5.2.1.2. Gravas, arenas y lutitas. Formaciones cuaternarias de alta permeabilidad

Se tratan de forma agrupada en este punto las formaciones permeables del Cuaternario.

Litológicamente corresponden a depósitos de gravas y arenas que pueden contener términos lutíticos en proporciones menores.

Su origen está ligado a la dinámica fluvial de los ríos Ebro e Iregua. Las terrazas medias y bajas se desarrollan de forma escalonada a ambos márgenes de los dos cursos ocupando extensas superficies junto con materiales clásticos de génesis fluvial, y las terrazas altas aparecen de forma aislada, desconectadas de los cauces actuales.

La potencia de estos depósitos es por lo general de orden métrico (1-10 m) aunque pueden registrarse localmente valores mayores sobre sustratos yesíferos colapsados.

La permeabilidad es alta por porosidad intergranular dada su granulometría grosera, escasez de matriz lutítica y poca o nula cementación.

5.2.1.3. Fangos, arenas y lutitas con cantos. Formaciones cuaternarias de media y baja permeabilidad

Se agrupan en el presente epígrafe las formaciones del Cuaternario que están constituidas litológicamente por lutitas con un contenido variable en elementos clásticos.

Corresponden principalmente a depósitos de ladera; conos aluviales, coluviones y glaciares

Su composición litológica depende del área de procedencia consistiendo generalmente en fangos con cantos de calizas y de areniscas en proporciones variables.

Alrededor de los dos pantanos existentes (Las Cañas y La Grajera) se extiende una orla periférica de fangos con muy escasos elementos clásticos.

La permeabilidad es, en términos generales, bastante baja para este conjunto de depósitos, si bien puede aumentar localmente por lavado de los finos, permitiendo el paso de agua por porosidad intergranular.

5.2.2. Unidades acuíferas.

Se describen a continuación las Unidades Hidrogeológicas que albergan formaciones geológicas susceptibles de almacenar y transmitir el agua, y por lo tanto capaces de constituir acuíferos.

En el Proyecto Hidrogeológico desarrollado entre 1975 y 1977 por la Diputación Foral de Navarra (D.F.N.), los materiales de la zona se agrupan en 2 Unidades Hidrogeológicas con funcionamiento independiente, si bien pueden presentar localmente algunas conexiones.

Por orden cronoestratigráfico son:

- Unidad Hidrogeológica Sur

- Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes

5.2.2.1. Unidad Hidrogeológica Sur

Geometría.

La Unidad Hidrogeológica Sur está representada por los materiales terciarios de relleno de la Cuenca del Ebro en condiciones endorreicas.

La Hoja se emplaza en el sector centro-oriental de la Cuenca por lo que predominan las facies lutíticas de origen aluvial, constituyendo un conjunto bastante impermeable.

La estructuración de la serie terciaria en la zona se realiza a partir de una serie de pliegues de gran radio ampliamente extendidos en dirección ESE-ONO, con buzamientos crecientes hacia los ejes anticlinales. En la Hoja predominan sin embargo los buzamientos suaves generalmente inferiores a los 10°.

Las formaciones lutíticas intercalan niveles de areniscas y calizas de escasa potencia (decimétrica). En ocasiones los niveles de areniscas alcanzan espesores de orden métrico constituyendo acuíferos locales de escasa entidad.

Funcionamiento hidrogeológico

Los niveles más potentes de areniscas pueden formar pequeños acuíferos confinados que permiten cierta circulación de agua en zonas con desarrollo de fracturación y/o diaclasado y especialmente en situación próxima a la superficie donde presentan procesos de descalcificación. A mayor profundidad disminuye la porosidad por una mayor cementación, aumentando la mineralización de las aguas.

La recarga se produce esencialmente por infiltración del agua de lluvia. La descarga se realiza por manantiales dispersos y por transferencia hacia los ríos a través de depósitos cuaternarios permeables. Los caudales registrados en los manantiales y pozos son bajos, con valores inferiores a 1 l/s.

Parámetros hidráulicos:

No existen datos concretos de permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc., basados en ensayos de bombeo o test hidráulicos realizados en la zona.

El elevado grado de consolidación de muchos de los niveles areniscos limita la porosidad eficaz y por tanto su permeabilidad. Esto, unido a su carácter anisotrópico o individualizado reduce las posibilidades de explotación.

5.2.2.2. Unidad Hidrogeológica del Aluvial del Ebro y Afluentes

Geometría

De acuerdo con la descripción propuesta en D.F.N., (1975-77), la presente Unidad Hidrogeológica comprende las llanuras aluviales o fondos de valle y las terrazas encajadas del río Ebro y sus principales afluentes.

Se extiende desde Logroño hasta Cortes y ocupa una superficie de unos 900 km², de los que 735 km² pertenecen a Navarra.

En el valle del Ebro la Unidad posee una anchura de unos 4-6 km, por término medio.

Litológicamente los niveles acuíferos corresponden a arenas y gravas de cantos heterométricos que registran una escasa o nula cementación. Suelen estar incluidos en materiales fangosos de inundación consistentes en limos y arcillas.

La potencia de los niveles acuíferos es bastante uniforme, con valores medios de unos 20 m, si bien se pueden alcanzarse hasta más de 30 m sobre sustratos yesíferos debido a fenómenos de disolución y colapso de las evaporitas.

Otros depósitos cuaternarios permeables, entre los que destacan las terrazas altas, se encuentran generalmente desconectados de los valles principales, constituyendo acuíferos locales aislados.

Funcionamiento hidrogeológico.

El sistema del aluvial del Ebro y afluentes se comporta como un acuífero único de carácter libre en el que los diversos niveles de terrazas están conectados hidráulicamente.

La recarga se realiza esencialmente por infiltración del agua de lluvia (estimada para la Unidad en unos 45 hm³/año) y de los excedentes de los riegos (unos 90 hm³/año) y en menor medida, por escorrentía de las aguas procedentes de los relieves circundantes o transmitidas por otros acuíferos e inundaciones estacionales por desbordamientos de los ríos.

La explotación del agua subterránea supone alrededor del 30% de la recarga, por lo que los ríos son efluentes y constituyen las principales vías de descarga de la Unidad. No obstante pueden registrar esporádicamente un comportamiento como influentes por inundaciones en épocas de crecidas.

La piezometría del sistema está predominantemente influida por los ríos, presentando oscilaciones de nivel del orden de unos 4 m. En general se establece una buena conexión río-acuífero con niveles altos en primavera-invierno y bajos en verano. Localmente se distinguen zonas de conexión hidráulica deficiente, con oscilaciones de nivel de unos 2 m. La piezometría está directamente condicionada en estos casos por los retornos de los riegos observándose un comportamiento inverso al general, con niveles altos en verano y bajos en primavera-invierno. El gradiente hidráulico oscila entre 2 y 0,05 %.

En los acuíferos colgados la recarga se establece por infiltración del agua aportada por la lluvia y por los riegos. La descarga se realiza a favor de pequeños manantiales y por transferencia a otras formaciones más o menos permeables.

Parámetros hidráulicos.

Se han recopilado los datos existentes en el libro de "Las aguas subterráneas en Navarra" (D.F.N., 1975-77). En el marco de dicho proyecto se realizaron ensayos que proporcionaron para el aluvial del Ebro unos valores de transmisividad comprendidos entre 10.000 y 200 m²/día siendo muy frecuentes los registros de 1000-2000 m²/día. La porosidad eficaz es de un 10-30 %.

Las reservas evaluadas para el acuífero aluvial del Ebro se reflejan en el siguiente Cuadro, habiéndose estimado un espesor saturado medio y una porosidad eficaz del 10%.

RESERVAS ESTIMADAS DEL ACUÍFERO DEL ALUVIAL DEL RÍO EBRO

| Acuífero | Superficie(km²) | Espesor saturado medio (m) | Porosidad % | Reservas (hm³) |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| <i>Ebro</i> | 530 (370*) | 16 | 10 | 848 (592*) |

(* : Superficie comprendida dentro del territorio navarro)

Las aguas del acuífero del Ebro muestran una calidad química variable, aunque en la zona se trata de aguas duras, bastante mineralizadas, bicarbonatadas y sulfatadas cálcicas.

5.3. GEOTECNIA

5.3.1. Introducción

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 de Logroño (204-I) correspondiente al Mapa 1:50.000 con el mismo nombre y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

La escasa disponibilidad de datos procedentes de obras y proyectos ha condicionado que la valoración geotécnica de esta Hoja se realice fundamentalmente a partir de las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales, por lo que se trata de una valoración esencialmente cualitativa

El objetivo de este trabajo es proporcionar al usuario una información complementaria de carácter general, pero lo suficientemente objetiva, que sirva de punto de partida para orientar hacia futuros trabajos de planificación territorial y campañas geotécnicas puntuales.

5.3.2. Metodología

Para la realización de este capítulo se han seguido las siguientes etapas:

- Recopilación de los datos existentes. En todo el ámbito de esta Hoja no hay datos geotécnicos disponibles procedentes de obras u otro tipo de trabajos. Para solventar esta deficiencia, la información se completa con la procedente de unidades equivalentes en Hojas próximas

- Realización de la base de datos. Ante la ausencia de datos no se ha elaborado ficha geotécnica de recopilación de ensayos de laboratorio. Estos ensayos tratan de establecer, de la manera más adecuada la posible la naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y, la evolución y propiedades de la misma bajo los procesos de meteorización. Cuando existen, los ensayos de laboratorio se puede clasificar en los siguientes grupos:

. Identificación; establecen la naturaleza de la roca y su estado natural aparente (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad, absorción, grado de meteorización).

. Clasificación; intentan establecer una idea general del comportamiento de la roca con relación a criterios previamente establecidos. (Índice de Calidad, resistencia a compresión simple, point load test).

. Resistencia, compactación y deformación; determinan parámetros resistivos y relaciones tensión-deformación. Algunos de estos ensayos se utilizan como base para múltiples clasificaciones (CBR, Proctor Normal, Corte Directo).

. Alterabilidad; evalúa el comportamiento del macizo rocoso frente a los procesos de meteorización, una vez modificados sus condiciones originales de estabilidad. (análisis químicos, hinchamiento, durabilidad).

Igualmente, se suelen consultar datos referentes a sondeos y penetrómetros, en este caso también inexistentes reseñándose, cuando es posible, el índice de calidad de la roca (R.Q.D.)

- Zonificación en áreas de iguales características. A partir de los datos anteriormente comentados e interpretando las unidades geológicas cartografiadas, se procede a la zonificación de la superficie de la Hoja en áreas de iguales características (geotécnicas y litológicas). En este caso, ante la ausencia de ensayos, los criterios

seguidos para establecer esta zonificación han sido las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales, observadas durante los reconocimientos de campo.

5.3.3. Zonificación geotécnica

5.3.3.1. Criterios de división

La superficie de la Hoja 204 de Logroño se ha dividido, en función de la intensidad del plegamiento y de la edad de los materiales, en tres Áreas que presentan una entidad propia y cierta homogeneidad. Posteriormente, estas áreas han sido divididas a su vez en un total de diez Zonas, siguiendo criterios básicamente litológicos y morfológicos, ya que son estos los que permiten diferenciar desde un punto de vista geotécnico los materiales de cada área.

5.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas

Las Areas geotécnicas consideradas en el conjunto de la Hoja 204 de Logroño son las siguientes:

ÁREA I: Engloba los materiales plegados del Oligoceno superior y Mioceno inferior

ÁREA II: Comprende los materiales poco plegados o subhorizontales de la parte alta del Mioceno inferior y del Mioceno medio

ÁREA III: Agrupa todos los depósitos cuaternarios

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas:

ÁREA I: ZONAS I₁, I₂, I₃ y I₄

ÁREA II: ZONA II₁

ÁREA III: ZONA III₁, III₂, III₃, III₄.

En el Cuadro 1 se presenta la correlación entre las Unidades Geológicas cartografiadas y las Zonas Geotécnicas para el caso particular de la Hoja 1:25.000 de Logroño

| UNIDAD CARTOGRÁFICA | ZONACIÓN GEOTÉCNICA | DESCRIPCIÓN |
|---------------------------|---------------------|--|
| 24 | III ₄ | Escombreras y vertederos |
| 23 | III ₃ | Fangos |
| 22 | III ₂ | Lutitas y arenas con cantos y bloques |
| 12a 14, 15 a 18 19,20, 21 | III ₁ | Gravas y arenas, arenas con cantos, lutitas y limos ocre |
| 7,8,9,10 | II ₁ | Arcillas rojas y ocre con intercalaciones de areniscas y calizas |

CUADRO 1.- CORRELACIÓN ENTRE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS Y ZONAS GEOTÉCNICAS EN LA HOJA DE LOGROÑO (204-I)

5.3.4. Características geotécnicas

5.3.4.1. Introducción

La falta de datos geotécnicos puntuales ha condicionado la caracterización geotécnica de cada una de las zonas. En algunos casos se ha realizado una caracterización por correlación a litologías similares de áreas próximas o del ámbito de la Comunidad Navarra. Por esta razón se trata de una caracterización aproximada. Por otra parte, la generalización de valores de ensayos puntuales al conjunto de una Zona, es complicada, sobre todo cuando en ella coexisten varios conjuntos litológicos con un comportamiento geomecánico diferente, y que no admiten ser diferenciados por razones de escala de trabajo. Cuanto mayor sea la heterogeneidad litológica de cada Zona, mayor será la dispersión de los valores; por tanto, la mayor o menor fiabilidad de los datos aportados vendrá condicionada por el grado de homogeneidad litológica de las Zonas Geotécnicas.

De cada Zona Geotécnica se aportan datos sobre características constructivas, tales como condiciones de cimentación, excavabilidad, estabilidad de taludes, empuje sobre contenciones, aptitud para préstamos, aptitud para explanada de carreteras y comportamiento para obras subterráneas. Así mismo, se señalan los principales problemas geotécnicos que pueden presentarse y que en general, van a estar relacionados con la presencia de: turbas o arcillas compresivas, nivel freático superficial, zonas de alteración superficial del sustrato rocoso, erosiones y arrastres de materiales en laderas, desprendimientos de rocas y, finalmente, suelos solubles y agresivos (yesíferos y salinos).

A continuación se describe el tipo de información que se obtiene a partir de los ensayos de laboratorio. Hay que señalar que estos valores deben considerarse como orientativos y en ningún caso pueden sustituir a los ensayos geotécnicos de detalle.

Granulometría. Del análisis granulométrico se obtiene el contenido de finos que presenta el suelo, es decir, el porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 (0.08 mm) de la serie ASTM. Estos datos son utilizados posteriormente en diversas clasificaciones.

Plasticidad. Sirve para clasificar los suelos cohesivos mediante los parámetros del límite líquido (WL) y el índice de plasticidad (IP), utilizando la carta de plasticidad de Casagrande.

Resistencia a compresión simple (Q_u , Kp/cm^2). Determina las características de resistencia y deformación de una muestra seca. Respecto a la resistencia de suelos y rocas, existen numerosas clasificaciones; una de la más utilizada, es la descrita por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas:

| ROCA | | ENSAYO DE CAMPO | |
|------------------|-----------|----------------------|----------------------------------|
| Descripción | Co (MPa) | Navaja | Martillo geológico |
| Ext. resistente | > 250 | No corta | El golpe arranca pequeños trozos |
| Muy resistente | 100 - 250 | No corta | Se rompe con muchos golpes |
| Resistente | 50 - 100 | No corta | Se rompe con varios golpes |
| Medio resistente | 25 - 50 | No corta | Se rompe con un solo golpe |
| Blanda | 5 - 25 | Corta con dificultad | Puede indentarse con el pico |
| Muy blanda | 1 - 5 | Corta fácilmente | Se puede machacar |

Ensayo Proctor Normal. Permite calcular la densidad máxima y humedad óptima de compactación del suelo o material utilizado en explanada, con el fin de que adquiera las condiciones de estabilidad volumétrica, resistencia, indeformabilidad e inalterabilidad necesarias.

Ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio). Evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas.

Ensayo de corte directo. Permite determinar la cohesión (c) y el ángulo de rozamiento interno (ϕ) de una muestra de roca o discontinuidad. Es de gran aplicación práctica en el cálculo de estabilidad de taludes.

Análisis químico. Sirven para obtener el contenido en Materia Orgánica, Carbonatos y Sulfatos. Estos últimos permiten determinar la agresividad del terreno mediante el contenido en sulfatos, valorado según la normativa que se expone a continuación:

| <i>En las aguas</i> | <i>En el terreno</i> | <i>Agresividad</i> |
|---------------------|----------------------|--------------------|
| < 0,03 | < 0,2 | Débil |
| 0,03 a 0,1 | 0,2 a 0,5 | Fuerte |
| > 0,1 | > 0,5 | Muy fuerte |

Las características constructivas de los diferentes materiales se estudian para condiciones de cimentación y para obras de tierra.

- Cimentación. Se evalúa la capacidad portante del terreno. Normalmente se ha utilizado el criterio expuesto en el Código Británico nº 4 y Norma DIN-1054, que establece cargas admisibles de 15 Kp/cm² y de 30 Kp/cm² para roca poco diaclasada y no meteorizada con estratificación favorable en estado masivo o columnar. (En caso de rocas diaclasadas o con disposición desfavorable de los planos de estratificación, estos valores deberán reducirse a la mitad.

| <i>Descripción de la roca</i> | <i>Kp/cm²</i> |
|--|--------------------------|
| Roca ígnea o gnéisica sana | 109 |
| Calizas masivas y areniscas duras | 44 |
| Esquistos y pizarras | 33 |
| Lutitas duras, limolitas y areniscas blandas | 22 |
| Lutitas arcillosas | 11 |

Cargas admisibles según el Código de Práctica Británico nº 4, para diferentes tipos de roca.

En suelos y debido a que no se dispone de datos sobre asientos, éstos se estiman en función de la consistencia media del terreno. Asimismo, se señalan los problemas concretos de cimentación que pueden darse en cada Zona Geotécnica; los más generalizados están relacionados con asientos diferenciales, presencia de agua subterránea, presencia de sulfatos en el sustrato, debido a la alta reactividad de los mismos con el hormigón, y riesgos de colapsos en aquellas unidades con presencia potencial de cavidades subterráneas.

- Excavabilidad. Los terrenos se han clasificado de acuerdo con la Norma Tecnológica de Edificación (Acondicionamiento del Terreno. Desmontes. Vaciados; NTE-ADV, 1976)) en los siguientes grupos: 1) Duro. Atacable con máquina o escarificador, pero no con pico, como terrenos de tránsito, rocas descompuestas, tierras muy compactas; 2) Medio. Atacable con el pico, pero no con la pala, como arcillas semicompactas, con o sin gravas o gravillas; 3) Blando. Atacable con la pala, como tierras sueltas, tierra vegetal, arenas. Cuando en la excavación se encuentran mezclados los terrenos se establece el porcentaje de cada uno de los tres tipos.

- Estabilidad. Dos son los parámetros que condicionan estos procesos: litología (y estructura) y pendiente del talud. En consecuencia, en cuanto a la naturaleza de los materiales se evalúa su estabilidad en tres grupos (alta, media y baja), desechándose aquellas unidades geológicas que por su litología no son favorables a la aparición de situaciones de inestabilidad. Por lo que se refiere a la pendiente, se estima una inclinación del 10% como límite inferior a la aparición de estos fenómenos.

- Empujes sobre contenciones. Hacen referencia a contenciones del terreno natural, no de rellenos realizados con los materiales de cada zona.

- Aptitud para préstamos. Se ha utilizado básicamente el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de la Dirección General de Carreteras (P.P.T.G.). El término No Apto designa suelos inadecuados; Marginal, designa suelos que unas veces son inadecuados y otras tolerables e incluso adecuados; el término Apto, designa suelos tolerables, adecuados e incluso seleccionados.

- Aptitud para explanada en carreteras. Se evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas.

Se ha tomado como referencia la Instrucción de Carreteras, Normas de Firmes Flexibles y Firmes Rígidos. Se entiende por suelo No Apto, aquel que no puede constituir un desmonte ni un terraplén explanada tipo E-1 (Suelos tolerables al menos estabilizado en sus 15 cm superiores, con CBR de 5 a 10). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha condición; en especial suele referirse a terrenos tolerables, que no conviene que sean explanada directamente (CBR de 10 a 20). Aptos, son terrenos frecuentemente adecuados y seleccionados; constituyen explanadas tipo E-3 (CBR > 20).

En terraplenes y pedraplenes, la categoría de la explanada dependerá del material utilizado en su coronación.

En obras subterráneas. Se utiliza el término "Muy Dificil" para suelos muy blandos por debajo del nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "Dificil" designa terrenos blandos o arenosos limpios bajo el nivel freático; y "Medio", suelos firmes, casi rocas blandas, que sólo a veces presentan problemas de nivel freático, con cierta capacidad de autoaporte y sin empujes fuertes.

Para las formaciones rocosas se da una idea de su categoría en las clasificaciones de Bieniawski (1979), que obtiene un índice de calidad (RMR, Rock Mass Rating), mediante la valoración de una serie de parámetros (RQD, Resistencia, Presencia de agua, Separación entre diaclasas y Disposición de juntas respecto a la excavación). El objetivo de esta clasificación es definir el tipo de sostenimiento a efectuar en obras subterráneas concretas.

Bieniawski establece cinco categorías en función del valor RMR:

Clase I Roca muy buena: RMR = 81-100

Clase II Roca buena: RMR = 61-80

Clase III Roca media: RMR = 41-60

Clase IV Roca mala: RMR = 21-40

Clase V Roca muy mala: RMR < 20

5.3.4.2. Área II

Zona II₁

Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona es la dominante en los alrededores de Logroño donde conforma relieves relativamente suaves en consonancia con su litología poco arcillosa que le confiere un carácter

general poco competente. Las intercalaciones de niveles duros (calizas y areniscas) son esporádicas y raramente superan los 10 cm. La actitud de los materiales es subhorizontal o ligeramente monoclinas.

La meteorización produce una alteración y cambio de coloración en la zona superficial de las arcillas fomentando la erosionabilidad ya de por sí elevada en estos materiales. En los niveles de calizas y areniscas se produce una pérdida de cementación

La permeabilidad es muy baja para toda la zona. Localmente puede haber permeabilidades más elevadas en tramos con porcentajes altos de areniscas

El contenido en yesos es muy bajo o inexistente.

No se dispone de ensayos de laboratorio.

Características constructivas:

a. Condiciones de cimentación

Se consideran cargas admisibles de 1,3 a 3 kp/cm² para las arcillas. La profundidad mínima de cimentación se estima en 1,5 a 2 m

Entre los problemas de cimentación pueden preverse los siguientes: a) variación del horizonte alterado, que puede provocar asientos diferenciales; b) intercalaciones de materiales detríticos y calcáreos, que producen variaciones en las condiciones geotécnicas, entre ellas la facilidad de excavación, y c) presencia ocasional de materia orgánica

b. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. En general se trata de un conjunto fácilmente excavable.

Estabilidad de taludes. Se pueden dar problemas de deslizamientos por la existencia de tramos potentes de arcillas

Empuje sobre contenciones. Moderados en arcillas

Aptitud para préstamos. No son materiales aptos para su uso en terraplenes y pedraplenes.

Aptitud para explanada en carreteras. En general deben constituir suelos E2 no aptos o marginales, que precisarán la extensión sobre ellos de una explanada mejorada.

Obras subterráneas. Se encuadran en la Clase IV (calidad Mala) de la Clasificación de Bieniawski (1979).

5.3.4.2. Área III

Zona III₁

Características Geológico-Geotécnicas

Constituyen los depósitos fluviales y aluviales de los principales valles y barrancos, y depósitos poligénicos, representados por conos de deyección, depósitos de fondo de valle, cauces abandonados y activos, terrazas y glaciares. Están formados por gravas y cantos de naturaleza calcárea, areniscosa y cuarcítica, arenas, limos y arcillas. Su proporción y distribución son muy variables, aumentando la proporción de finos en los depósitos poligénicos y en los de fondo de valle mientras que en las terrazas dominan las gravas. Estas últimas ocupan una extensión importante con relación a los cauces de los ríos Ebro e Iregua. La naturaleza de la fracción gruesa depende del área de procedencia.

Características geotécnicas

Se trata en general de materiales poco consolidados, aunque a veces presentan un cierto grado de cementación y donde los problemas geotécnicos están condicionados a su disposición geomorfológica y estratigráfica. En la presente Hoja no se dispone de ensayos geotécnicos. Sin embargo hay ensayos de materiales equivalentes, procedentes de catas realizadas sobre tramos arcillosos de terrazas aluviales y depósitos de glaciares de hojas próximas, que se consideran representativos para el conjunto de esta zona. Los valores medios obtenidos en estos ensayos son los siguientes:

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

| | |
|---|-----------------------------|
| Contenido en Grava (>5mm) | 5/65 % |
| Contenido en Arena (5-0.08mm) | 20/20 % |
| Contenido en Finos (<0.08mm) | 75/15 % |
| Límite Líquido (WL) | 28/- |
| Límite Plástico (WP) | 16/No plástico |
| Índice de Plasticidad (IP) | 12/- |
| Clasificación de Casagrande | CL/GW-GM |
| Densidad Máxima Proctor Normal | 1,8/2,13 gr/cm ³ |
| Humedad Óptima Proctor Normal | 15/7 % |
| Ángulo de Rozamiento Interno (ϕ) | 30,5/40 ° |
| Cohesión (C') | 1,0/2,20 |

En esta Zona hay que evaluar el riesgo potencial de inundaciones y avenidas debido a precipitaciones importantes concentradas. Presentan una permeabilidad variable entre alta (detríticos gruesos) y baja (áreas con alto contenido en finos), y un nivel freático continuo y somero.

Características constructivas

a. Condiciones de cimentación.

Para el conjunto de los materiales que definen la Zona, se estima una capacidad portante variable entre 1 y 3,5 Kp/cm², dependiendo de que se trate de un limo de consistencia más o menos rígida o una grava de compacidad alta, y de la presencia o ausencia de nivel freático.

El tipo de cimentación será superficial, salvo cuando no se reúnan las condiciones anteriores, las cargas proyectadas sean superiores a las dadas, en el caso de depósitos aluviales (con alto riesgo de avenidas), que será necesario encontrar niveles profundos

más resistentes (incluso el sustrato). En estos casos, el tipo de cimentación será semiprofunda.

Los condicionantes geotécnicos más importantes estarán relacionados con la posición del nivel freático, que puede dar lugar a subpresiones y fenómenos de inestabilidad en excavaciones y obras, así como agotamientos importantes. Por otro lado, la presencia de intercalaciones de arcillas blandas puede provocar asientos diferenciales no admisibles.

b. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Constituyen Terrenos Medios, su excavación puede efectuarse por medios mecánicos sin dificultad.

Estabilidad de taludes. La estabilidad del talud dependerá de la profundidad del nivel freático y del tipo de unidad morfológica. En general, para alturas superiores a 3 m pueden proyectarse taludes 3H: 4V. De manera ocasional, pueden producirse pequeños desprendimientos de cantos de escasa relevancia en los bordes de taludes subverticales.

Empujes sobre contenciones. Serán de tipo Medio. En zonas de gravas varían de Altos a Bajos en función de la profundidad del nivel freático.

Aptitud para préstamos. En general, constituyen Terrenos Marginales. Los tramos de gravas se consideran Aptos, si bien precisan una clasificación que elimine los tamaños gruesos (8-10 cm).

Aptitud para explanada en carreteras. Para constituir explanadas de tipo E-1 en desmontes en roca, precisan sobre ellos la extensión de 50 cm de Suelo Adecuado (ej: grava clasificada).

Obras subterráneas. La mayoría de las obras subterráneas de envergadura afectan al sustrato. Sin embargo en obras de menor diámetro (conducciones subterráneas) encontrarán Terrenos Difíciles, según lo establecido en la metodología, que precisarán entibación total.

Zona III₂

Características Geológico-Geotécnicas

Esta Zona está definida por depósitos cuaternarios relacionados con procesos de gravedad como son los coluviones. Estos se sitúan a pie de ladera y también a media ladera, favorecidos por la construcción de muros de mampostería para evitar procesos erosivos y lograr superficies planas de cultivo.

Están formados por arcillas limosas o areniscas con abundantes cantos y gravas de materiales carbonatados y areniscosos que se presentan sueltos, sin ningún tipo de cementación. Aunque en conjunto son depósitos relativamente frecuentes, poseen un reducido espesor (3-7 m) y carácter errático.

Características geotécnicas

Se trata de depósitos escasamente consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados con la disposición geomorfológica y estratigráfica de los materiales. Tampoco se dispone de ensayos geotécnicos, pero, dada la homogeneidad de estos materiales, se pueden extrapolar para esta zona los parámetros geotécnicos obtenidos en unidades equivalentes de Hojas próximas. En esta ocasión se dispone de ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas en depósitos coluvionares de la Hoja de Sangüesa (174). A continuación se describen los valores más significativos.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

| | |
|------------------------------|-------------------------|
| Humedad | 20,5 % |
| Contenido en Finos (<0.08mm) | 80,4 % |
| Límite Líquido (WL) | 28,1-40,4 |
| Índice de Plasticidad (IP) | 12,3-19,2 |
| Densidad PROCTOR | 1,86 gr/cm ³ |
| Humedad PROCTOR | 12,7 % |
| CBR 100 % Densidad PROCTOR | 14 |
| Clasificación de Casagrande | GC-CL |

| | |
|---|--------|
| Contenido en Sulfatos | 0,01 % |
| Ángulo de Rozamiento interno (ϕ) | 38° |

Basándose en los datos existentes, los materiales analizados están constituidos por suelos limo-arcillosos de baja plasticidad, que presentan un cierto contenido en grava y arena. Presentan consistencia media, baja capacidad portante, y un valor alto en el índice CBR, por lo que su comportamiento en explanadas puede calificarse como aceptable.

Desde un punto de vista hidrogeológico, carecen, en conjunto, de un nivel freático continuo.

Características constructivas

a. Condiciones de cimentación.

Se consideran cargas admisibles entre 1,5-2,5 Kp/cm². En general, se debe cimentar sobre el sustrato rocoso, mediante cimentación superficial o semiprofunda por pozos, todo ello en función de la profundidad de los materiales, con el fin de evitar posibles fenómenos de inestabilidad, sobre todo en áreas con pendientes apreciables. Hay que prestar atención al contenido en humedad ante la posibilidad de cambios volumétricos.

b. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Se consideran Terrenos Medios; su excavación puede realizarse por medios mecánicos sin dificultad.

Estabilidad de taludes. Constituyen depósitos no consolidados estables en condiciones naturales si no se alteran sus condiciones de equilibrio.

Empuje sobre contenciones. En general, serán de tipo Medio.

Aptitud para préstamos. Previa eliminación de la cubierta vegetal, constituyen suelos Marginales, o incluso Adecuados.

Aptitud para explanada en carreteras. En desmontes definen explanadas tipo E-0 ó E-1.

Obras subterráneas. Debido a su reducido espesor, este tipo de obras afectarán a materiales del sustrato. No obstante, para obras de pequeña envergadura, nos encontraremos con Terrenos Dificiles, que en principio precisarán entibación total.

Zona III₃

Características Geológico-Geotécnicas

Esta zona está definida por depósitos de naturaleza limo-arcillosa con contenidos variables de restos vegetales. Se localizan principalmente en las zonas perimetrales de los pantanos de Las Cañas y La Grajera. Su espesor no supera los 1,5 m

Se trata de depósitos arcillosos de extensión reducida y poco consolidados que se comportan como un suelo de consistencia blanda.

Características constructivas

a. Condiciones de cimentación

A falta de ensayos más precisos pueden considerarse valores contenidos en las diferentes Normas y Códigos. Así, el Código de Práctica Británico establece para este tipo de materiales presiones admisibles entre 0,75 y 1,5 kp/cm², esperándose asientos de consolidación a corto- medio plazo. Para la Norma DIN 1054 a una profundidad de cimentación de 2 m, las cargas admisibles en este tipo de arcillas es del orden de 2,5 - 3 kp/cm², esperándose asientos en torno a 4 cm.

Dado su escaso espesor y consistencia se recomienda en todo caso su removilización ya que no son terrenos aptos para cimentaciones superficiales

b. Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad. Estos materiales se consideran terrenos Medio-Blandos, su excavación podrá realizarse por medios mecánicos sin ningún tipo de problemas.

Estabilidad de taludes. En general van a depender de la extensión del afloramiento y del espesor de los materiales. Pueden producirse pequeños deslizamientos de carácter superficial.

Empuje sobre contenciones. Serán variables en función del grado de saturación de los materiales. Pueden considerarse de bajos a medios.

Aptitud para préstamos. Se consideran materiales no aptos para préstamos.

Aptitud para explanada en carreteras. Se trata de Materiales No Aptos.

Obras subterráneas. En general, las obras subterráneas importantes afectarán al sustrato. Obras de menor entidad, encontrarían un terreno tipificado como "Difícil".

Zona III₄

Características Geológico-Geotécnicas

Se trata de depósitos artificiales de escombreras o vertederos, acumulados durante la realización de obras civiles. Están formados bien por margas o por una acumulación caótica de bloques, cantos y lutitas. La naturaleza de los bloques es muy dispar. aunque por lo general son de areniscas y calizas

Son materiales poco o nada consolidados con gran número de problemas geotécnicos

Características constructivas

a Condiciones de cimentación.

Son desaconsejables para la construcción por la gran cantidad de problemas que pueden plantear: asientos diferenciables, escasa capacidad portante etc. Para la construcción se recomienda su desmonte y limpieza hasta llegar al sustrato.

b Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Constituyen terrenos fácilmente ripables, de tipo Medios y Blandos. Su excavación puede efectuarse por medios mecánicos sin dificultad.

Estabilidad de taludes. La estabilidad del talud dependerá de la altura a la que se proyecte, pudiendo producirse en ocasiones desprendimientos de cantos y bloques.

Aptitud para préstamos. En general, constituyen terrenos inadecuados o aptos para préstamos previo tratamiento

Aptitud para explanada en carreteras. Para constituir explanadas no son aptos, necesitando Suelo Adecuado (ej.: grava clasificada). previa compactación y desarrollo

Obras subterráneas. Terrenos Muy difíciles para las obras subterráneas de envergadura por lo que precisarán entibación total.

6. BIBLIOGRAFÍA

ATARES, A.; ORTEGA, A. y PÉREZ, F. (1983): Fallas cuaternarias en las proximidades de Alcanadre y en la Rioja Baja. Cuad. Inv. Geogr., 9, 29-39. Logroño.

ALVAREZ, M.A. (1987). Estudio sistemático y bioestratigráfico de los Eomyidae (Rodendia) del Oligoceno superior y Mioceno inferior español. Scripta Geologica, 86, 207 pp.

ALVAREZ, M.A.; DAAMS, R.; LACOMBA, J.I.; LOPEZ, N. y SACRISTAN, N.A. (1987). Succession of micromammal faunas in the Oligocene of Spain. Muncher Geowiss, Abh (A), 10, pp 43-48.

ASTIBIA, H.; MORALES, J. y SESE, C. (1981). Tarazona de Aragón, nueva fauna miocena de vertebrados. Turiaso, 11, pp 197-203.

BOMER , B. Y RIBA, O.(1965). Deformaciones tectónicas recientes por movimientos de yesos en Villafranca de Navarra. Com. C. 6-3 del Tomo V de las publicaciones del I Col. Inter. sobre las obras públicas en terrenos yesíferos.

CASTIELLA, J.; SOLE, J. y DEL VALLE, J. (1978). Mapa Geológico de Navarra, 1:200.000, Publ. Diputación Foral de Navarra.

CASAS, A. M., BENITO, G. (1988). Deformaciones cuaternarias debidas a procesos diapíricos en la depresión del Ebro. (Provincias de Zaragoza, Navarra y La Rioja). II Congreso Geológico de España. Comunicaciones 1. pp 375-378.

CRUSAFONT, M.; TRUYOLS, J. y RIBA, O. (1966). Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Terciario continental de Navarra y La Rioja. Not. y Com. del IGME, 90, pp 53-76.

CUENCA, G. (1983). Nuevo yacimiento de vertebrados del Mioceno inferior del borde meridional de la cuenca del Ebro. Estudios Geológicos, 39, pp 217-224.

CUENCA, G. (1985). Los roedores (Mammalia) del Mioceno inferior de Autol (La Rioja). Publ. Instituto de Estudios Riojanos, Ciencias de la Tierra, 2, 96 pp.

FACI, E.; CASTIELLA, J.; DEL VALLE, J.; GARCIA, A.; DIAZ, A.; SALVANY, J.M.; CABRA, P.; RAMIREZ, J. y MELENDEZ, A. (1997). Memoria y Mapa Geológico de Navarra, 1:200.000, Publ. Gobierno de Navarra. 142 pp.

GOBIERNO DE NAVARRA (1997): Mapa Geológico de Navarra a E. 1:200.000. Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Viana (171-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geológico de Navarra a E. 1:25.000, Los Arcos (171-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geomorfológico de Navarra a E. 1:25.000, Viana (171-III). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GOBIERNO DE NAVARRA (1998): Mapa Geomorfológico de Navarra a E. 1:25.000, Los Arcos (171-IV). Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones. Pamplona.

GONZALO, A. (1977): Los niveles de las terrazas del Ebro en La Rioja. *Geographica*, XIX-XX, 131-138. Madrid.

GONZALO, A. (1979): Los glaciares de La Rioja. *Actas III reunión G.E.T. cuaternario*, 139-147. Zaragoza.

GONZALO, A. (1968). Contribución al estudio del piedemonte ibérico riojano. *Geomorfología del valle medio del Cidacos*. Ed. Biblioteca de Estudios Riojanos, I.E.R. 508 pp II.Vol.

GONZALEZ, A. (1989). Análisis tectosedimentario del Terciario del borde SE de la Depresión del Ebro (sector bajoaragones) y cubetas marginales ibéricas. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 507 pp.

GONZALEZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1988). El análisis tectosedimentario como instrumento de correlación entre cuencas. II Congreso Geológico de España, Granada, pp 175-184.

GUTIÉRREZ, M. y PEÑA, J.L. (1994): Depresión del Ebro. En: Geomorfología de España(GUTIÉRREZ, M., Ed.). Ed. Rueda, 305-349. Madrid.

IGME (CASTIELLA, J.)(1975): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Logroño (204).

IGME (CASTIELLA, J. y BEROIZ, C.)(1977): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Lodosa (205).

IGME (1987). Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España. Publ. IGME, 465 pp.

IGME (OLIVÉ, A.; RAMÍREZ, J.I.; CARBAYO, A.; CASTIELLA, J. y SOLÉ, J.)(1987): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Viana (171).

IGME (HERNÁNDEZ, A.; RAMÍREZ DEL POZO, J.; CARBAYO, A.; CASTIELLA, J. y SOLÉ, J.)(1987): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Allo (172).

IGME (HERNÁNDEZ, A.; RAMÍREZ, J.I. y RAMÍREZ DEL POZO, J.)(1987): Mapa Geológico de España a E. 1:50.000, 2ª serie, 1ª edición, Tafalla (173).

INGLES, M; MUÑOZ, A.; PEREZ, A. y SALVANY, J.M (1994). Relación entre la mineralogía y los ambientes sedimentarios en el Terciario continental del sector sur-occidental de la cuenca del Ebro. Resumen, II Congreso del Grupo Español del Terciario, Jaca, pp 247-250.

INGLES, M; SALVANY, J.M; MUÑOZ, A. y PEREZ, A. (1998). Relationship of mineralogy to depositional environments in the non-marine Tertiary mudstones of the southwestern Ebro Basin (Spain). Sedimentary Geology 116, pp 159-176.

LERÁNOZ, B. (1989): Terrazas y glaciares del río Ebro en Navarra. II Reunión del Cuaternario Ibérico. Madrid.

LERÁNOZ, B.(1990): El endorreísmo en el S. de Navarra. I Reunión Nac. De Geomorfología, 289-298. Teruel.

MARTÍNEZ, J. (1987). Estudio paleontológico de los micromamíferos del Mioceno inferior de Fuenmayor (La Rioja). Publ. Instituto de Estudios Riojanos, Ciencias de la Tierra, 10, 99 pp.

MENSUA, S. y BIELZA, V. (1974). Contribución al estudio geomorfológico del valle inferior del Ega (Navarra). Estudios Geográficos XXXV. pp 157-183.

MUÑOZ, A. (1985). Estratigrafía y sedimentación de la Depresión de Arnedo (prov. de La Rioja). Tesis de Licenciatura, Universidad de Zaragoza, 150 pp

MUÑOZ, A. (1991). Análisis tectosedimentario del Terciario del sector occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja). Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 496 pp.

MUÑOZ, A. (1992). Análisis tectosedimentario del Terciario del sector occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja). Tesis Doctoral, Publ. Instituto de Estudios Riojanos, 347 pp.

MUÑOZ, A. y CASAS, M. (1997). The Rioja trough (N Spain): tectosedimentary evolution of a symmetric foreland basin. Basin Research, 9, pp 65-85.

MUÑOZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1986-87). Análisis tectosedimentario del Terciario de la Depresión de Arnedo (Cuenca del Ebro, prov. de La Rioja). Acta Geol. Hisp., t. 21-22, pp 427-435

MUÑOZ, A.; PARDO, G. y VILLENA, J. (1992). Evolución paleogeográfica de los conglomerados miocenos adosados al borde norte de la Sierra de Cameros (La Rioja), Acta Geol. Hisp., v.27, num 1-2, pp. 3-14.

MUÑOZ, A. y SALVANY, J.M. (1990). El sistema lacustre evaporítico del margen ibérico de la cuenca del Ebro (Mioceno inferior). In Ortí, F. y Salvany, J.M. eds., Formaciones evaporíticas de la cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la Zona de Levante. GPPG-ENRESA, pp 123-126.

ORTI, F. y SALVANY, J.M. (1986). Programa de investigación de las formaciones evaporíticas en Navarra. Vol.1, Estudio Geológico, 121 pp.; Vol.2, Estudio Geoeconómico, 126 pp.; 2 anejos, informe inédito para el Gobierno de Navarra.

ORTÍ, F. (1990): Introducción a las evaporitas de la Cuenca Terciaria del Ebro. En: Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante (ORTÍ, F. y SALVANY, J.M. (Eds.). ENRESA-GPPG, 62-66. Barcelona.

ORTI, F. y SALVANY, J.M. (1991). Depósitos de glauberita en España: aspectos sedimentológicos y petrológicos generales. In J.J. Pueyo ed. Génesis de formaciones evaporíticas, modelos andinos e ibéricos. Publ. Universitat de Barcelona. pp 191-230.

PARDO, G.; VILLENA, J. y GONZÁLEZ, A. (1989). Contribución a los conceptos y a la aplicación del análisis tectosedimentario. Rupturas y unidades tectosedimentarias como fundamento de correlaciones estratigráficas. Rev. Soc. Geol. España, 2, pp 199-221.

PEREZ, A. (1989). Estratigrafía y sedimentología del Terciario del borde meridional de la Depresión del Ebro (sector riojano-aragonés) y cubetas de Muniesa y Montalbán. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 474 pp.

PUIGDEFABREGAS, C. (1975). La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca. Monogr. Inst. Est. Pirenaicos, 104, CSIC, 188 pp.

RIBA, O. (1955a). Sur le type de sedimentation du Tertiaire continental de la partie Ouest du Bassin de l'Ebre. Geol. Rundschau, t 43, 2, pp 363-371. Stuttgart.

RIBA, O. (1955b). Sobre la edad de los conglomerados terciarios del borde Norte de las sierras de la Demanda y Cameros. Not. y Com. IGME, 39, pp 39-50.

RIBA, O. (1964). Estructura sedimentaria del Terciario continental de la Depresión del Ebro en su parte riojana y navarra. Aport. al XX Congreso Geográfico Internacional, Londres, pp 127-138. Madrid.

RIBA, O. (1976). Tectogenèse et sédimentation: deux modèles de discordance syntectonique pyrénéennes. Bull. du BRGM, 2ème S., 4, pp 383-40.

RIBA, O. (1992). Las secuencias oblicuas en el borde Norte de la Depresión del Ebro en Navarra y la discordancia de Barbarín. Acta Geol. Hisp., v.27, 1-2, pp 55-68.

RIBA, O. y BOMER, B. (1957): Les terrasses et glacis du Bassin de l'Ebre dans la Ribera de Navarre et la Baja Rioja. Livret-guide de l'excursion n° 3: Villafranchien de Villarroya. V congr. Int. INQUA, 7-10. Madrid-Barcelona.

RIBA, O.; REGUANT, S. y VILLENA, J. (1983): Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro. Libro Jubilar J.M. Ríos, 2, 131-159. IGME. Madrid.

RIBA, O. y JURADO, M.J. (1992). Reflexiones sobre la geología de la parte occidental de la Depresión del Ebro. Acta Geol. Hisp., v.27, 1-2, pp 177-193.

RIBA, O. y PEREZ MATEOS, J. (1962). Sobre una inversión de aportes sedimentarios en el borde Norte de la Cuenca del Ebro (Navarra). Inst. Edaf. Sec. Petrol. Sedim. II Reunión del GES, Sevilla 1961, pp 201-221. Madrid.

RIBA, O.; REGUANT, S. y VILLENA, J. (1983). Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la Cuenca terciaria del Ebro. En Geología de España, Publ. IGME, Libro Jubilar J.M. RÍOS, T. II, pp 131-159.

RUIZ DE GAONA, M.; VILLALTA, J.F. y CRUSAFONT, M. (1946). El yacimiento de mamíferos fósiles de Monteagudo (Navarra). Not. y Com. IGME, pp 159-179.

SALVANY, J.M. (1989a). Las formaciones evaporíticas del Terciario continental de la cuenca del Ebro en Navarra y La Rioja. Litoestratigrafía, petrología y sedimentología. Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona, 397 pp.

SALVANY, J.M. (1989b). Los sistemas lacustres evaporíticos del sector Navarro-Riojano de la Cuenca del Ebro durante el Oligoceno y Mioceno inferior. Acta Geol. Hisp., 24, pp 231-241.

SALVANY, J.M. (1989c). Ciclos y megaciclos evaporíticos en las formaciones Falces y Lerín. Oligoceno-Mioceno inferior de la cuenca del Ebro (Navarra-La Rioja). XII Congreso Español de Sedimentología. Comunicaciones. pp 83-86.

SALVANY, J.M. (1990). Las formaciones Falces y Lerín (Oligoceno-Mioceno continental de Navarra). In Ortí, F. y Salvany, J.M eds., Formaciones evaporíticas de la cuenca del Ebro y cadenas periféricas, ENRESA-GPPG, Univ. Barcelona, pp 106-116

SALVANY, J.M. (1997). Continental evaporitic sedimentation in Navarra during the Oligocene to Lower Miocene: Falces and Lerín formations. In Busson and Schreiber eds. Sedimentary deposition in rift and foreland basins in France and Spain. Chapter 13, Columbia University Press, pp 397-411.

SALVANY, J.M y ORTI, F. (1987). La paragénesis de sulfatos de Ca y Na en el Mioceno continental de Alcanadre-Arrúbal (La Rioja) y San Adrián(Navarra). Bol.Soc.Esp. de Mineralogía, 10-1, pp 47-48.

SALVANY, J.M. y ORTI, F. (1992). El yacimiento glauberítico de Alcanadre: procesos sedimentarios y diagenéticos (Mioceno inferior, Cuenca del Ebro). In. García Guinea, J. y Martínez Frías, J. eds., Recursos Minerales de España. CSIC-Madrid, pp 1251-1274

SALVANY, J.M y ORTI, F. (1994). Miocene glauberite deposits of Alcanadre, Ebro basin, Spain: sedimentary and diagenetic processes. In Sedimentology and geochemistry of modern and ancient saline lakes, SEPM Special Publications, 50, pp 203-215.

SALVANY, J.M. y MUÑOZ, A. (1989). Aspectos petrológicos y sedimentológicos de los Yesosde Ribafrecha (La Rioja). XII Congreso Español de Sedimentología, Leioa-Bilbao, pp 87-90.

SALVANY, J.M; MUÑOZ, A. y PEREZ, A. (1994). Nonmarine evaporitic sedimentation and associated diagenetic processes of the southwestern margin of the Ebro Basin (lower Miocene), Spain. Journal of Sedimentary Research, vol A64, 2, pp 190-203.

SOLE, J. (1972). Formación de Mués, litofacies y procesos de sedimentación, Tesis de Licenciatura, Universidad de Barcelona, 46 pp.