



**Gobierno de Navarra**

Departamento de Obras Públicas,  
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA

ESCALA 1:25.000

**HOJA 65-III**

**LESAKA**

MEMORIA

---

La presente Hoja y Memoria, ha sido realizado por “TECNOLOGÍA DE LA NATURALEZA S.L. (TECNA)”, durante el año 2001-2002, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

**Dirección y Supervisión (GOBIERNO DE NAVARRA)**

Faci Paricio, E.                      Dirección del Proyecto

**Autores y Colaboradores (TECNA S.L.)**

Galán Pérez, G.                      Cartografía, Memoria e Informática

García de Domingo, A,              Cartografía y Memoria

Cabra Gil, P.                          Geomorfología y Cuaternario

González Lastra, J.                  Sedimentología

Martínez Torres, L.M.                Tectónica

Pesquera Pérez, A.                  Petrología

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ESTRATIGRAFÍA</b> .....	<b>5</b>
2.1. PALEOZOICO .....	5
2.1.1. Devónico-Carbonífero .....	6
2.1.1.1. Esquistos, pizarras y grauwacas alternantes (nivel 64). Frasnense-Wesfaliense .....	6
2.1.1.2. Calizas masivas (nivel 65). Frasnense-Namuriense .....	6
2.1.1.3. Calizas tableadas (nivel 67). Fameniense-Namuriense .....	7
2.1.1.4. Análisis secuencial del Devónico-Carbonífero .....	8
2.2. MESOZOICO .....	8
2.2.1. Triásico.....	8
2.2.1.1. Conglomerados (nivel 101), areniscas rojas y grises (nivel 103), areniscas y arcillas (nivel 104). Facies Buntsandstein. Triásico inferior.....	9
2.2.1.2. Análisis secuencial del Triásico .....	10
2.3. CUATERNARIO .....	10
2.3.1. Holoceno.....	11
2.3.1.1. Arcillas rojas (nivel 523). Arcillas de descalcificación.....	11
2.3.1.2. Acumulación de bloques, arcillas y arenas (nivel 545). Deslizamientos.....	11
2.3.1.3. Arcillas, gravas, cantos y arenas (nivel 537). Aluvial-coluvial.....	12
2.3.1.4. Arcillas y areniscas con bloques y cantos (nivel 543). Coluviones.....	12
2.3.1.5. Cantos, gravas, arenas y arcillas (nivel 527). Fondos de valle.....	13
2.3.1.6. Gravas, cantos, arenas y arcillas (nivel 536). Conos de deyección.....	13
<b>3. TECTÓNICA</b> .....	<b>15</b>
3.1. CONSIDERACIONES GENERALES .....	15
3.2. ESTRUCTURAS DEL BASAMENTO PALEOZOICO (OROGENIA HERCINICA).....	16
3.2.1. Descripción de las principales estructuras.....	19
3.3. ESTRUCTURAS ORIGINADAS POR LA INTRUSIÓN GRANÍTICA .....	21
3.4. CRONOLOGÍA DE LA DEFORMACIÓN.....	22
<b>4. GEOMORFOLOGÍA</b> .....	<b>25</b>
4.1. DESCRIPCIÓN FISIOGRAFICA .....	25
4.2. ANTECEDENTES .....	26
4.3. ANÁLISIS MORFOLÓGICO.....	27
4.3.1. Estudio morfoestructural .....	27
4.3.2. Estudio del Modelado.....	28

4.3.2.1.	Formas de laderas.....	28
4.3.2.2.	Formas fluviales.....	29
4.3.2.3.	Formas kársticas.....	31
4.3.2.4.	Formas poligénicas.....	31
4.4.	FORMACIONES SUPERFICIALES.....	31
4.5.	EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	34
4.6.	PROCESOS ACTUALES.....	35
<b>5.</b>	<b>PETROLOGÍA.....</b>	<b>37</b>
5.1.	ROCAS FILONIANAS.....	37
5.1.1.1.	Cuarzo (nivel 7).....	37
5.2.	ROCAS ÍGNEAS.....	37
5.2.1.1.	Diabasas (nivel 2).....	37
5.3.	ROCAS IGNEAS. GRANITO DE PEÑAS DE AYA.....	38
5.3.1.	Unidad periférica.....	40
5.3.1.1.	Facies equigranular-heterogranular.....	41
5.3.1.2.	Facies heterogranular.....	41
5.3.2.	Unidad central.....	41
5.3.2.1.	Facies gabrodiorítica.....	42
5.3.2.2.	Facies granodiorítica.....	42
5.3.2.3.	Facies granítica.....	43
5.3.3.	Diques.....	43
5.3.4.	Aureola de metamorfismo de contacto.....	44
5.3.5.	Metamorfismo regional.....	45
<b>6.</b>	<b>HISTORIA GEOLÓGICA.....</b>	<b>47</b>
6.1.	EL CICLO HERCÍNICO.....	47
6.2.	EL CICLO ALPINO.....	48
<b>7.</b>	<b>GEOLOGÍA ECONÓMICA.....</b>	<b>52</b>
7.1.	RECURSOS MINERALES.....	52
7.1.1.	Minerales metálicos y no metálicos.....	52
7.1.1.1.	Mineralizaciones de Siderita, Fluorita, Galena, Esfalerita, Calcopirita . Zn-Pb-F-(Fe).52	
7.1.1.2.	Hierro.....	53
7.1.1.3.	Pirita.....	53
7.1.1.4.	Barita.....	53
7.1.2.	Rocas industriales.....	53
7.1.3.	Interés potencial de los recursos mineros.....	54
7.2.	HIDROGEOLOGÍA.....	54

---

7.2.1. Introducción .....	54
7.2.2. Descripción hidrogeológica .....	55
7.2.3. Acuíferos secundarios .....	55
7.2.3.1. Acuíferos aislados del Paleozoico (Devónico y Carbonífero) .....	55
7.2.3.2. Cuaternario .....	56
7.2.4. Funcionamiento hidrogeológico .....	57
7.3. GEOTECNIA .....	58
7.3.1. Introducción .....	58
7.3.2. Metodología .....	58
7.3.3. Zonificación geotécnica .....	60
7.3.3.1. Criterios de división .....	60
7.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas .....	60
7.3.4. Características geotécnicas .....	62
7.3.4.1. Introducción .....	62
7.3.4.2. Área I .....	72
7.3.4.3. Área II .....	77
7.3.4.4. Área III .....	81
7.3.4.5. Área IV .....	83
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>91</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Esta Hoja a escala 1:25.000 de Lesaka (65-III), forma parte de la Hoja a escala 1:50.000 (Vera de Bidasoa 65), constituyendo su tercer cuadrante. Forma parte del Septentrión navarro, muy cerca de la frontera francesa, y limitando en su esquina superior occidental con la provincia de Guipúzcoa.

Topográficamente, la Hoja esta dividida en dos vertientes, separadas por una alineación montañosa de dirección aproximada N-S, la zona más occidental, vierte sus aguas a diversos arroyos que se dirigen hacia el río Añarbe, que es la frontera natural con Guipúzcoa y al río Urumea, situado en la contigua hoja de Andoain. La parte oriental vierte sus aguas al río Bidasoa, situado inmediatamente al Este de la Hoja, por medio de numerosos arroyos y dos cursos principales, el río Latza, que recoge las aguas procedentes de las zonas de Arantza y Yanci y el río Biurrana, que atraviesa la población de Lesaka. Como en toda esta zona del Norte de Navarra, la topografía es muy accidentada, lo que incide en la presencia de importantes desniveles y, en general terrenos abruptos, que generalmente suelen ir acompañados de una tupida cobertera vegetal, lo que dificulta sobremanera la observación de los posibles afloramientos geológicos. Solamente en cumbres elevadas, desaparece la vegetación, dando paso a ecosistemas de alta montaña, donde las comunidades vegetales son muy escasas y poco desarrolladas, principalmente debido a las adversas condiciones climatológicas.

La máxima elevación de la Hoja se encuentra al sur de la alineación montañosa que recorre la hoja, en concreto en el monte Komizko Gaina Araina, donde la cota es de 1037 mts., siendo este uno de los puntos más altos de toda esta zona. Los puntos más bajos se localizan en la salida de los cursos fluviales, mientras que en la zona oriental este punto coincide con el cauce del río Añarbe, con una altitud de 260 mts. Aproximadamente, en la zona occidental el punto más bajo esta en la llanura de inundación del río Biurrana, donde la cota es 60 metros aproximadamente

Las zonas más densamente pobladas se localizan, como es lógico, en los núcleos habitados, que en esta Hoja, se corresponden con Lesaka, la mayor población y Yanci y Aranaz. En general, la zona oriental, especialmente entre estos núcleos y el valle del Bidasoa, está salpicada por numerosos caseríos y barrios rurales de estas

poblaciones. Por el contrario, en la zona occidental, al oeste de la alineación montañosa, no existe ningún núcleo urbano, y son muy escasos los caseríos y casas de labor donde encontrar asentamientos, quedando reducidos a la esquina suroccidental, cerca ya de la localidad de Goizueta, situado en la hoja de Andoain y término municipal al que pertenece toda esta zona occidental de la Hoja de Lesaka.

La red de comunicaciones es muy deficiente, como corresponde a una zona tan complicada topográficamente y con pocos núcleos urbanos. Solamente aparecen dos carreteras de la red secundaria, las que comunican las poblaciones de Aranaz y Yanci por un lado y Lesaka con la carretera principal de toda esta zona, la NA-121-A, que comunica Pamplona con Irún, siguiendo el curso del río Bidasoa, así como la que comunica Yanci con Lesaka. En la zona oriental solamente existe una carretera, la que lleva hasta el embalse de Artikutza, aunque las pistas y caminos forestales son abundantes en toda la zona, a excepción de la zona de cumbres, que impiden el paso entre las zonas oriental y occidental de la Hoja.

Desde el punto de vista geológico, la Hoja de Lesaka forma parte de la Zona Norpirenaica, separada de la zona sur por la falla Norpirenaica, situada al Sur, en la Hoja de Sumbilla. La hoja presenta dos grandes dominios geológicos: El macizo granítico de Peñas de Aya, enclavado en la zona noroccidental de la Hoja y el macizo paleozoico de Cinco Villas, que ocupa el resto, en una amplia mancha que junto con la hoja oriental de Etxalar, forma el núcleo central del macizo.

El macizo granítico de Peñas de Aya aflora en toda la zona occidental de la Hoja en su parte Navarra. Con una extensión de aproximadamente 75 km<sup>2</sup>, se presenta encajado en depósitos carboníferos, mediante contactos netos. En él se distinguen dos zonas de petrografía diferenciada. Una interna correspondiente a granitos calcoalcalinos y otra externa de carácter leucogranítico.

El macizo paleozoico de Cinco Villas forma parte de la zona Axial de la cordillera Pirenaica. Este orogeno pirenaico, a grandes rasgos, se caracteriza por un cinturón de pliegues y cabalgamientos de orientación E-O, desarrollados entre el Cretácico superior y el Mioceno inferior, como resultado de la convergencia entre las placas Ibérica y Europea, presenta una elevada simetría con respecto a la franja central denominada Zona Axial, integrada fundamentalmente por rocas plutónicas y materiales paleozoicos, que constituyen el zócalo regional. Flanqueando a la zona

axial, se disponen las zonas Nor y Surpirenaica, constituidas por materiales mesozoicos y paleógenos, intensamente plegados, que integran la cobertera. La Hoja de Vera de Bidasoa se localiza en el primer dominio.

En cuanto al Arco Vasco, se sitúa en el extremo oriental de la Cuenca Vasco-Cantábrica, considerada tradicionalmente como un sector marginal de la cadena pirenaica y constituida por materiales mesozoicos y paleógenos moderadamente deformados, que muestran cierta similitud con los de la Zona Norpirenaica. El límite entre el Pirineo Occidental y la Cuenca Vasco-Cantábrica coincide con un accidente transversal a la cadena, de dirección NE-SO, conocido como falla de Pamplona (o de Estella-Elizondo), cuyo reflejo superficial es la alineación de diapiros navarros. Dicho accidente no supone un límite arbitrario, ya que a ambos lados del mismo, se aprecia una importante variación de las características estratigráficas y estructurales de los materiales aflorantes.

El macizo de Cinco Villas, según la terminología de HEDDEBAUT (1973), se puede diferenciar en dos dominios desde el punto de vista estratigráfico: el dominio oriental, que estaría representado por materiales fundamentalmente devónicos, y el dominio occidental, en el cual se englobaría toda esta Hoja de Lesaka, caracterizado por una litología muy monótona y pobre en fósiles. Existe una controversia en cuanto a su edad, pero, últimamente, se acepta el Carbonífero como su edad más probable.

Además, la tectónica del macizo es sumamente compleja, consecuencia de la superposición de las orogénias hercínica y alpina lo que ha ocasionado la existencia de superposición de pliegues y la fracturación del macizo en grandes bloques. Este hecho es apreciable en distintos puntos de la Hoja y especialmente en las "Calizas de Aranaz" que forman la base de las distintas unidades que aparecen.

La cartografía de esta Hoja está basada en la realizada a escala 1:25.000 por la DIPUTACIÓN FORAL DE NAVARRA, la Hoja de Vera de Bidasoa a escala 1:50.000 del plan MAGNA, y los datos cartográficos de distintos estudios. Sobre todas se ha realizado la pertinente actualización cartográfica y geológica en base a criterios estructurales y sedimentarios fundamentalmente.

Son numerosos los trabajos de carácter general que pueden encontrarse en la literatura geológica regional acerca de la Cuenca Vasco-Cantábrica y el Pirineo, tal

como podrá apreciarse en el capítulo correspondiente a bibliografía. De entre los que afectan de forma específica al territorio ocupado por la Hoja, destaca el realizado por HEDDEBAUT (1973), sobre los macizos paleozoicos vascos y PESQUERA (1985), más dedicado a la mineralogía, petrología y metalogenia del Macizo de Cinco Villas, son los más importantes y en ellos se basarán algunas de los comentarios realizados en esta memoria.

## **2. ESTRATIGRAFÍA**

La estratigrafía de esta Hoja se ha realizado basándose en criterios secuenciales, definiendo unidades tectosedimentarias limitadas por rupturas deposicionales con expresión cuencial. En cada unidad así definida y delimitada se han cartografiado los distintos cuerpos litológicos, determinando hasta donde ha sido posible, sus variaciones espaciales y sus relaciones de facies.

La descripción de los niveles cartográficos se ha realizado con el apoyo de las distintas bases de datos elaboradas en esta Hoja, agrupándose dichos niveles en las diferentes unidades tectosedimentarias que se han definido en esta región, teniendo en cuenta la escala de trabajo y su carácter, eminentemente cartográfico.

Los materiales aflorantes en la Hoja de Lesaka pueden agruparse en dos grandes conjuntos: Paleozoico y Cuaternario, cuyas características y distribución presentan acusadas diferencias estando totalmente ausentes los depósitos pertenecientes al Terciario. Del Mesozoico solamente aparece un retazo del Bundsandstein al sur de la Hoja. Además de estas unidades, el cuarto noroccidental está ocupado por los materiales graníticos del Macizo de Peñas de Aya.

El Paleozoico aparece representado en el dominio estructural del macizo de Cinco Villas que se prolonga hacia Francia.

Este macizo, se encuentra separado del Macizo de Alduides, por la falla Norpirenaica, presentando, ambos dominios, características litológicas, sedimentológicas y tectónicas diferentes, sin aparente correlación estratigráfica.

### **2.1. PALEOZOICO**

Los materiales paleozoicos aflorantes en esta Hoja se asocian a los al macizo estructural del macizo de Cinco Villas. Se extiende por toda la Hoja a excepción del macizo de Peñas de Aya en afloramientos muy poco visibles y en general con una gran monotonía litológica.

### **2.1.1. Devónico-Carbonífero**

#### **2.1.1.1. Esquistos, pizarras y grauwacas alternantes (nivel 64). Frasniense-Westfaliense**

Es la unidad paleozoica con mayor superficie de afloramiento, observándose en casi toda la extensión de la Hoja.

Se trata de una monótona alternancia rítmica entre esquistos y grauwacas en facies "Culm", cuya potencia puede llegar a los 1000 m, que corresponden a subarkosas con matriz sericítica cementada por óxidos de hierro, con biotita alterada a clorita. El techo de este conjunto se encuentra afectado por una discordancia de carácter regional que separa esta unidad de la inmediata superior.

Los niveles de pizarras, se encuentran en general poco metamorfizados, aunque se reconoce un metamorfismo creciente de oeste a este

Los niveles areniscosos presentan granoselección positiva, laminación paralela en la base y, ocasionalmente, "ripples" a techo; esporádicamente aparecen tramos de "slumping" y "debris-flow". Su depósito presenta carácter turbidítico, con inclusión de olistolitos carbonatados procedentes de las plataformas carbonatadas namurienses, en la base de la serie. Estas turbiditas son de tipo talud, asimilables a un sistema turbidítico de tipo III (MUTTI, 1985)

Se han datado por restos fósiles entre los niveles calcáreos que se sitúan en el intervalo Devónico superior-Westfaliense.

#### **2.1.1.2. Calizas masivas (nivel 65). Frasnense-Namuriense**

Denominadas "Calizas de Aranaz", esta unidad aparece en dos grandes áreas, una localizada entre Lesaka y Yanci y otra en los alrededores de Aranaz en las que es muy frecuente encontrar afloramientos de calidad, en los cortes de vías de comunicación y especialmente en la cantera de Yanci.

Constituyen un importante cambio litológico en la serie paleozoica, con la intercalación de diversos términos carbonatados en el muro de los términos detríticos ya descritos. Presentan una amplia distribución así como un espesor del orden de 500 m.

Se trata de un conjunto de calizas masivas de color blanco a gris azulado, recrystalizadas, con aspecto marmóreo. El tránsito con los niveles pizarrosos se realiza de una forma transicional, con intercalaciones de niveles pizarrosos.

En estos tramos calcáreos se ha encontrado abundante fauna muy diversa, entre ella: *Palmatolepis gracilis gracilis*, *Palmatolepis* sp., *Acodina delata*, *Spathognathodus* sp., *Ligonodina* sp., *Nothognathella* sp., *Lonchodina* sp., *Icriodus* sp., que asignan una edad comprendida entre Fameniense y el Namuriense

Sedimentológicamente, se asocian a depósitos de plataforma, con aportes detríticos esporádicos. Aunque ocasionalmente aparecen niveles que indican presencia de organismos constructores como corales y briozoos, no hay evidencia de formaciones arrecifales

### **2.1.1.3. Calizas tableadas (nivel 67). Fameniense-Namuriense**

Sus afloramientos se distribuyen por la zona occidental de la hoja, en las proximidades del embalse de Arikutza y en la zona del río Alama. Es en esta zona, en concreto en dos canteras abandonadas en la zona de Usku, donde mejor pueden apreciarse las características de esta unidad.

Se encuentran intercaladas entre los esquistos que constituyen la gran masa litológica aflorantes e en esta región. Se trata de intercalaciones calcáreas lenticulares (micritas muy recrystalizadas), con una potencia que no supera el centenar de metros, de tonos oscuros o grises, de aspecto tableado, distribuidas en bancos finos, normalmente con estratificación ondulada y con intercalaciones de niveles de esquistos

La fauna recogida en este nivel, le asigna una edad similar a la descrita para las calizas masivas, es decir Fameniense-Namuriense.

#### **2.1.1.4. Análisis secuencial del Devónico-Carbonífero**

En esta zona del macizo de Cinco Villas es difícil establecer con precisión secuencias deposicionales ya que únicamente se identifica una única macrosecuencia, que comienza por el desarrollo de plataformas carbonatadas a las que sigue un cambio paleogeográfico importante, con instalación de aparatos turbidíticos en cuyos episodios iniciales se produce el desmantelamiento de las plataformas carbonatadas namurienses.

## **2.2. MESOZOICO**

Está representado por dos conjuntos claramente diferenciados, separados por una importante discordancia

El Triásico orla a los depósitos paleozoicos, estando representado por los dos litotipos inferiores característicos de las facies germánicas: el tramo inferior de naturaleza detrítica y tonos rojos característicos (facies "Buntsandstein") y el tramo intermedio, fundamentalmente carbonatado (facies "Muschelkalk"), no observándose el tramo superior arcillo-yesífero posiblemente por motivos tectónicos, ya que constituye un importante nivel de despegue estructural en esta región.

El Cretácico comienza con la aparición del ciclo Albiense representado por arcillas, areniscas, pizarras y calizas bioconstruidas en facies supraurgonianas.

El Cretácico superior está representado por los depósitos de calizas arcillosas y alternancias de areniscas y arcillas calcáreas.

### **2.2.1. Triásico**

Después de la formación de la cadena Hercínica Pirenaica y su posterior peneplanización, la sedimentación en la cuenca se reanuda con la deposición de las facies detríticas rojas del Buntsandstein.

---

**2.2.1.1. Conglomerados (nivel 101), areniscas rojas y grises (nivel 103), areniscas y arcillas (nivel 104). Facies Buntsandstein. Triásico inferior.**

En general las facies “Buntsandstein” poseen un marcado carácter detrítico, así como una tendencia granodecreciente y típicos tonos rojizos; su espesor, aunque variable, puede alcanzar 500 m.

Su base está marcada por una discordancia sobre la que se dispone un tramo conglomerático poligénico muy cementado (nivel 101), de cantos subredondeados de cuarzo, cuarcita, y liditas con diámetro medio de 3-8 cm y tamaño máximo 12 cm con soporte clástico en matriz arenosa de grano grueso a medio, mal clasificada y cemento de naturaleza silíceo. Intercalados entre estos conglomerados se observan niveles de areniscas de geometría lenticular, con tamaño de grano medio a grueso, cicatrices irregulares de erosión tapizados por “lag” de cantos, con laminación paralela. Hacia techo se observan láminas cruzadas de bajo ángulo y estratificación cruzada de surco laxo. En general, se organizan en niveles de tendencia tabular groseramente gradados, con eventual estratificación cruzada planar de láminas muy inclinadas. Su potencia puede alcanzar 25 m.

Sedimentológicamente, los conglomerados basales se integran en un contexto de barras longitudinales de gravas, localizadas en la orla proximal-media de abanicos aluviales en la que coexisten procesos de transporte en masa y por agua, con desarrollo de bancos de gravas en canales de baja sinuosidad, muy tractivos.

Sobre el tramo conglomerático se dispone un conjunto esencialmente arenoso rojo (nivel 103), próximo a 300 m. de espesor. En su mitad inferior predominan las areniscas de grado medio y composición cuarcítico-micáceas, con cemento silíceo y a veces ferruginoso, así como matriz limosa-areniscosa bien cementada, frecuentemente alterada a limonita. A veces se observan impresiones en los cantos de origen mecánico, por compresión de unos cantos con otros. El tamaño de los cantos, varía normalmente entre 1 y 10 cm, aunque puede llegar a 20 cm muy heterométricos y redondeados. Se organizan en secuencias positivas de relleno de canales fluviales de baja sinuosidad integrados por sets tabulares de láminas cruzadas y cosets de estratificación cruzada de mediana escala, de tipo surco y planar. Estas facies son

típicas de barras arenosas longitudinales y transversales de cauces trenzados asociados a las zonas intermedias de un abanico fluvial.

Esta unidad 21 es la única que aparece del Buntsandstein en la Hoja de Lesaka, en un pequeño afloramiento en el borde Sur de la Hoja.

Los análisis petrológicos de areniscas han señalado ciertas variaciones composicionales y texturales, pero en general los valores están comprendidos entre 50 y 75% de cuarzo, e inferiores al 10% de fragmentos de rocas metamórficas y plagioclasa; en la mayor parte de los casos se observa matriz arcillosa (10-12%) y cemento silíceo o ferruginoso (15-30%). Dichos análisis han permitido su clasificación como sublitoarenitas en la mayor parte de los casos, con cuarzoarenitas en menor proporción.

#### **2.2.1.2. Análisis secuencial del Triásico**

Aunque el Triásico está muy poco desarrollado en esta Hoja, únicamente aflorante en pequeñas retazos a lo largo de la falla de Aritxulegui, teniendo en cuenta los datos procedentes de las hojas contiguas, es posible señalar a grandes rasgos, algunas de las características de los ciclos sedimentarios

El inicio del Ciclo Inferior se caracteriza por el desarrollo de orlas proximales y medias de abanicos aluviales correspondientes a la facies "Buntsandstein" (nivel 101), que reflejan la reactivación del relieve tras la reestructuración tardihercínica. La evolución secuencial está caracterizada por una disminución del tamaño de grano, relacionada con una degradación del relieve o con una mayor extensión del área de relleno en las fosas generadas durante el período tardihercínico. Con ello, se produce la aparición sucesiva de sistemas fluviales de alta sinuosidad, sistemas fluviales de sinuosidad media y sistemas meandriformes, con episodios de desbordamiento.

### **2.3. CUATERNARIO**

Los depósitos cuaternarios de la hoja de Lesaka están constituidos por arcillas de descalcificación, fondos de valle, conos de deyección, coluviones deslizamientos y aluviales-coluviales.

### **2.3.1. Holoceno**

#### **2.3.1.1. Arcillas rojas (nivel 523). Arcillas de descalcificación.**

Se reducen a las arcillas rojas que se encuentran en el fondo de algunas dolinas y uvalas. Son de color pardo rojizo y constituyen el producto residual de la disolución de los carbonatos. La naturaleza de este material es principalmente arcillosa, aunque siempre contiene un cierto porcentaje de limo, arena e incluso fragmentos de rocas carbonatadas desprendidas de las paredes de las dolinas. En la hoja de estudio, los ejemplos existentes se encuentran en las calizas del Macizo Paleozoico de Cinco Villas, al sur de la localidad de Lesaka y en el entorno del río Latza. Los procesos kársticos parecen iniciarse a finales del Terciario, más o menos en el Plioceno, y continúan durante todo el Cuaternario, siendo, en muchos casos funcionales en la actualidad.

#### **2.3.1.2. Acumulación de bloques, arcillas y arenas (nivel 545). Deslizamientos.**

Son formas asociadas a altas pendientes y a la presencia de litologías blandas o alternantes. En este caso, todos los deslizamientos se desarrollan en el macizo de Cinco Villas en el que hay una abundancia considerable de pizarras, material idóneo para la formación de deslizamientos, no sólo por su naturaleza, sino también por su pizarrosidad, su plegamiento y su fracturación que, en numerosas ocasiones, colaboran con sus planos estructurales al movimiento del material deslizado. En este sentido es interesante el estudio realizado por MARTINEZ TORRES Y RAMON-LLUCH (1984) sobre las "Relaciones entre estructura y deslizamientos de laderas en el Macizo de Cinco Villas (Pirineo Occidental)". En este trabajo considera que dada la monotonía litológica de las pizarras y reconocida las diferentes fases de deformación, la realización de una red de medidas estructurales de detalle y su intersección con la orientación de las laderas, permite la delimitación de áreas favorables o desfavorables para la formación des deslizamientos.

En el caso concreto de la hoja de Lesaka, donde los deslizamientos son escasos y no se observa una preferencia clara por dirección alguna, lo que puede ser debido a que en cada caso son numerosas las variables que intervienen. En casi todos los casos son observables, al menos en la fotografía aérea, tanto la cicatriz de

despegue como la masa deslizada pero, en otros, esta masa ha desaparecido, por erosión, incorporándose al torrente fluvial. La mayoría de los deslizamientos aquí existentes son de carácter traslacional. El resultado del proceso de deslizamiento es una acumulación caótica de bloques y cantos empastados en una masa arcilloso-arenosa. Su potencia es variable y está relacionada con sus dimensiones superficiales y con la profundidad del plano de deslizamiento, pudiendo llegar a tener más de 10 m.. Dentro de una edad holocena, algunos son más antiguos que otros.

#### **2.3.1.3. Arcillas, gravas, cantos y arenas (nivel 537). Aluvial-coluvial.**

Son depósitos de carácter mixto que se forman en el fondo de algunas vaguadas de escasa o mediana pendiente y donde los aportes laterales de las laderas se mezclan con los del fondo del valle, de forma que es difícil su diferenciación. No son abundantes y aparecen en algunos arroyos que confluyen con los ríos Biurrana y Latza. Sus sedimentos son una mezcla de aluvial con aportes de las laderas por lo que contendrán tanto cantos angulosos como redondeados. Su edad se considera Holoceno.

#### **2.3.1.4. Arcillas y areniscas con bloques y cantos (nivel 543). Coluviones.**

Aparecen a pie de laderas, aunque también pueden hacerlo en zonas más elevadas de las mismas. Se generan por la acción conjunta del agua y la gravedad, siendo relativamente frecuentes en toda la superficie de la hoja. Los coluviones poseen naturaleza arcilloso-arenosa, pero incluyen numerosos cantos de carácter anguloso cuya litología es función directa del área madre, predominando los de pizarras y grauvacas con algunos fragmentos de cuarzo. En el sector del río Latza hay un predominio de calizas. Su potencia es muy variable, desde unos pocos centímetros hasta varios metros. El tamaño de los cantos ofrece también una gran variedad, con fragmentos que oscilan entre pocos centímetros y 2 metros. En este grupo se han considerado, además, los canchales puesto que no siempre es fácil diferenciarlos de los coluviones. En muchas ocasiones, estos depósitos que parecen una simple acumulación de cantos y bloques sin matriz, son, en realidad, grandes coluviones que han sufrido un proceso de lavado superficial que se ha llevado los elementos más finos. Lo cierto es que cuando se logra observar un corte de estos depósitos, se ve

que tienen las características propias de los coluviones. Los mejores ejemplos se pueden observar en las proximidades de los valles y donde existen caminos y carreteras, pues es ahí donde se consiguen algunos perfiles. En las laderas de difícil acceso y abundante vegetación, siempre se ven bloques y clastos caídos pero es más difícil su reconocimiento.

#### **2.3.1.5. Cantos, gravas, arenas y arcillas (nivel 527). Fondos de valle.**

Estos depósitos poseen formas alargadas y estrechas, con algunas zonas de ensanchamiento que propician la instalación de núcleos poblacionales como sucede en el río Biurrana con la localidad de Lesaka. Destacan los aluviales de los ríos Latza, Biurrana y Añarbe, éste último, al oeste, sirve de frontera con el país vecino, durante un tramo de su recorrido. En los depósitos aluviales predominan los cantos de composición cuarcítica, pizarrosa y areniscosa con algunos fragmentos de calizas, procedentes de los materiales carbonatados del Macizo paleozoico de Cinco Villas, motivo por el cual la matriz posee cierto contenido en carbonatos. El tamaño de los cantos está comprendido entre 5 y 8 cm, en tanto que el máximo observado es de 30 cm, si bien la abundancia de bloques en algunas zonas sugiere que pueden existir tamaños superiores, dada la alta capacidad erosiva de estos cursos, tanto por las notables diferencias altimétricas como por la elevada pluviometría. Además, la presencia de una estación fría favorece la alteración mecánica y la puesta en movimiento de los fragmentos rocosos. Aunque su espesor total no es visible en la mayoría de los casos, no parece superar 5 m. Por representar la última etapa de sedimentación fluvial se atribuye al Holoceno.

#### **2.3.1.6. Gravas, cantos, arenas y arcillas (nivel 536). Conos de deyección.**

Estos depósitos se encuentran escasamente representados en el ámbito de la hoja. Los pocos ejemplos existentes se localizan en el valle del río Biurrana, próximos a la localidad de Lesaka, donde se originan al desembocar, en estas zonas más amplias, las aguas procedentes de barrancos menores. Pueden instalarse encima del aluvial al que acceden o pueden interdentar sus depósitos con dicho aluvial, pero la ausencia de cortes no permite detallar estos matices. Por las observaciones realizadas en superficie, los conos muestran una textura granular y heterométrica, así como un

grado de consolidación bajo. Al igual que en el caso de otros depósitos cuaternarios, su litología es función directa del área madre, observándose cantos de pizarras, calizas, grauvacas, etc., empastados en una matriz arcilloso-arenosa. La potencia varía atendiendo a sus dimensiones superficiales y en sentido longitudinal, dentro de un mismo cono, con valores medios de 3-5 m en las zonas apicales y de algunos centímetros en las más distales. Por su relación con la red fluvial actual se atribuyen al Holoceno.

### 3. TECTONICA

#### 3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La Hoja de Lesaka se sitúa en el extremo más occidental de la Cadena Pirenaica, cadena alpina se extiende desde el Golfo de Vizcaya hasta el Mediterráneo, y próxima a la Cuenca Vasco Cantábrica y esta ocupada en su práctica totalidad por materiales paleozoicos pertenecientes al Macizo de Cinco Villas (Fig. 2.1). Transversalmente, la cadena de los Pirineos presenta una aparente simetría a partir de un eje constituido por los materiales paleozoicos. Esta alineación montañosa es la resultante de la compresión producida entre las placas Europea e Ibérica y ha sido clasificada y subdividida en numerosas ocasiones, siendo una de las más utilizadas la realizada por MATTAUER y SEGURET (1.971), basada en criterios estructurales y estratigráficos. En ella se diferencian la Zona Axial, constituida fundamentalmente por materiales paleozoicos dispuestos a modo de eje de simetría de la cadena, dos zonas meso terciarias despegadas, denominados Nor y Surpirenaica y dos antepaises terciarios plegados.

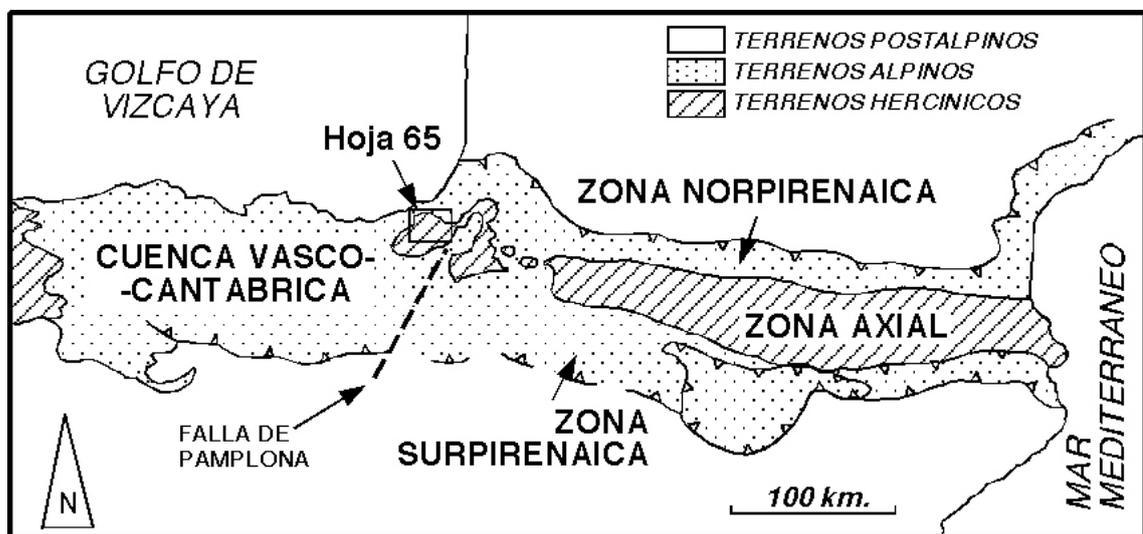


Fig. 2.1: Situación de la zona de estudio en la geología regional,

El diferente comportamiento de los materiales frente a la deformación permite distinguir los siguientes dominios estructurales: “zócalo”, constituido por los materiales escincos; “tegmento”, formado por los depósitos de las facies “Buntsandstein” y “Muschelkalk”; “nivel de despegue” integrado por las facies “Keuper”; y “cobertera”

constituida por la serie sedimentaria jurásico-paleógena. En general el zócalo y la cobertera se han deformado independientemente gracias al nivel de despegue de las evaporitas triásicas, con una deformación mucho más acusada de la cobertera, si bien en la Zona Axial el zócalo también ha sido estructurado e incorporado a las estructuras alpinas, aunque la superposición de fases tectónicas dificulta la diferenciación de la deformación hercínica de la alpina, máxime cuando ambos ciclos, el escnico y el alpino, se manifiestan polifásicamente.

De todos estos términos, en la zona que ocupa la Hoja de Lesaka, solamente se encuentran los materiales paleozoicos que forman el zócalo, pertenecientes a la zona axial pirenaica, estando ausentes los depósitos posthercínicos: triásicos y cretácicos que aparecen en las hojas contiguas. Únicamente un retazo de areniscas del Buntsandstein aparece en el sur de la Hoja, terminación norte de una de las Unidades del Manto de los Mármoles. A pesar de este hecho es indiscutible que la orogenia alpina tuvo influencia en la deformación sufrida por el macizo. En la zona noroccidental, aparece el borde Sur del stock granítico de Peñas de Aya, cuya intrusión supuso una deformación adicional sobre la estructura de los materiales.

El paleozoico del Macizo de Cinco Villas no tiene el carácter de “zócalo”, entendido este como un zócalo cristalino que reacciona frágilmente ante unos esfuerzos tardíos. Por el contrario, la potente sucesión de sedimentos pelíticos, muy poco metamorfizados, no se han comportado de forma rígida ante las deformaciones alpínicas, por lo que, a las estructuras originadas durante la orogenia hercínica, se han sobreimpuesto las producidas en la orogenia alpina.

Para el estudio de las estructuras se han diferenciado en función de su origen en las siguientes:

- Estructuras del basamento paleozoico
- Estructuras originadas por la intrusión granítica

### **3.2. ESTRUCTURAS DEL BASAMENTO PALEOZOICO (OROGENIA HERCINICA)**

Los materiales paleozoicos en el cuadrante de Lesaka forman parte del denominado “Macizo de Cinco Villas”, el afloramiento más occidental de la “Zona Axial” de los

---

Pirineos, mayoritariamente constituido por una serie alternante de materiales pelíticos y detríticos de carácter flyschoides, de edad carbonífera.

Las características estructurales del Paleozoico son complejas, debido, tanto a la superposición de las Orogenias Hercínica y Alpina, como a la proximidad del stock granítico de Peñas de Aya, con la deformación adicional que supuso su intrusión. A esta complejidad tectónica se añaden otros dos factores que dificultan la comprensión de la estructura: por un lado la monotonía litológica de los materiales carboníferos paleozoicos en la que no se aprecian niveles guía, a excepción del contacto con las denominadas "Calizas de Aranaz" y algunos niveles conglomeráticos y calizas intercalados en la serie pero de poca continuidad espacial, y por otro, los afloramientos son escasos y pésimos, condiciones que no permiten observar y estudiar la estructura, que puede llegar a ser muy compleja en detalle.

Son varios los autores que han estudiado la tectónica del macizo de Cinco Villas. Entre los autores más recientes destacan CAMPOS, 1979; HEUSCHMIDT, 1977, AIZPIRI et al., 1984 y MARTINEZ-TORRES et al., 1984.

El primero de ellos, CAMPOS (1979) distingue dos fases hercínicas ( $F_1$  y  $F_2$ ), una deformación producida por la intrusión del stock granítico de Peñas de Aya, una fase hercínica tardía que produce kink-bands y dos fases alpinas. HEUSCHMIDT, por el contrario incluye cuatro fases hercínicas ( $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  y  $F_4$ ), una fracturación tardihercínica y dos fases alpinas ( $F_5$  y  $F_6$ ). Por su parte, AIZPIRI et al. (1984) proponen tres fases hercínicas, en parte coincidentes con las anteriores.

MARTINEZ-TORRES et al. (1984) diferencia tres fases principales y una fase tardía de generación de kink-bands. Tomando como referencia esta clasificación las fases de deformación hercínica se pueden resumir en:

- Fase H1: representada por pliegues isoclinales tumbados, de escala decimétrica y dirección dispersa, con vergencia poco clara, posiblemente W. Lleva asociada una pizarrosidad ("slate cleavage") muy penetrativa a escala del macizo, subparalela a la estratificación ( $S_0$ ), especialmente en los flancos de los pliegues. Las direcciones principales de estas estructuras son N-S a N 20° E (Fig. 2.2).

- Fase H2: desarrolla pliegues angulares decimétricos, de dirección NE-SW, con esquistosidad de crenulación subvertical muy desarrollada. Tanto los pliegues como las esquistosidades son los rasgos estructurales más característicos del macizo de Cinco Villas (Fig. 2.2).
- Fase H3: desarrollo muy localizado de pliegues angulares decimétricos NW-SE, ortogonales a los pliegues de la fase anterior, con esquistosidad vertical asociada muy poco desarrollada.
- Presencia local de Kink-bands tardíos

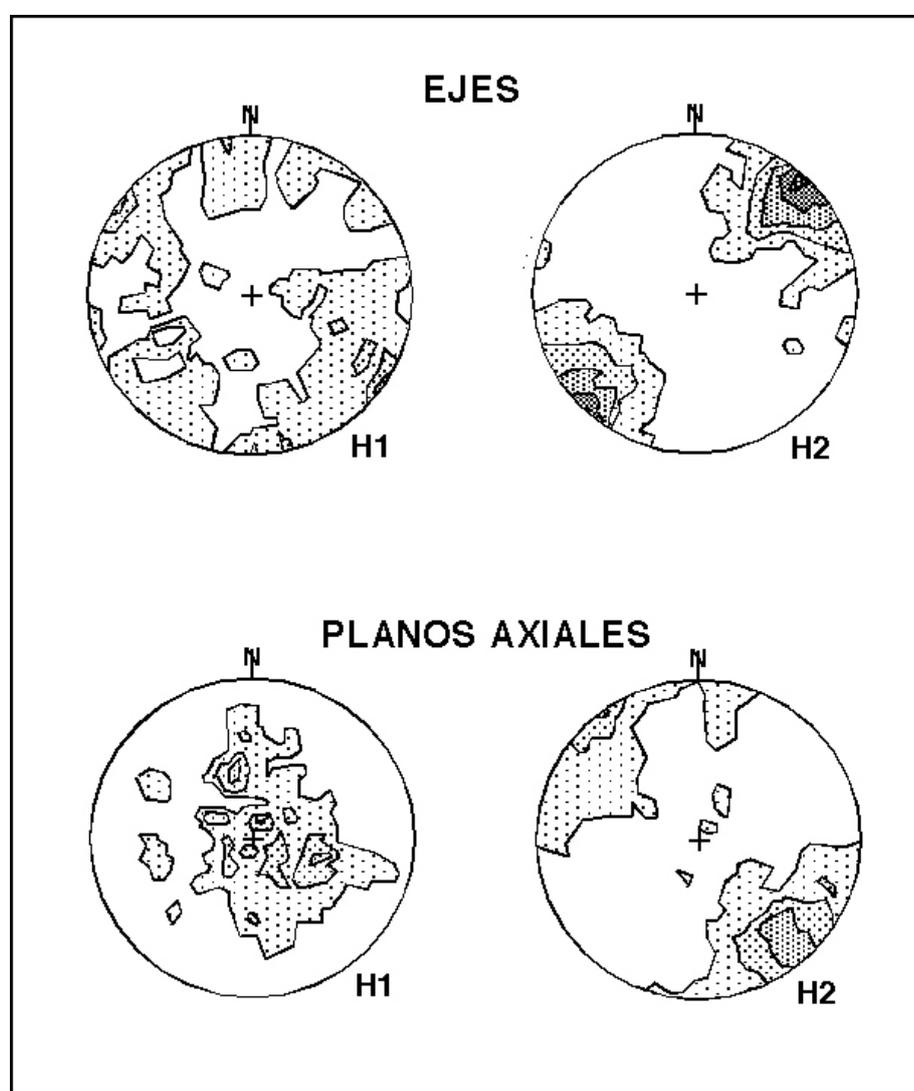


Fig. 2.2: Proyección equiangular en el hemisferio inferior de ejes y polos de planos axiales de la primera H1 y segunda H2 fases hercínicas del Macizo de Cinco Villas. (MARTINEZ-TORRES, 1984)

Como todas las zonas que han sufrido una historia tectónica compleja, con más de una fase de plegamiento, la cartografía de las estructuras de la Hoja de Ventas de Irún es complicada y difícil. Por otra parte, debe considerarse que en esta hoja, la mayor parte del territorio está ocupado por el Granito de Peñas de Aya. Si a esto se agrega la ausencia de niveles guía y la escasez de afloramientos, el conjunto resulta muy poco compresible a la hora de establecer la estructura de la zona y su historia tectónica.

Sin embargo, a partir de la cartografía realizada, las medidas estructurales obtenidas, así como los datos procedentes de estudios anteriores y las hojas contiguas se pueden establecer una serie de conclusiones sobre la estructura del macizo paleozoico de Cinco Villas en la zona que comprende la Hoja de Lesaka.

### **3.2.1. Descripción de las principales estructuras**

Dada la monotonía litoestratigráfica existente en la Hoja, con ausencia de discordancias entre las distintas unidades paleozoicas que aparecen, no se pueden obtener conclusiones precisas sobre secuencias deposicionales que pudieran marcar impulsos tectónicos, ya que el contacto entre las "Calizas de Aranaz" y la serie pelítica carbonífera es gradual, mientras que el límite Paleozoico-Mesozoico está ausente en esta Hoja, a excepción de un pequeño afloramiento de Bundsandstein en el sur de la Hoja

En esta zona del Macizo de Cinco Villas perteneciente a la hoja de Lesaka, aparecen dos grandes afloramientos de las denominadas "Calizas de Aranaz". En ambos casos la estructura de estas dos grandes unidades muestra una superposición de pliegues de las dos primeras fases de deformación (H1 y H2).

En el afloramiento de Lesaka-Yanci, sobre un antiforme de dirección Norte-Sur se superpone otro de dirección aproximada NE-SW, en la zona más meridional del afloramiento. Del mismo modo, en el afloramiento de Aranaz, en su zona más suroccidental aparece un antiforme de dirección N-S, al que, como en el afloramiento de Lesaka-Yanci, se superpone otro así mismo de dirección NE-SW. A su vez, entre ambos afloramientos, aparece un sinclinorio de dirección NE-SW.

El límite Norte de esta calizas está limitado por una gran fractura de dirección NE-SW, paralelo al sinclinal. Puede tratarse de una falla de componente dextral con un movimiento de aproximadamente 2 o 3 Km. si tenemos en cuenta la orientación de los pliegues N-S de ambos afloramientos de calizas, que pudieran formar parte de un mismo antiforme en su origen.

En la zona más occidental de la hoja también se han podido cartografiar algunas estructuras de plegamiento de dimensiones métricas. La más importante aparece en la zona Txorikantar, donde se aprecia un anticlinal en cuyo núcleo aparece una gran mancha de calizas tableadas. La dirección de este pliegue NE-SW, indica su pertenencia a la fase H2 de deformación.

Además de estas estructuras de plegamiento de gran tamaño, las distintas fases de plegamiento están representadas en estos materiales paleozoicos del macizo de cinco Villas, en forma de meso y micropliegues. Especialmente en la esquina suroccidental de la Hoja

Las fracturas que aparecen en los materiales paleozoicos en esta Hoja de Ventas de Irún muestran una dispersión aunque pueden asociarse a distintas familias:

- Fracturas N-S (N 5° W): Muy poco representadas en la Hoja aparecen especialmente en la esquina suroccidental.
- Fracturas N 20° E. Esta es una dirección de fracturación que está presente en todo el macizo de Cinco Villas y en esta hoja de Lesaka aparecen en toda la extensión de los materiales paleozoicos.
- Fracturas N 20° W: Oblicuas a las anteriores, también aparecen en toda la extensión del macizo de Cinco Villas. Y también como las anteriores, en algunas zonas, ponen en contacto mecánicamente los Calizas de Aranaz con la sucesión pelítica

Asociadas a estas fracturas aparecen diques de diabasa, especialmente concentrados al sur de la unidad caliza de Aranaz. Su dirección principal es NE-SW, por lo que por su disposición espacial están asociadas a fracturas de la fase de deformación H2. En menor medida también aparecen diques con orientación N20°O,

### 3.3. ESTRUCTURAS ORIGINADAS POR LA INTRUSIÓN GRANÍTICA

El macizo granítico de Peñas de Aya tiene una forma elíptica cuya bóveda posee una dimensión superficial (75 km<sup>2</sup> aproximadamente) comparable con la de los granitos sensu stricto (PESQUERA, 1985). Esta forma elíptica muestra un eje mayor de dirección aproximada NE-SO, dirección en la que se debió de producir el inflamiento. Aunque esta bóveda está dislocada por numerosas fallas, lo que ha afectado a su geometría original, su forma es más congruente con intrusiones sincinemáticas que con intrusiones postcinemáticas, que tienden a dar formas equidimensionales.

Las medidas de la esquistosidad regional obtenidas en el macizo de Cinco Villas y, especialmente, en la aureola de contacto del granito muestran una adaptación al contorno del stock granítico.

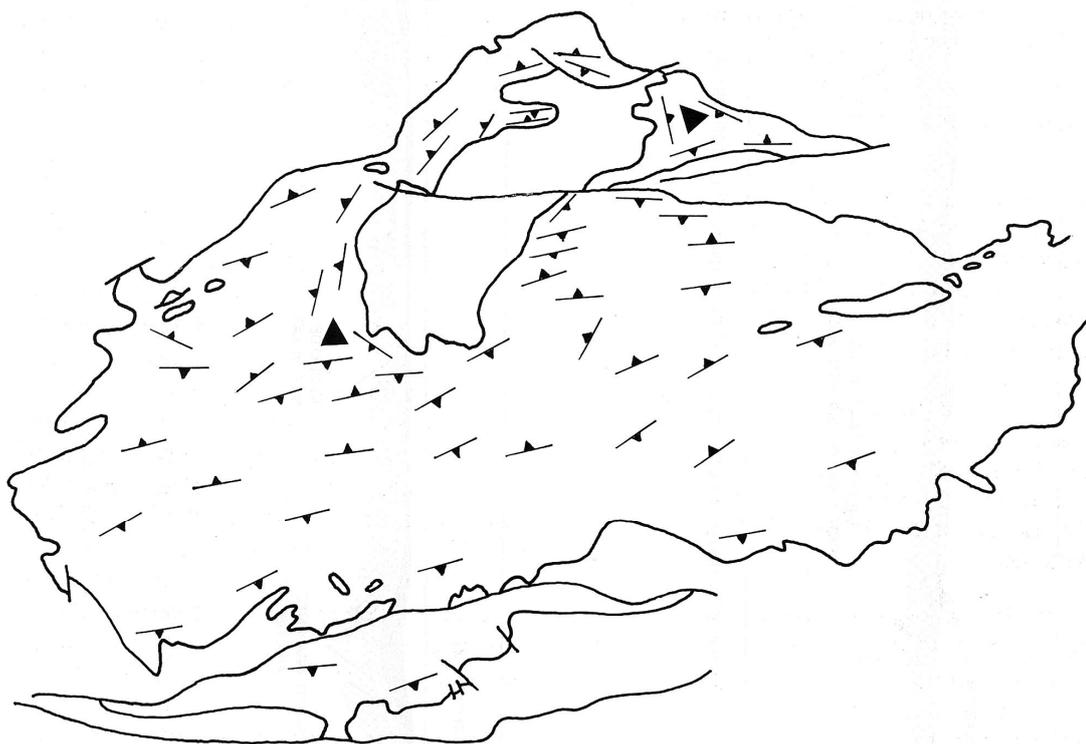


Fig 2.3: Trayectoria de la esquistosidad regional en el Macizo de Cinco Villas.

(Según PESQUERA, 1985)

Para CAMPOS (1979), este hecho se debe a la deformación de bóveda debida a la propia intrusión del stock, y por tanto posterior a la fase tectónica principal. Por el

contrario, para PESQUERA (1985), esta esquistosidad representa la traza del plano principal de aplastamiento producido durante la 2ª fase de deformación hercínica. Mientras que se produce una orientación global ENE-OSO en zonas alejadas de la intrusión, en las zonas próximas, la esquistosidad regional pasa a adaptarse a los contornos del macizo, de tal forma que inyección magmática y deformación tectónica son procesos simultáneos en el tiempo.

La única zona donde este hecho de adaptación de la esquistosidad a la forma del granito no se produce, es en los alrededores del embalse de Domiko, al sur de la aureola de metamorfismo en esta Hoja de Ventas de Irún.

### **3.4. CRONOLOGÍA DE LA DEFORMACIÓN.**

La evolución tectónica de la región puede referirse a dos grandes ciclos, muy desigualmente representados en la Hoja: el ciclo escincó, puesto de manifiesto por los materiales paleozoicos, que ocupan gran parte de toda esta zona y el ciclo alpino, caracterizado por los materiales mesozoicos, representados en el Sinclinal de Vera-Zugarramurdi, el Sinforme de Etxalar y en los afloramientos que aparecen a lo largo de la falla de Aritxulegui. Además aparecen las deformaciones sufridas por la intrusión del stock granítico de Peñas de Aya.

El primer ciclo, el ciclo hercínico, se caracteriza por la existencia de tres fases de deformación, en las que destaca la primera fase, que origina pliegues isoclinales tumbados de dirección norcada, con desarrollo de pizarrosidad acusada, subparalela a la estratificación, posteriormente se produce una nueva fase que produce pliegues angulares decimétricos de dirección NE-SW, con esquistosidad de crenulación vertical muy desarrollada y dominante en todo el macizo. La tercera fase origina pliegues angulares en zonas muy localizadas. Finalmente, en las etapas tardías de la deformación hercínica, se desarrollan kink-bands muy locales.

De estas fases, únicamente las dos primeras están presentes en todo el macizo, mientras que la tercera fase de pliegues angulares y kink-bands lo hacen en zonas muy localizadas y concretas.

Durante el período Estefaniense-Pérmico tuvo lugar una fase de fracturación a escala continental, conocida como etapa tardihercínica y caracterizada por la génesis de

desgarres de direcciones NE-SO y NO-SE. Entre los accidentes tardihercánicos más destacados en la historia posterior de la región, se encuentran la Falla de Pamplona, situada al Este de esta zona, entre los macizos de Cinco Villas y Alduides, que representa el límite de la Zona Surpirenaica y la Cuenca Vasco-Cantábrica; y la Falla de Leiza, localizada al S del Macizo de Cinco Villas, que es la continuación occidental de la Falla Norpirenaica, y representa el límite entre las placas Ibérica y Europea, desempeñando un papel fundamental en la apertura del Golfo de Vizcaya, y como línea transformante durante la traslación y giro de Iberia.

Los accidentes tardihercánicos son de gran importancia en la historia tectónica de esta región, ya que constituyen un elemento fundamental durante el posterior ciclo alpino: Su reactivación durante la distensión mesozoica controló la geometría de las cuencas de sedimentación y durante la compresión terciaria actuaron como zonas de debilidad, a favor de las cuales se produciría el desplazamiento de cabalgamientos y desgarres.

En esta Hoja, la evolución tectónica durante el ciclo alpino, apenas puede reconstruirse, ya que los únicos rasgos que pertenecen a este ciclo aparecen reflejados en los escasos depósitos pertenecientes al Mesozoico y a los que aparecen superpuestos a las estructuras paleozoicas en el macizo de Cinco Villas. Sin embargo, de la evolución general de la región se pueden extraer una serie de eventos producidos durante el ciclo alpino.

Durante la fase prealbiense, en relación con el giro sinextroso de Iberia respecto a la estable Europa, se produjeron las primeras diferenciaciones posthercánicas. En esta época se reactivaron las fracturas tardihercánicas, acompañadas de movimientos verticales, que ocasionaron el levantamiento de los macizos hercánicos, como el Cinco Villas, y el subsiguiente arrastre de gran parte de la cobertera permo-triásica.

Las siguientes fases de actividad tectónica tuvo lugar durante el rifting cretácico superior, en las que la compartimentación en bloques levantados y hundidos se acentuó aun más; así se produjo el levantamiento de los macizos de Cinco Villas y Larún, con la formación entre ellos de la cuenca de Vera.

Por último en las fases terciarias de plegamiento alpino, fase pirenaica, se produjeron deformaciones del zócalo con formación de pliegues y desarrollo de fracturas de gran

envergadura. Es en este período cuando la falla de Aritxulegui alcanza su mayor desarrollo. El carácter dextroso de esta falla se explica como un accidente tardihercínico que rejuega ante unos esfuerzos submeridianos.

## 4. GEOMORFOLOGÍA

### 4.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

El territorio representado por la hoja, a escala 1:25.000, de Lesaka (65-III) se encuentra situado en el sector septentrional de la provincia de Navarra, fronterizo con Francia y la provincia de Guipúzcoa en el País Vasco, que ocupa una pequeña porción en la esquina noroeste. El río Añarbe marca el límite entre las dos comunidades autónomas.

Desde el punto de vista geológico-estructural se pueden reconocer varios dominios: el Macizo Paleozoico de Cinco Villas, ocupando gran parte de la superficie de la hoja, el Macizo Granítico de Peñas de Aya y el Valle del río Latza. En la parte oriental y dentro del Macizo de Cinco Villas, mayoritariamente formado por pizarras y grauvacas, existe una zona, constituida por calizas que ofrece una morfología algo diferente. Los relieves más importantes pertenecen a los terrenos paleozoicos y se localizan en el área centro-septentrional de la hoja, con alturas de 1037 m, en Komizko Gaina Araina, 912 m en Belzunzako- Arriz y 839 m en Negusoro. A partir de estos puntos, la topografía va descendiendo, de forma paulatina en todas direcciones, pero, en cualquier caso, la morfología es accidentada, con grandes contrastes altimétricos. La erosión fluvial ha labrado profundos barrancos, de márgenes acusadas que dan lugar a una sucesión de valles y aristas que se suceden de forma ininterrumpida por toda la superficie de la hoja. La zona de topografía más suave y de características algo diferentes es la ocupada por las calizas; en ella, además de la morfología fluvial y de la de laderas, hay ejemplos de modelado kárstico.

En cuanto a las características climáticas, en el esquema adjunto se observa que la precipitación media anual está comprendida entre 1.350 y 1.500 mm, correspondiendo los valores más altos al sector septentrional y los más bajos al meridional. Las temperaturas medias oscilan entre los 9 y 11°C con máximas de 37 °C en el mes de Julio y mínimas de -8-10° C en los meses de invierno. Aunque estos datos definen un tipo climático mediterráneo con régimen de humedad Mediterráneo húmedo, lo cierto es que hay una tendencia a la continentalidad, además de una cierta influencia del clima de montaña con precipitaciones de carácter sólido.

La red de comunicaciones es muy reducida con una serie de carreteras que, desde la N-121 A procuran el acceso a los principales núcleos urbanos de la hoja, Lesaka y Arantza. Existe otra carretera, por el oeste, para el arribo al embalse de Artikutza. El resto, lo constituyen una red de caminos de tierras, bastante escasos que no siempre permiten el reconocimiento de toda la superficie de la hoja.

Los núcleos de población son muy pocos y de muy pequeño tamaño. El principal es Lesaka, en el valle del río Biurrana, al norte de la hoja, seguido de Arantza, más al sur. Existen, además, numerosos caseríos y pequeñas aldeas, distribuidos de forma dispersa por la superficie de la hoja.

La vegetación es muy abundante destacando las grandes ocupaciones de bosque alto que ofrecen magníficos ejemplos de hayas, tejos, serbales y una gran variedad de arbustos y plantas herbáceas. Este tipo de vegetación alta y arbustiva, se intercala con algunas praderas de amplio desarrollo. En los valles más amplios, además de la vegetación de ribera se encuentran algunos cultivos de regadío.

## **4.2. ANTECEDENTES**

Los trabajos geomorfológicos, relativos a este sector del Pirineo navarro, son muy escasos por no decir prácticamente inexistentes, aunque sí hay algunos textos de carácter general o regional que han servido de partida a este estudio.

Un gran avance, en este sentido, es el que se produce en las últimas décadas con motivo de la realización de las hojas geológicas, a escala 1:50.000, del proyecto MAGNA. En ellas se aportan, al menos, nuevos datos sobre las características de los depósitos más recientes, concretamente de edad cuaternaria. Por otra parte, la realización por I.T.G.E. y ENRESA del “Mapa Neotectónico y Sismotectónico de España, a escala 1:1.000.000” arroja algunos datos complementarios sobre este sector navarro.

Por otra parte, las hojas geológicas del Proyecto MAGNA, a escala 1:50.000, llevan incorporadas, en algunas ocasiones, una cartografía geomorfológica a escala 1:100.000. Aunque la hoja de Etxalar no pertenece a este grupo, sí hay hojas próximas que poseen este tipo de cartografía y por tanto, sus descripciones sobre los

depósitos de ladera y fluviales, además de la morfología estructural, han servido de orientación.

Finalmente, la realización de la cartografía geomorfológica, a escala 1:25.000, de la mayoría del territorio navarro, para el proyecto "Revisión de la Cartografía Geológica, a escala 1:25.000", realizado por el Gobierno de Navarra, proyecto al que pertenece este estudio, y del que existen ya numerosas hojas confeccionadas, ha permitido obtener bastantes referencias sobre este sector.

### **4.3. ANÁLISIS MORFOLÓGICO**

En este apartado se tienen en cuenta dos aspectos fundamentales: uno de carácter estático o morfoestructural y otro dinámico. El primero considera el relieve como una consecuencia del sustrato geológico y de la disposición del mismo, y el segundo analiza la importancia de los procesos exógenos sobre dicho sustrato.

#### **4.3.1. Estudio morfoestructural**

Desde el punto de vista estructural, la hoja de Lesaka, como ya se ha visto más arriba, se caracteriza por la presencia de tres dominios diferentes: el Macizo Paleozoico de Cinco Villas, el Macizo Granítico de Peñas de Aya y el Valle del Latza. De sus características fisiográficas ya se ha hablado con anterioridad, pero aquí lo que se va a tener en cuenta es la morfología estructural, aunque ésta no es muy pródiga en ejemplos. Lo único destacable son una serie de resaltes de capas competentes, en las calizas del Macizo de Cinco Villas, al suroeste de la localidad de Arantza, con una dirección NE-SO.

Por otra parte, la morfología de la red de drenaje es otro de los aspectos que refleja magníficamente la influencia de la estructura en la configuración del relieve. La linealidad de algunos cauces, la orientación preferente de muchos de ellos según determinadas directrices, así como los cambios bruscos en los perfiles longitudinales, indican que las aguas circulan preferentemente por las zonas de mayor debilidad tectónica y litológica o por líneas de máxima pendiente.

En primer lugar se observa que una de las direcciones más frecuentes es la NO-SE se adapta, en la mayoría de los casos, a la fracturación más común en la hoja. Las otras

dos familias, E-O y NE-SO también suponen direcciones tectónicas, tanto de plegamiento como de fracturación.

Por lo que se refiere a la morfología general de la red de drenaje, en este caso concreto, se trata de una red de tipo dendrítico, subtipo angular, con una densidad media en toda la hoja. Estas redes son características de áreas con litologías muy homogéneas, como sucede en el área de estudio

#### **4.3.2. Estudio del Modelado**

Se analizan aquí todas las formas cartografiadas en el mapa, tanto de carácter erosivo como sedimentario que han sido originadas por la acción de los procesos externos. También se describen dichos procesos y su importancia en el modelado del relieve. Dos son las morfologías más significativas de esta hoja: la de laderas y las debidas a la acción fluvial.

##### **4.3.2.1. Formas de laderas.**

En este grupo se han reconocido coluviones y canchales, deslizamientos, caídas de bloques y avalanchas de bloques.

Los coluviones aparecen, frecuentemente al pie de las laderas pero, en áreas como ésta, también pueden aparecer a diferentes alturas de las mismas, puesto que se originan a favor de los escarpes o de las aristas, depositándose inmediatamente por debajo de ellas. Se generan por la acción conjunta de agua y de la gravedad. En la hoja de Lesaka son muy abundantes y a veces alcanzan grandes dimensiones. En este grupo se han incluido, además, los canchales puesto que no siempre es fácil diferenciarlos de los coluviones. En muchas ocasiones, estos depósitos parecen una simple acumulación de cantos y bloques sin matriz, pero en realidad se trata de grandes coluviones que han sufrido un proceso de lavado superficial que se ha llevado los elementos más finos, pero cuando se logra observar un corte de estas acumulaciones, se ve que tienen las características propias de los coluviones. También se han incluido otros depósitos como derrubios ordenados que aunque han sido observados de forma puntual, la escasez de cortes y una cobertera vegetal tupida, no siempre permite su diferenciación.

Los deslizamientos son formas asociadas a altas pendientes y a la presencia de litologías blandas o alternantes. En este caso, todos ellos se desarrollan en el macizo de Cinco Villas en el que hay una abundancia considerable de pizarras, material idóneo para la formación de deslizamientos, no sólo por su naturaleza, sino también por su pizarrosidad, su plegamiento y su fracturación que, en numerosas ocasiones, colaboran con sus planos estructurales al movimiento del material deslizado. En este sentido es interesante el estudio realizado por MARTINEZ TORRES Y RAMON-LLUCH (1984) sobre las "Relaciones entre estructura y deslizamientos de laderas en el Macizo de Cinco Villas (Pirineo Occidental)". En este trabajo considera que dada la monotonía litológica de las pizarras y reconocida las diferentes fases de deformación, la realización de una red de medidas estructurales de detalle y su intersección con la orientación de las laderas, permite la delimitación de áreas favorables o desfavorables para la formación de deslizamientos.

En el caso concreto de la hoja de Lesaka los deslizamientos son escasos y no se observa una preferencia clara por dirección alguna, lo que puede ser debido a que en cada caso, las variables que intervienen son numerosas. En casi todos los casos son observables tanto la cicatriz de despegue como la masa deslizada pero, en otros, esta masa ha desaparecido, por erosión, incorporándose al torrente fluvial. La mayoría de los deslizamientos aquí existentes son de carácter traslacional.

#### **4.3.2.2. Formas fluviales**

En esta hoja, el desarrollo de la morfología fluvial es bastante importante, pero con un predominio del carácter erosivo. La escasez de depósitos es patente, limitándose a fondos del valle y a algunos conos de deyección.

Los fondos de valle poseen formas alargadas y estrechas, con algunas zonas de ensanchamiento que propician la instalación de núcleos poblacionales como sucede en el río Biurrana con la localidad de Lesaka. Los aluviales más desarrollados son los del río Biurrana y Latza, ambos afluentes del Bidasoa. En la esquina noreste, destaca, también el fondo de valle del río Añarbe, afluente del Urumea. La superficie de los depósitos es plana y en ellos se encaja el cauce actual. Por otra parte, los trazados son muy variables y pueden ser desde meandriformes, como el del Añarbe, hasta rectilíneos como el del Biurrana, pasando por sinuosos.

En general, asociados a los fondos de valle aparecen los conos de deyección, instalados a la salida de algunos arroyos y barrancos, al desembocar en cauces de rango superior. Su morfología en abanico es muy característica y suelen aparecer como formas muy aisladas, aunque sus depósitos suelen interdentarse con los de los fondos de valle. Son de pequeño tamaño y su litología es muy similar a la de los aluviales, puesto que el área madre es la misma. La textura, sin embargo, puede variar no sólo en relación a los fondos de valle, sino dentro de un mismo depósito, pues el tamaño de grano disminuye de la zona apical a la distal. Los mejores ejemplos se encuentran en las proximidades de la localidad de Lesaka, en el valle del Biurrana.

Por lo que se refiere a las formas de carácter erosivo, son bastante más variadas, destacando una importante red de incisión que da lugar a valles en "v". La morfología de los mismos suele ser en barrancos de empinadas laderas, con frecuencia con pendientes superiores al 20%, como corresponde a un área de montaña próxima a una gran divisoria. En estas condiciones las aguas de escorrentía se encajan, notablemente, produciendo fuertes incisiones y entalladuras, dando lugar a una sucesión continua de barrancos e interfluvios que configuran una morfología abrupta. La existencia de una litología mayoritariamente pizarrosa con varias direcciones de deformación, favorece el desarrollo de estas formas. La incisión se produce en la mayoría de los casos por la litología más blanda o por líneas de máxima debilidad como son fallas o fracturas.

Los interfluvios se labran, generalmente, por la unión de dos laderas opuestas en el proceso del retroceso de las cabeceras. Cuando se llegan a juntar los escarpes opuestos, producen un único escarpe o interfluvio en "v" invertida o arista, muy característico de las áreas de cabecera.

Otra forma de erosión fluvial puede observarse en los meandros de los principales ríos. Se trata de la erosión lateral del cauce que actúa en las márgenes cóncavas de dichos meandros produciendo la verticalización de las mismas con la consiguiente inestabilidad que ello conlleva. Es frecuente en el valle del Añarbe y en algunos tramos del Latza

#### **4.3.2.3. Formas kársticas.**

Están representadas por el conjunto de dolinas y uvalas que aparecen en la formación de calizas pertenecientes al Macizo Paleozoico de Cinco Villas. Se agrupan al sur de la localidad de Lesaka y también al sur de la localidad de Arantza. Las uvalas se producen por la unión de varias dolinas y, en esta hoja, no son muchas las que aparecen. Por el contrario, las dolinas, más abundantes, son de pequeño tamaño y la mayoría tienen una morfología en embudo. La edad de esta karstificación es difícil de determinar, pero es posible que se haya iniciado en el Terciario y continuado en el Cuaternario, puesto que la morfología de las disoluciones se mantiene hasta la actualidad.

#### **4.3.2.4. Formas poligénicas.**

A este grupo pertenecen todas aquellas formas que son el resultado de la actuación de varios procesos. En la hoja de Lesaka pertenecen a este grupo las divisorias suaves de origen mixto y los aluviales-coluviales. Las primeras que, a diferencia de las aristas, son poco abundantes se deben a procesos fluviales y quizás edáficos, como alteraciones, formación de suelos, etc. Lo cierto es que este tipo de divisorias suelen tener siempre un suelo, a techo, aunque casi siempre de poco desarrollo. Algunos ejemplos pueden observarse en el cuadrante noroeste, al sur del río Añarbe y en las vertientes del río Latza..

La otra forma a destacar son los aluviales-coluviales. Se trata de depósitos de carácter mixto que se forman en el fondo de algunas vaguadas de escasa o mediana pendiente y donde los aportes laterales de las laderas se mezclan con los del fondo del valle, de forma que es difícil su diferenciación. No son abundantes y aparecen en algunos arroyos que confluyen con los ríos Biurrana y Latza. Sus sedimentos son una mezcla de aluvial con aportes de las laderas por lo que contendrán tanto cantos angulosos como redondeados. Su edad se considera Holoceno.

### **4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES**

Se definen como formaciones superficiales todos aquellos materiales, coherentes o no, que han podido sufrir una consolidación posterior y que están relacionados con la evolución de paisaje que se observa en la actualidad (GOY et al., 1981). Se

caracterizan porque deben ser cartografiables a la escala de trabajo y porque deben estar definidas por una serie de atributos tales como geometría, textura, litología, potencia, génesis y, siempre que sea posible, edad.

Las formaciones superficiales más representativas dentro de la hoja de Lesaka (65-III) son las de ladera y las fluviales, aunque la variedad de depósitos es bastante reducida, limitándose a coluviones, deslizamientos, fondos de valle y conos de deyección, arcillas de descalcificación y aluviales-coluviales.

Entre las formaciones superficiales de ladera se describen aquí los coluviones, los deslizamientos. Los primeros son de naturaleza arcillosa con numerosos clastos de carácter anguloso, dispuestos en lechos que indican los diferentes aportes que van dando origen al depósito. Sus clastos, casi siempre grauváquicos y pizarrosos son de gran angulosidad, debido al escaso transporte sufrido. La potencia es muy heterogénea, variando desde un tapiz superficial de pocos centímetros hasta acumulaciones de varios metros. Normalmente se ubican al pie de las vertientes, en bandas alargadas paralelas a los cauces, aunque suelen también formarse a otras alturas de la ladera.. Los clastos y bloques poseen gran heterometría pudiendo llegar algunos ejemplares a alcanzar tamaños métricos. La potencia de estos depósitos suele variar entre varios centímetros hasta 3 m, no descartándose la posibilidad de mayores potencias.

Los deslizamientos se desarrollan, mayoritariamente, en el macizo de Cinco Villas en el que hay una abundancia considerable de pizarras, material idóneo para la formación de deslizamientos. El resultado del proceso de deslizamiento es una acumulación caótica de bloques y cantos empastados en una masa arcilloso-arenosa, pero, en algunos casos, se puede adivinar que lo que se desliza es una gran masa de material que una vez transportado, mantiene sus características iniciales, pero desplazada de su lugar original. Su potencia es variable y está relacionada con sus dimensiones superficiales y con la profundidad del plano de deslizamiento, pudiendo llegar a tener más de 10 m. Se les atribuye una edad holocena.

Por lo que se refiere a las formaciones superficiales de carácter fluvial, destacan los fondos de valle. Están constituidos por un conjunto de cantos y gravas de naturaleza principalmente cuarcítica, grauváquica y pizarrosa, empastados en una matriz arenoso-arcillosa. El tamaño medio de los clastos está comprendido entre 5 y 8 cm., y

el tamaño máximo observado es de 30 cm. Estos bloques son muy abundantes dado que se trata de una zona montañosa, donde la capacidad erosiva de los cursos es muy elevada por las grandes diferencias altimétricas y por la alta pluviometría. La potencia de estos depósitos no es visible en la mayoría de los casos pero no parece superar los 4-5 m. Los aluviales destacables son los de los ríos Biurrana, Latza y Añarbe. Su edad es Holoceno.

Los conos de deyección son muy escasos y se reducen a unos pocos ejemplos localizados en el valle del río Biurrana, cerca de la localidad de Lesaka. Son también depósitos de textura granular, heterométrica y muy poco consolidados. Su litología es muy similar a la de los fondos de valles, puesto que en la mayoría de los casos el área madre es común, aunque pueden presentarse diferencias locales. Por lo que se refiere al tamaño de los granos, existen grandes variaciones dentro de un mismo depósito, disminuyendo bastante desde la zona apical a la distal. La potencia varía en el mismo sentido, desde 6-7 m hasta pocos centímetros, siendo algo más potentes los que tienen menor tamaño. Se les asigna una edad holocena

Las formaciones superficiales de origen kárstico se reducen a las arcillas rojas que se encuentran en el fondo de algunas dolinas y uvalas. Son de color pardo rojizo y constituyen el producto residual de la disolución de los carbonatos. La naturaleza de este material es principalmente arcillosa, aunque siempre contiene un cierto porcentaje de limo, arena e incluso fragmentos de rocas carbonatadas desprendidas de las paredes de las dolinas. En la hoja de estudio, los ejemplos existentes se encuentran en las calizas del Macizo Paleozoico de Cinco Villas, al sur de la localidad de Lesaka y en el entorno del río Latza. Los procesos kársticos parecen iniciarse a finales del Terciario, más o menos en el Plioceno, y continúan durante todo el Cuaternario, siendo, en muchos casos funcionales en la actualidad.

Para finalizar, se consideran las formaciones superficiales de carácter poligénico. Se trata de depósitos de carácter mixto que se forman en el fondo de algunas vaguadas de escasa o mediana pendiente y donde los aportes laterales de las laderas se mezclan con los del fondo del valle, de forma que es difícil su diferenciación. No son abundantes y aparecen en algunos arroyos que confluyen con los ríos Biurrana y Latza. Sus sedimentos son una mezcla de aluvial con aportes de las laderas por lo que contendrán tanto cantos angulosos como redondeados. Su edad se considera Holoceno.

#### 4.5. EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA

La evolución geomorfológica de la hoja de Lesaka (65-III) no puede ser considerada sin incluirla dentro de la evolución geomorfológica regional, por lo que es conveniente enmarcarla en un contexto más amplio. Esto es debido a la necesidad de tener puntos de referencia claros, de carácter regional, a partir de los cuales relacionar otros procesos menos evidentes.

Geomorfológicamente, no existen en la hoja eventos conocidos que puedan servir como base de partida para establecer una evolución de los procesos y de las formas, por lo que es necesario salirse de este ámbito de estudio. En hojas próximas como la de Cizur (nº141-I), más al sur, se reconocen una serie de retazos de una antigua superficie de erosión que, por las cotas a las que se sitúa (900-1000 m) se sugiere su equivalencia con la Superficie de Erosión Fundamental de la Cordillera Ibérica (PEÑA et al 1984) a la que se atribuye una edad Vallesiense-Plioceno, aunque por el conocimiento que ya se va teniendo de la misma, algunos autores suponen que no sobrepasaría el Turolense. Por tanto, a grandes rasgos, esta superficie indicaría el final de la erosión y, por tanto, el final del relleno neógeno representado en la mayoría de las cuencas por las "Calizas del Páramo".

Aunque en esta hoja no existen depósitos terciarios de ningún tipo, la realización, en la actualidad, de cartografías geomorfológicas de la Comunidad Foral, ha contribuido al conocimiento de muchos datos de los que hasta ahora se carecía.

Después del relleno Neógeno empezarían los procesos de erosión y vaciado de las cuencas, pero en un caso como éste, en el que muchos de los relieves no llegaron nunca a ser cubiertos por los depósitos terciarios lacustres sino que actuaron como bordes elevados, es muy probable que los procesos de incisión ya tuvieran lugar en el Mioceno superior y Plioceno. Es decir, esta zona ha debido ser, desde hace mucho tiempo, una zona de erosión que alimentaría a las cuencas más próximas.

Este es el motivo que ha dado lugar a un relieve tan abrupto e incidido, donde los valles están profundamente encajados. En definitiva todo ello ha hecho que se origine un relieve con importantes diferencias altimétricas, en el que son frecuentes barrancos, escarpes, aristas, etc.

Para finalizar este apartado hay que añadir que a medida que avanza el Cuaternario, la red fluvial continúa su proceso erosivo con la formación de nuevos cauces, sobre todo en la cabecera de la red secundaria. Mientras tanto la morfología que se va elaborando, tanto en las laderas (cóncavas, convexas, etc..) como en los valles (simétricos, asimétricos, en artesa, en “v”, en “u”, etc...) depende en cada punto de la litología, del clima y de la tectónica local. El resultado es este relieve abrupto en el que domina la erosión fluvial y los procesos erosivo-sedimentarios de las laderas.

#### **4.6. PROCESOS ACTUALES**

En la hoja de Lesaca se reconocen algunos procesos que son funcionales en la actualidad:

- Erosión fluvial
  
- Movimientos de ladera

Dentro de la erosión fluvial uno de los procesos más acusados es el de incisión vertical de la red que ha dado lugar a profundos barrancos, sin depósito alguno, como sucede en la mayoría de la red secundaria. Esta intensa erosión se debe a que el área pertenece a una zona de montaña, próxima a una gran divisoria, donde se instalan numerosas cabeceras con un carácter erosivo dominante. Este carácter se mantendrá así al menos en un futuro inmediato. La erosión será más o menos intensa dependiendo de los movimientos tectónicos recientes, del nivel de base general y sobre todo de la competencia o incompetencia de los sedimentos.

Los procesos de ladera también se manifiestan activos, al menos en algunos puntos, estando representados por las caídas de bloques y algunos deslizamientos. Los primeros se producen a partir de los escarpes situados en el límite sureste de la hoja debido, en primer lugar, al grado de fracturación. El agua meteórica penetra por las numerosas discontinuidades (diaclasas, grietas, fracturas, planos de estratificación, etc.) provocando la apertura de las mismas, durante la estación fría. Este proceso tiende a la separación de bloques, del escarpe, que al estar en una posición de inestabilidad, como sucede en el borde de los mismos, tienden a caer por gravedad, depositándose en cotas inferiores de la vertiente.

Por otra parte, los deslizamientos, también constituyen parte de la dinámica actual. La naturaleza blanda o alternante de algunos materiales, unida al clima y a las fuertes pendientes, favorecen la inestabilidad de las masas a deslizar, una vez que el agua meteórica ha entrado por los planos de discontinuidad y se produce un desequilibrio en el sistema. Hay que señalar, sin embargo, que muchos de los deslizamientos están actualmente estabilizados.

Aunque todos estos procesos que se han detallado, puedan ser puntualmente de gran envergadura, no se prevén grandes cambios, en el relieve, en un futuro inmediato. La tendencia, a largo plazo es a una suavización de las formas, por las diferentes acciones erosivas, con evacuación de los materiales hacia las grandes venas de agua.

## **5. PETROLOGÍA**

Aunque en la Hoja de Lesaka, la mayor parte de la Hoja esta formada por materiales pelíticos, a los que aparecen asociadas rocas ofíticas y filonianas, su esquina noroccidental está ocupada por el Stock Granítico de Peñas de Aya, formando uno de los plutones graníticos mas importantes de la cadena Pirenaica.

### **5.1. ROCAS FILONIANAS**

#### **5.1.1.1. Cuarzo (nivel 7)**

Los filones de cuarzo se desarrollan siguiendo direcciones preferentes de fractura, encajados tanto en las rocas ígneas del macizo granítico de Peñas de Aya, como en los esquistos y pizarras paleozoicas. Se trata de un cuarzo lechoso, en el que aparecen muy frecuentes tintes amarillos y anaranjados debido a la presencia de óxidos de hierro.

### **5.2. ROCAS ÍGNEAS**

Están representadas por masas de rocas subvolcánicas que tradicionalmente han sido asignadas a diabasas (nivel 2) y ofitas (nivel 1), aunque en esta Hoja únicamente afloran diabasas. No obstante, se trata de dos denominaciones poco afortunadas, pues bajo cada una de ellas se engloban diversos tipos petrológicos, constituyendo sus respectivos encajantes, la única diferencia clara entre ambas.

#### **5.2.1.1. Diabasas (nivel 2)**

Se trata de una serie de afloramientos de reducidas dimensiones, distribuidos esencialmente en el borde e interior de las Calizas de Aranaz. Se disponen paralelas a la estratigrafía o transversales a ella, denunciando su carácter intrusivo a través de fracturas. La dirección principal de estos diques es N20°E, aunque también aparecen algunos filones con dirección N20°O y E-O.

Aparecen como rocas holocristalinas hipidiomorfos equigranulares y, más raramente, porfídicas. Presentan textura ofítica, siendo sus principales constituyentes plagioclasa

y piroxeno, con proporciones moderadas de biotita, con frecuencia alterada a clorita, liberando óxidos de hierro.

La ausencia de estudios relativos a estos materiales impide profundizar sobre su génesis. Su similitud con las ofitas encajadas en rocas mesozoicas sugiere un estrecho vínculo genético con ellas, relacionándose en ese caso con el episodio magmático acontecido durante el Lías inferior, emplazándose en un nivel estructural al de las ofitas. Igualmente, siguiendo esta línea de razonamiento podría pensarse que las diabasas corresponden a los equivalentes profundos de las rocas interestratificadas entre los sedimentos pérmicos. En cualquier caso, la resolución de este problema debe pasar por la realización de estudios geoquímicos de cierto detalle.

### **5.3. ROCAS IGNEAS. GRANITO DE PEÑAS DE AYA**

El granitoide de Aya es un cuerpo intrusivo de unos 75 km<sup>2</sup> que se localiza en la parte septentrional del Macizo Paleozoico de Cinco Villas. Constituye el último afloramiento ígneo importante de la cadena pirenaica en su vertiente occidental. Este macizo está integrado por: (1) rocas detrítico-carbonatadas del Devónico en la margen oriental y (2) materiales carboníferos que ocupan la mayor parte del macizo y que están constituidos por las Calizas de Aranaz en la base, posiblemente de edad Namuriense (HEDDEBAUT, 1973) y una sucesión esquistosa que ha sido datada localmente como Westfaliense (REQUARDT et al., 1977; DEVOLVÉ et al., 1987), y en la que intruye el plutón de Aya. La serie ha sido afectada por la deformación y metamorfismo regional hercínico con la aparición de biotita ± andalucita ± granate en las áreas de Lesaka y Goizueta-Elama (PESQUERA, 1985; PESQUERA&VELASCO, 1988).

El stock granítico de Peñas de Aya ha sido estudiado por varios autores (LAPPERENT, 1913; LAMARE, 1936; CAMPOS, 1979; HEUSCHMIDT, 1977; PESQUERA, 1985), siendo este último, el autor que con mayor detalle ha estudiado la intrusión, y los comentarios que se relatan a continuación están basados en gran medida en sus trabajos.

El contacto entre el plutón y los esquistos es neto y concordante con la foliación regional; no obstante, al NW y SE muestra una discordancia estructural. Los efectos térmicos inducidos por la intrusión se traducen en una aureola bien desarrollada en la parte meridional. En la zona interna se alcanza el grado medio con andalucita + biotita

en metapelitas, y localmente puede encontrarse una asociación de mayor temperatura que incluye espinela y corindón. Estudios petrográficos y estructurales sugieren una estrecha relación entre la segunda deformación hercínica y el emplazamiento del plutón.

El granitoide de Aya posee algunas características propias de los macizos superiores definidos por Autran et al. (1970): contactos netos, emplazamiento en la epizona, presencia de rocas básicas y carácter calco-alcalino. Sin embargo, muestra ciertas diferencias respecto a tales macizos; por ejemplo, zonación inversa, metamorfismo térmico y regional cuasi-contemporáneos y frecuencia de venas micrograníticas y pegmatíticas. Dentro del plutón se pueden distinguir dos unidades petrográficas bien definidas:

Unidad externa de carácter leucogranítica, con cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita como principales componentes. En general, exhibe una textura seriada de tamaño de grano fino a grueso, desde rocas con tendencia equigranular a heterogranular, localmente porfídicas. La fábrica de las rocas está poco definida, pero en zonas marginales se puede ver una orientación mineralógica con relativa facilidad. Por otro lado, pueden observarse algunos enclaves básicos de naturaleza semejante a los que aparecen en la unidad interna.

Unidad interna, particularmente importante al Sur de la falla de Aritxulegui, con una forma globular aplastada que se extiende hacia el Norte de manera peduncular. De acuerdo con el contenido en minerales ferromagnesianos pueden diferenciarse tres facies petrográficas: (a) una facies oscura de naturaleza granodiorítica con piroxeno, anfíbol, biotita, plagioclasa  $\pm$  cuarzo; (b) facies intermedia granodiorítica con anfíbol, biotita, plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo; y (c) facies clara granítica con biotita  $\pm$  anfíbol, plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo. El tamaño de grano y carácter heterogranular aumentan hacia la facies clara.

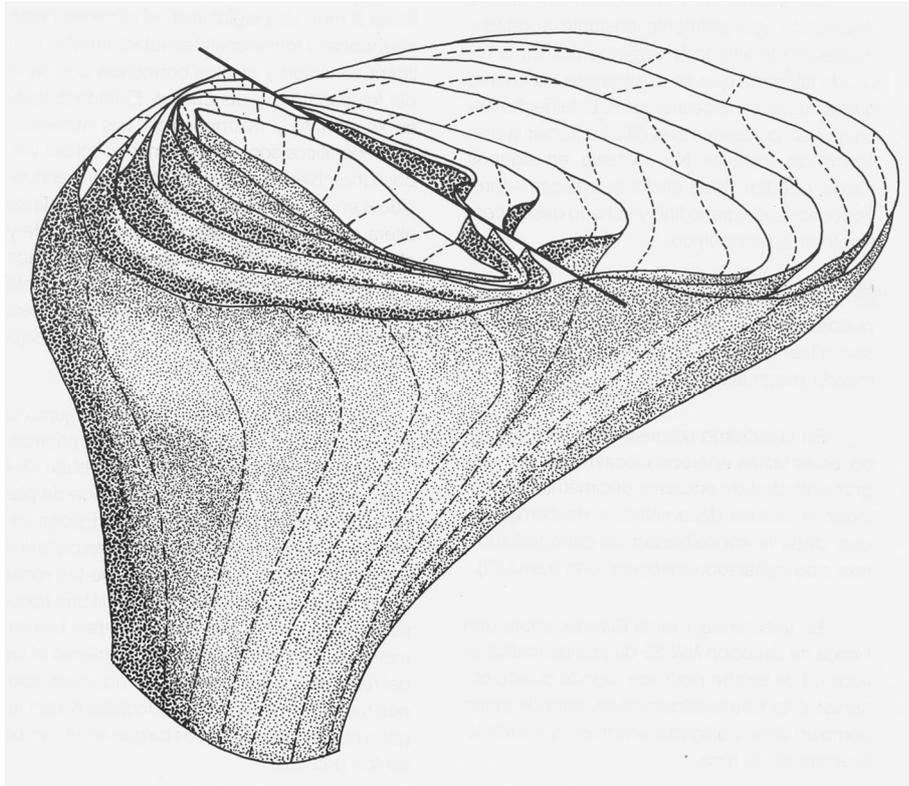


Fig. 4.1: Modelo geométrico idealizado del plutón de Aya. Según PESQUERA, 1985

### 5.3.1. Unidad periférica

Esta unidad, que se dispone en el borde exterior del cuerpo, rodeando la unidad central, es un conjunto bastante homogéneo de naturaleza leucogranítica. Se desarrolla principalmente al N de la falla de Aritxulegui, mientras que al S de esta falla, en esta hoja de Ventas de Irún, rodea la unidad central, experimentando un adelgazamiento considerable.

Dentro de esta unidad pueden apreciarse dos facies principales, que, sin embargo, no pueden representarse en la cartografía debido a que su diferenciación es básicamente mineralógica y textural:

- Granito equigranular a heterogranular con fluorita y moscovita en determinados puntos.
- Granito heterogranular

### **5.3.1.1. Facies equigranular-heterogranular**

Esta facies aflora exclusivamente al norte de la falla de Aritxulegui, adquiriendo un carácter mas heterogranular hacia el Este, con tamaños finos a gruesos. Hacia el Oeste tiende a ser equigranular con granos de tamaño medio. El color parece variar en el mismo sentido: los tonos amarillentos predominan hacia el oeste, mientras que en el borde este predominan los tonos blanquecinos. Las texturas porfídicas aparecen distribuidas irregularmente, no quedando restringidas a ningún área en concreto.

Esta facies esta formada principalmente por cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, que representan el mayor porcentaje de las rocas, siendo la biotita el único mineral ferromagnesiano existente, pero de poca abundancia, en cristales de tamaño medio como máximo.

La fábrica del plutón en esta parte del macizo es variable, principalmente masiva, en el que no se aprecian tendencias a la orientación de los minerales según una estructura planar o lineal.

### **5.3.1.2. Facies heterogranular**

Esta facies difiere de la anterior, esencialmente, en la ausencia de zonas con tendencia equigranular, por un lado, y en la falta de fluorita, por otro. La textura de esta facies es subautomorfa seriada, aunque, en algunos puntos presenta un carácter porfídico con un tamaño de grano de fino a grueso. Sus componentes principales son cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, con unas características similares a las presentadas en la parte septentrional. De estos componentes, el feldespato es el que alcanza mayor tamaño, seguido por plagioclasa, cuarzo y biotita.

Su fábrica es orientada en mayor o menor grado, ocasionada por cristales automorfos y subautomorfos de feldespato, a la que contribuyen la orientación planar de placas hexagonales de biotita

### **5.3.2. Unidad central**

Esta unidad es particularmente importante al Sur de la falla de Aritxulegui, con una forma globular aplastada que se extiende hacia el Norte de manera peduncular,

siguiendo la regata Endara, que limita Navarra con Guipúzcoa. De acuerdo con el contenido en minerales ferromagnesianos pueden diferenciarse tres facies petrográficas:

- (a) facies oscura de naturaleza gabrodiorítica con piroxeno, anfíbol, biotita, plagioclasa  $\pm$  cuarzo
- (b) facies intermedia granodiorítica con anfíbol, biotita, plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo; y
- (c) facies clara granítica con biotita, plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo.

que se corresponden, sensu lato, con rocas gabrodioríticas, rocas granodioríticas y granitos respectivamente.

La diferenciación cartográfica de estas facies se hace compleja, puesto que, aunque los cambios composicionales son relativamente bruscos, muchas veces, se evidencia una gradación regular entre las facies. Por otra parte, su distribución irregular, así como la escasa calidad de los afloramientos no permiten una cartografía detallada de los mismos.

#### **5.3.2.1. Facies gabrodiorítica**

Esta facies son los diferenciados más básicos de entre las rocas de la Unidad Interna. Son rocas oscuras de grano fino, con una textura general que varía entre un carácter subofítico a intergranular.

Petrográficamente, esta facies se caracteriza por la presencia de augita, anfíbol, biotita y plagioclasa. La proporción de minerales ferromagnesianos muestra una gran variación, que no es más que el reflejo de la gran heterogeneidad existente.

#### **5.3.2.2. Facies granodiorítica**

La facies intermedia, es de una textura similar a la facies clara granítica, granular subautomorfa, pero su tamaño de grano raramente alcanza tamaños gruesos.

### **5.3.2.3. Facies granítica**

En la facies granítica, la textura es granular subautomorfa, con un tamaño de grano fino a grueso

### **5.3.3. Diques**

En el stock granítico de Peñas de Aya es frecuente encontrar la presencia de diques de composición y tamaño variables. Estos diques se pueden agrupar en las siguientes categorías, en función de su textura y litología:

- Pórfidos y microgranitos: Presentan una textura subautomorfa, y están formados esencialmente por cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico, como minerales principales, siendo muy numerosos los accesorios, como biotita, clorita, circón, apatito y rutilo.
- Pegmatitas: Se distinguen con facilidad por el tamaño grueso de sus componentes, sobre todo cuarzo, feldespato potásico y moscovita. Además su mineralogía incluye plagioclasa moscovita, circón y apatito
- Aplitas: La mineralogía de estos diques aplíticos es muy parecida a la de pórfidos pero se diferencia en que presentan una textura xenomorfa muy característica.
- Diques básicos: Son de grano fino formados por plagioclasa, piroxenos, anfíboles, biotita, clorita, circón, apatito e ilmenita.
- Diques de cuarzo: Contienen cantidades accesorias de feldespato potásico, moscovita y óxidos de hierro.

Su representación espacial revela la existencia de un grupo predominante cuya dirección es NO-SE, y otro de menor importancia ENE-OSO. Sin embargo, estas direcciones resultan una simplificación, ya que no indican una época determinada de formación, mas bien al contrario, la formación de diques se llevó a cabo en un intervalo de tiempo considerable. En cualquier caso, no hay duda de que son cuerpos intrusivos asociados a los últimos estadios de la evolución magmática.

#### 5.3.4. Aureola de metamorfismo de contacto.

La intrusión del granitoide de Aya ha generado unos efectos térmicos que se han traducido en el desarrollo de una aureola de metamorfismo de contacto en los materiales paleozoicos encajantes. Esta aureola tiene un desarrollo desigual, alrededor del granitoide, alcanzando entre 600 y 1000 metros al sur de la falla de Aritxulegui, mientras que al Norte, es mucho menor, no llegando a superar 300 metros.

CAMPOS (1979), reconoce diversas asociaciones, caracterizadas por la presencia de clorita, biotita, andalucita y cordierita, alcanzando un máximo metamorfismo correspondiente a la facies de corneanas hornbléndicas. Establece dos facies metamórficas en la aureola de metamorfismo con diferentes asociaciones minerales: Una facies de corneanas con albita-epidota y la ya mencionada facies de corneanas hornbléndicas. Según este autor, la aureola externa está mas desarrollada que la interna, que la reduce únicamente a los primeros 25 metros.

Según PESQUERA (1985); el metamorfismo de contacto producido por la intrusión del macizo granítico de Aya genera una aureola de metamorfismo cuyos efectos se hacen notar posteriormente a la 1ª Fase de deformación, continuándose posteriormente en la segunda y después de ésta. Esta aureola es irregular, con las isogradas tendiendo a acuñarse hacia el Norte, de tal forma que es en la parte inferior del macizo, al Sur de la Falla de Aritxulegui, donde mejor se registran los cambios mineralógicos.

Los cambios mineralógicos producen una aureola externa de bajo grado, representada fundamentalmente por clorita + moscovita  $\pm$  biotita  $\pm$  granate y una aureola interna de grado medio donde aparecen andalucita  $\pm$  estaurolita y cordierita. Realiza unas consideraciones geotérmicas que suponen unas temperaturas de 500-650º en la aureola interna con un régimen de presiones de 1-2 Kb aproximadamente, siendo el metamorfismo más débil hacia el Norte.

Según este autor, los cambios mineralógicos que se producen en los materiales pelíticos se traducen en una serie de asociaciones típicas, que de la parte más externa a su contacto con el plutón son las siguientes:

- Clorita + moscovita

- 
- Clorita + moscovita + biotita  $\pm$  granate
  - Biotita + andalucita  $\pm$  granate
  - Moscovita + clorita + estauroлита + andalucita + biotita
  - Biotita + corindón + andalucita + cordierita + feldespato K  $\pm$  espinela

Para PESQUERA, la razón por la cual se produce este adelgazamiento hacia el Norte, puede radicar en la distribución de fluidos: las fases más “secas” ocasionan aureolas menos desarrolladas que las fases más ricas en fluidos. Una distribución heterogénea de los fluidos por el plutón habría ocasionado que en algunos puntos, en este caso, en la mitad superior del macizo, hubiera experimentado un mayor enfriamiento, causando diferencias térmicas en las rocas encajantes.

Dentro de la aureola de contacto se encuentran comúnmente diques de naturaleza básica y granítica, así como diversas pegmatitas.

Los efectos térmicos se manifiestan por la aparición, en los niveles pelíticos, de un típico moteado. Esta característica es la que permite determinar cartográficamente el límite de esta aureola de metamorfismo.

### 5.3.5. Metamorfismo regional

Como señala PESQUERA (1985), es difícil establecer las condiciones físicas del metamorfismo regional del macizo de Cinco Villas. Supone que se ha desarrollado a temperaturas menores de 450° en un régimen de bajas presiones. Para llegar a esta conclusión, se basa en los cambios mineralógicos, como el grado de variación de la illita, ya que su cristalinidad aumenta progresivamente, hasta marcar unas claras condiciones epimetamórficas, donde se desarrollan una zona de clorita y una zona de biotita restringidas a dos áreas concretas del macizo (fig 4.2).

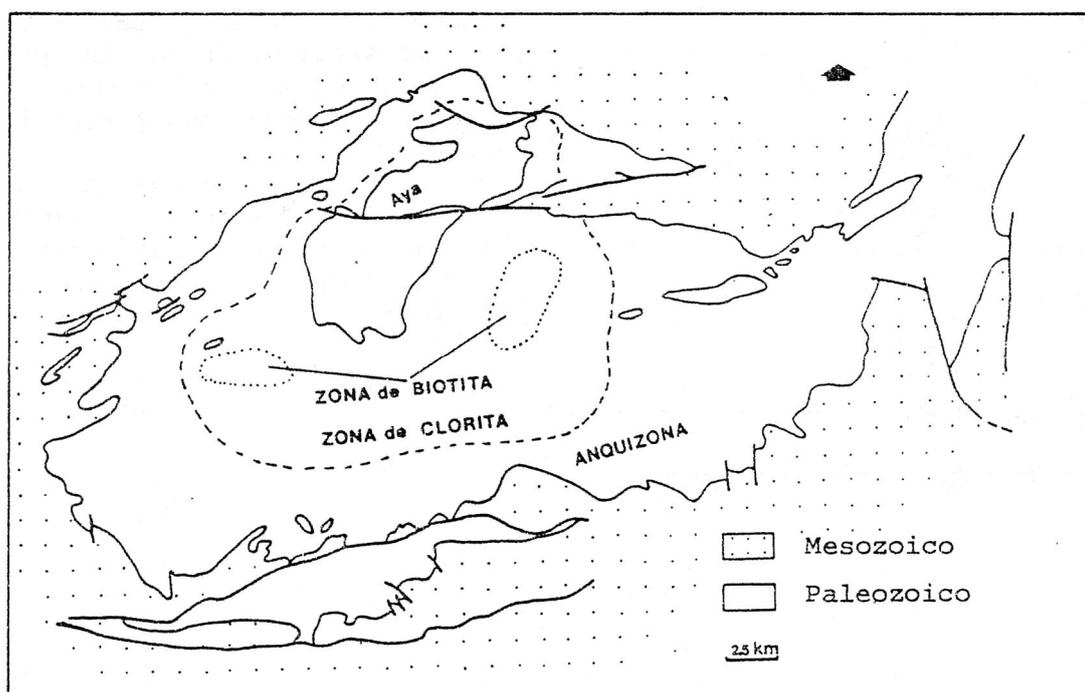


Fig 4.2 Límite anquizona-epizona y distribución aproximada de la zona de la biotita en Cinco Villas. PESQUERA (1985)

Cualquier otra consideración acerca de la naturaleza de los fluidos, señala, es más incierta todavía, aunque señala que, siendo el grado de grafitización de la materia carbonosa similar que en las zonas homólogas de la aureola de contacto, podría indicar que el metamorfismo regional se produjo como respuesta a la existencia de domos térmicos generados probablemente por cuerpos ígneos intrusivos. Por estos motivos, concluye, los fenómenos de plutonismo, metamorfismo y deformación constituyeron un fenómeno conjunto en un momento dado de la historia hercínica.

## 6. HISTORIA GEOLÓGICA

En este apartado se pretende dar una visión generalizada de la evolución paleogeológica de la zona que se extiende por las Hojas a escala 1:50.000 nº 64 (San Sebastián) y nº 65 (Vera de Bidasoa).

En su realización, se ha prestado especial atención a los eventos tectónicos principales y a los ciclos sedimentarios que afectan a este sector de las estribaciones de la cordillera pirenaica

En esta región y a grandes rasgos, la historia puede referirse a dos ciclos orogénicos principales: hercínico y alpino.

### 6.1. EL CICLO HERCÍNICO

Los terrenos más antiguos aflorantes en esta región se remontan al Devónico, que en el macizo de Cinco Villas, incluido dentro del Dominio Europeo, presenta diversidad de facies en general de ambientes marinos someros. En estas hojas, la tectónica ha influido notablemente en la serie devónica, presentándose como escamas sobre el Carbonífero, lo que no permite observar una columna litológica continua que pudiera indicar la evolución sedimentológica en la cuenca durante este periodo.

Los materiales más antiguos, datados como Siegeniense-Eifeliense, corresponden a unas areniscas blancas masivas, que debieron depositarse en zonas marinas de plataforma somera. Por encima de estas areniscas aparecen unos esquistos negros con intercalaciones de areniscas pertenecientes a las Fm. Oronoz y Kalforro, indicando que la sedimentación continua en ambientes someros de plataforma.

La formación más potente del Devónico, de edad Eifeliense-Frasniense esta formada por esquistos arenosos y calcáreos. La presencia de estructuras “flasers” y “linsens” indica condiciones ambientales de transición, fundamentalmente mareales, con etapas de predominio marino y la sedimentación de barras calcáreas. Es una serie potente, de 800 metros aproximadamente, lo que indica una gran influencia tectónica en las etapas de sedimentación, con una importante subsidencia en la cuenca, que marcaría el inicio de las posteriores etapas de inestabilidad.

Posteriormente a esta etapa, las cuencas se homogenizan, dando lugar a una etapa en la que la influencia de la tectónica en la sedimentación, marcan el tipo de depósitos. Es en estas circunstancias cuando se produce la sedimentación alternante de detríticos finos y más groseros, que dio lugar a la serie “flyschoides” carbonífera de tipo “Culm” indicando el comienzo de la actividad tectónica. En la base de esta serie, y en zonas próximas a los bordes de las plataformas, se depositó una potente serie de calizas marmóreas. Estas calizas podrían representar complejos arrecifales desarrollados en los márgenes de la plataforma.

Como se ha indicado anteriormente, los primeros procesos de deformación a gran escala tuvieron lugar con posterioridad a la sedimentación de la serie pelítica carbonífera y constituyen los primeros procesos de la orogenia hercínica propiamente dicha. Durante esta fase se produjo la generación de sistemas de plegamiento N-S y NE-SO. En este sector del sistema pirenaico, la principal consecuencia tectónica, consistió en el desarrollo de un cinturón de cabalgamientos, que provocó la superposición del dominio oriental sobre el dominio occidental constituido fundamentalmente por la serie pelítica carbonífera en facies “Culm” cuya sedimentación ya indicaba la inestabilidad tectónica posterior.

La culminación de estos procesos hercínicos tuvo como consecuencia la emersión de las cordilleras durante el Estefaniense, iniciándose los procesos de desmantelamiento de sus relieves, que marcan el final del ciclo orogénico hercínico.

Durante estos episodios es cuando se produce la intrusión del macizo granítico de Peñas de Aya, ocasionando una estrecha aureola de metamorfismo y deformando los materiales carboníferos en los que se encaja.

## **6.2. EL CICLO ALPINO**

El denominado período tardihercínico, acaecido en el intervalo Estefaniense-Pérmico, constituyó un episodio de envergadura continental fundamental para la evolución posterior, correspondiente al ciclo Alpino. Los desgarres generados, de direcciones NE-SO, NO-SE y E-O, controlaron la geometría de las cuencas de sedimentación mesozoicas y más tarde, durante la compresión terciaria, actuaron como zonas de debilidad a favor de las cuales, se siguieron produciendo los desplazamientos de cabalgamientos y desgarres. Entre dichos accidentes se encuentran las fallas de

Pamplona y Norpirenaica, esta última actuando como límite entre las placas Ibérica y Europea.

La estructuración tardihercínica configuró la región como una serie de horsts y grabens paralelos a los accidentes principales en un proceso de rifting intracontinental que condicionó la sedimentación posterior.

En el Pérmico, en esta zona, la fase "saalica", que origina una discordancia entre el Rothliegiense y el Pérmico Superior, periodo en el que se produjo una intensa actividad volcánica que se tradujo en la aparición de basaltos en las áreas de Larún e Ibantelly.

El relleno sedimentario de los surcos dic comienzo por las zonas más deprimidas, durante el Pérmico, periodo en el que se produce la primera sedimentación importante después de la finalización de la orogenia hercínica. Esta sedimentación se origina en pequeñas cuencas de carácter intramontano, con sedimentos procedentes de los macizos elevados, apareciendo con materiales groseros en la base y más finos hacia arriba. La progresión de los rellenos aumentó paulatinamente el área sedimentaria, favoreciendo una disminución energética. Así, las cuencas casi colmatadas durante el Pérmico fueron recubiertas por un Triásico en facies "germánica". Los primeros pisos del Buntsandstein sugieren esta disminución energética, con la sedimentación de depósitos fluviales y aluviales que aparecen en las áreas de Larún, sinforme de Etxalar y Legate. En algunas zonas, como el sinforme de Etxalar y zona de Zugarramurdi, esta colmatación concluye con una serie de episodios arcillosos que culminan el relleno de las cuencas.

Según algunos autores (MONTADERT y WINNOCK, 1971), esta etapa correspondería a la primera fase de apertura del Golfo de Gascuña.

Con posterioridad a esta colmatación de las cuencas, la región habría sido nivelada y un ascenso relativo del nivel del mar propiciaría la instalación de una plataforma carbonatada somera en la que se produjo el depósito de la facies "Muschelkalk", que sin embargo, en esta zona solamente esta representado en el Sinforme de Etxalar y en pequeños afloramientos.

Durante el periodo Triásico Superior-Cretácico Inferior no existen en toda esta zona indicios directos de sedimentación, debido fundamentalmente a que esta zona constituyó un alto relativo en la sedimentación en estos momentos en que la plataforma se encuentra muy compartimentada, dando lugar a etapas de no sedimentación y a importantes periodos de erosión del material sedimentado anteriormente.

Según los datos regionales, en el Jurásico inferior, se instaló una vasta plataforma carbonatada en un contexto tectónico relativamente estable. En estos sectores, la fase neokimérica, originó el levantamiento de los macizos hercínicos con el consiguiente arrastre de los recubrimientos permotriásicos. Los efectos ocasionados por esta orogénesis se prolongarán durante parte del Cretácico inferior, puestos de manifiesto mediante movimientos distensivos, relacionados con los procesos de rifting del Golfo de Vizcaya y el comienzo de la deriva de la placa Ibérica hacia Europa, originándose dos márgenes, ibérica y europea, separadas por una cuenca axial de dirección N110° a N120°.

Esta deriva antihoraria de Iberia con respecto a Europa tuvo su principal reflejo durante el Albiense, en la que la fase austrica dio lugar a una nueva reestructuración general. Su principal efecto es la elevación de los macizos paleozoicos, en esta zona los de Larún y Cinco Villas, con la formación entre ellos de la cuenca de Vera, en una distribución próxima a la actual.

Durante el periodo Albiense-Cenomaniense, el ciclo sedimentario se traduce en una acentuación de la distensión entre las dos placas continentales, que coincide sensiblemente con el comienzo de la expansión oceánica en el Golfo de Gascuña. Esta distensión es la responsable de la formación de fosas tectónicas, que en esta zona, están controladas por fallas de dirección E-O y N-S, reactivación de las direcciones principales hercínicas.

La sedimentación, en esta cuenca de Vera, es detrítica, con aportes procedentes de los macizos paleozoicos de Larún y Cinco Villas. Se produce además, en esta cuenca, una sedimentación de tipo subarrecifal en condiciones restringidas, a diferencia de otras cuencas cretácicas más abiertas.

En el Albiense superior-Cenomaniense, la elevación del nivel marino y la continuación de la tectónica distensiva favorece la progradación de la plataforma incluso sobre el sustrato, representados en esta zona por depósitos de calizas arcillosas.

Finalmente, en esta cuenca de Vera-Zugarramurdi, la etapa distensiva tuvo su culminación con el máximo desarrollo de este graben entre una zona de talud, el macizo de Larún, y un dominio de plataforma estable, el macizo de Cinco Villas, que produjo el paso hacia sedimentos de tipo turbidítico.

A partir del Campaniense, la falta de registro sedimentario más moderno no nos permite conocer la evolución posterior de la región. No obstante, y a grandes rasgos, durante el Cretácico superior y el Paleoceno, continúa la sedimentación turbidítica, en una cuenca tectónicamente estable con ciertos estadios concretos de inestabilidad.

Durante el Paleoceno Medio aparecen unas nuevas inestabilidades que se desarrollan hasta el Eoceno Medio. La deformación de esta zona a partir del Luteciense, resulta del movimiento hacia el Norte de las unidades meridionales. Es en esta época cuando las principales fases pirenaicas se pliegan y emergen los materiales depositados, hasta el Oligoceno, cuando tiene lugar la mayor actividad orogénica que culmina en la emersión de todos los relieves tal y como aparecen en la actualidad.

## 7. GEOLOGÍA ECONÓMICA

### 7.1. RECURSOS MINERALES

En la actualidad, los signos de actividad minera en el ámbito navarro de la hoja de Lesaka se reducen a la explotación de una única cantera de caliza. Además de esta explotación en activo, en la Hoja de Lesaka aparecen otras tres canteras de caliza abandonadas. En cuanto a los minerales metálicos y no metálicos aparecen un total de 26 indicios, todos ellos completamente abandonados actualmente, lo que indica que el desarrollo de la minería en esta zona conoció mejores épocas.

#### 7.1.1. Minerales metálicos y no metálicos

En esta Hoja, la industria extractiva no tiene en la actualidad ninguna actividad, a diferencia de tiempos no muy lejanos, en los que esta, era una zona de cierta prosperidad minera. La totalidad de los indicios aparece en los materiales del Macizo de Cinco Villas, ya sea en la serie pelítica carbonífera o en las "Calizas de Aranaz", no apareciendo ningún indicio en el stock granítico de Peñas de Aya.

##### 7.1.1.1. Mineralizaciones de Siderita, Fluorita, Galena, Esfalerita, Calcopirita . Zn-Pb-F-(Fe)

Las mineralizaciones son de morfología filoniana y están encajadas tanto en granito como en la serie pelítica carbonífera. Se les ha considerado como filones hidrotermales genéticamente relacionados con el granito de Peñas de Haya. Los filones son de pequeñas dimensiones, con potencias centimétricas a métricas y direcciones variables, entre las que predominan las N-S a N 20° y las N 60-70°. Suelen ser filones irregulares, en los que se han producido fenómenos de brechificación y cizallamiento. Predominan los filones ricos en siderita en el granito y su borde mientras que los filones de fluorita, galena, esfalerita y barita son más abundantes en zonas externas. En cualquier caso, estas asociaciones aparecen siempre, variando las abundancias relativas.

La concentración más significativa aparece en el área de los ríos Ollín y Urumea. Se caracterizan por ser las mineralizaciones más externas al granito y estar situadas fuera de su aureola de contacto. Son estructuras filonianas, con potencias entre 0.25 y

2 metros, en asociaciones de cuarzo, fluorita, esfalerita, galena, siderita, pirita y calcopirita, variando la abundancia de minerales. Es el caso de la mina Elama 2, donde predominaba la fluorita, encajada en calizas. Además de este indicio hay otros cuatro, con predominancias de Zn y Pb principalmente.

#### **7.1.1.2. Hierro**

La mayoría de los indicios en la Hoja de Lesaka son de Hierro, hasta un total de 18. Como en otras zonas próximas, la mayoría de las mineralizaciones de hierro en la hoja de Lesaka son de carácter filoniano y ocupan una posición perigranítica en pizarras o en calizas. El mineral principal es la siderita, al que van asociados otros sulfuros. En algunos casos, se explotaban óxidos e hidróxidos de hierro, e incluso hematites. Otra mineralización de otro tipo es la de concreciones estratiformes, como es el caso de la mineralización de Chinchón Borda, con morfología concordante con la estratificación.

#### **7.1.1.3. Pirita**

Este grupo se diferencia por ser filones más pobres en blenda y galena, dentro del grupo de filones exograníticos. En esta hoja aparecen dos indicios en los parajes de Terreta y Gogorri Erreka, ambos en Aranaz.

#### **7.1.1.4. Barita**

Solamente existe una única manifestación de concentraciones de Barita. Que además es la única del macizo de Cinco Villas. Se trata de un indicio en Artikutza, en Goizueta, donde aparecen niveles de Barita de 20-30 cm. Interestratificados en pizarras y esquistos carboníferos

### **7.1.2. Rocas industriales**

Pertenece a este grupo la única explotación de calizas existente, situada en el paraje de Muga Goikua, en el término de Yanci, donde se explotan las Calizas de Aranaz. Además de esta explotación, existen en la Hoja, otras tres canteras abandonadas, situadas en Artikutza y Garistin en Goizueta, y San Juan en Yanci.

### **7.1.3. Interés potencial de los recursos mineros**

Al no existir un conocimiento exhaustivo con respecto a minerales metálicos y explotaciones en todo el ámbito navarro hacen que su aprovechamiento futuro sea contemplado como algo remoto y que, en cualquier caso, pasaría por la realización de estudios geológico-mineros que determinasen la ubicación y ley de los yacimientos.

Las rocas industriales parecen ofrecer un futuro más prometedor a juzgar por sus demandas actuales y por su abundancia en el marco de la Hoja. Entre ellos, la caliza constituye una de las sustancias de mayor interés actualmente, existiendo importantes afloramientos en la zona; de ellos, destacan por su extensión y accesibilidad las Calizas de Aranaz, cuya aplicación más inmediata son los áridos empleados para diversos tipos de obras públicas. Por el contrario, las pizarras y esquistos de la serie pelítica carbonífera carecen de interés.

## **7.2. HIDROGEOLOGÍA**

### **7.2.1. Introducción**

La hoja escala 1:25.000 de Lesaca (65-III) comprende una zona montañosa de relieves contrastados, con dos áreas litológicamente bien definidas. El macizo granítico de Peñas de Aya que ocupa parte de la zona septentrional de la Hoja y el macizo de Cinco Villas, donde afloran depósitos paleozoicos en una serie pelítica monótona. El centro de la Hoja está recorrido por una alineación montañosa de dirección aproximada norte-sur que separa dos subcuencas, la cuenca del Bidasoa, en la zona oriental y la del Urumea en la occidental. Ambas son cuencas pertenecientes a la Cuenca Cantábrica.

En la subcuenca del Bidasoa el principal cauce fluvial en esta hoja es el río Latza, afluente del Bidasoa, mientras que en la cuenca del Urumea es el río Añarbe el principal.

El régimen de humedad es del tipo Húmedo y en cuanto al régimen térmico corresponde al tipo Templado Cálido. La combinación de estos parámetros, permite determinar para

esta zona, según PAPADAKIS, un clima Marítimo, Templado Cálido, con una temperatura media anual comprendida entre 8°C y 11°C y una precipitación media anual del orden de 1500 mm.

La evapotranspiración potencial es del orden de 620 mm según el método THORNTHWAITE y la real del orden de 550 mm para capacidades de campo entre 50 y 100 mm.

### **7.2.2. Descripción hidrogeológica**

Entre las formaciones aflorantes en el ámbito de la Hoja de Lesaka (65-III), se han distinguido aquellas que por sus características hidrogeológicas, son susceptibles de desarrollar acuíferos.

Como acuíferos principales se consideran las formaciones con permeabilidad media-alta cuya potencia y extensión permite desarrollar buenos acuíferos ya sean detríticos o kársticos. Los acuíferos secundarios engloban formaciones con permeabilidad menor o muy variable o bien aquellos materiales que presentan buenas condiciones por sus parámetros hidrogeológicos pero que su extensión no permite su desarrollo.

Dentro de la zona objeto de estudio se han distinguido los siguientes niveles acuíferos, todos ellos de naturaleza secundaria:

Acuíferos secundarios	Paleozoico
	Cuaternario

### **7.2.3. Acuíferos secundarios**

#### **7.2.3.1. Acuíferos aislados del Paleozoico (Devónico y Carbonífero)**

Carbonífero: Se incluyen los materiales calcáreos correspondientes a la formación Elorzuri. En conjunto se trata de calizas y dolomías, en ocasiones intensamente recristalizadas, con un espesor muy variable. Los afloramientos calcáreos del

Carbonífero no son muy numerosos en esta hoja y están reducidos a pequeños lenticiones intercalados en la serie pelítica.

En general, estos niveles paleozoicos presentan un elevado grado de recristalización y se encuentran muy compartimentados por efecto de la tectónica regional que les afecta. Por este motivo, en ocasiones, los niveles acuíferos se encuentran desconectados unos de otros y su permeabilidad disminuye por el recrecimiento cristalino que impide la circulación de agua subterránea.

#### **7.2.3.2. Cuaternario**

El Cuaternario de esta Hoja está representado fundamentalmente por los depósitos de fondos de valle que presentan una litología cantos y gravas, de naturaleza calcárea, cuarcítica, areniscosa y otras, envueltos en una matriz arenoso-arcillosa

La geometría de estos depósitos, en planta, es alargada y muy estrecha con un trazado serpenteante.

Hidrogeológicamente, se estima una permeabilidad media-alta, por porosidad intergranular, debido a la granulometría y al bajo grado de compactación que presentan. Predomina la permeabilidad media cuando las lutitas son mayoritarias en la matriz.

La Llanura de Inundación de los principales cursos fluviales, presenta muy escaso desarrollo y está constituida fundamentalmente, por materiales terrígenos finos: arcillas y lutitas con intercalaciones de arenas y ocasionalmente gravas.

Hidrogeológicamente se trata de formaciones prácticamente impermeables, debido al predominio de materiales arcillosos y lutíticos.

El sistema de terrazas, está así mismo muy poco desarrollado, constituido por un conjunto de gravas y cantos de naturaleza cuarcítica y calcárea mayoritariamente con una matriz arenosa limosa o arenosa arcillosa.

Estos depósitos tienen un grado de permeabilidad medio-alto, debido a la elevada porosidad intergranular que presentan. No obstante, dado su escaso desarrollo y

extensión no constituyen acuíferos de importancia, aunque la utilización conjunta asociada a los cursos superficiales resulta altamente interesante.

Los coluviones y deslizamientos están formados por acumulación de materiales al pie de los relieves montañosos, con mayor o menor espesor y ordenados o no, según el grado de madurez del depósito. Existe en esta Hoja un mayor predominio de formas coluvionares con una extensión superficial limitada.

Litológicamente están formados por depósitos sueltos, de cantos o bloques con matriz arcillo-lutítico-arenosa, que dificulta la percolación.

Hidrogeológicamente presentan una permeabilidad media-baja en función de su litología, la potencia en general es pequeña, no superando los 5 m, dado el gran relieve que presenta esta Hoja.

#### **7.2.4. Funcionamiento hidrogeológico**

En los materiales paleozoicos del macizo de Cinco Villas, se localizan algunos manantiales dispersos con caudales variables que no suelen superar los 3 l/s, aunque pueden presentar incrementos estacionales en la época de lluvias. En general estos acuíferos son pequeños y con respuesta rápida a la recarga.

Además de estas existen otras muchas dispersas y de carácter básicamente estacional que drenan los recursos almacenados en los materiales paleozoicos a favor de la red de fracturas que les afecta.

La variación de los caudales de estos puntos de descarga, es significativa, lo que confirma el funcionamiento Kárstico de los materiales que drenan.

La alimentación de todos estos niveles acuíferos se realiza a partir de la infiltración directa del agua de lluvia y de las fuertes escorrentías que se producen en la zona, sobre la extensa superficie aflorante de materiales permeables. En general los niveles acuíferos presentan un comportamiento libre donde aflora y confinado por materiales de permeabilidad muy baja en el resto. Presenta cierto grado de compartimentación por efecto de la tectónica por lo que en ocasiones el funcionamiento hidráulico es independiente. La descarga de estos niveles se produce por numerosos manantiales

ubicados en los contactos permeable-impermeable, con caudales muy variables, también se produce un drenaje difuso hacia los cauces fluviales por lo que los depósitos cuaternarios pueden ser recargado por niveles calcáreos. También se realizan extracciones en pozos ubicados en los aluviales de los principales cursos fluviales, que han desarrollado un pequeño sistema de terrazas fluviales. Estas captaciones no suelen superar los 10 metros de profundidad.

La composición química del agua subterránea es relativamente constante en los acuíferos que son uniformes litológicamente. En general se trata de facies bicarbonatadas cálcicas y magnésicas con mineralización débil o muy débil y baja dureza.

### **7.3. GEOTECNIA**

#### **7.3.1. Introducción**

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 nº 65-III correspondiente a Lesaka, y se establecen las características geomecánicas de los materiales que la componen.

Esta caracterización geotécnica se ha realizado en función de la disponibilidad de datos geotécnicos que se han podido recopilar en obras y proyectos. En el caso de no disponer de esta información, se efectúa una valoración geotécnica según las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales.

El objetivo de este trabajo es proporcionar al usuario una información geotécnica de carácter general, pero lo suficientemente objetiva como para permitir la toma de posturas iniciales en temas de ordenación del territorio, o prever problemas en el planteamiento y diseño de campañas geotécnicas puntuales.

#### **7.3.2. Metodología**

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

1. Recopilación de los datos existentes: Dado que en la Hoja no se han podido recoger datos procedentes de obras y proyectos, realizados en Navarra por organismos públicos y empresas privadas, se ha acudido a las

hojas contiguas donde existen datos geotécnicos sobre las mismas unidades

2. Tratamiento de los datos: En esta etapa se trata de establecer, de la manera más adecuada posible la naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y, la evolución y propiedades de la roca bajo los procesos de meteorización. Los datos recopilados se clasifican en los siguientes grupos:

1. Identificación; establecen la naturaleza de la roca y su estado natural aparente (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad, absorción, grado de meteorización).
  2. Clasificación; intentan establecer una idea general del comportamiento de la roca en relación a criterios previamente establecidos. Algunos de estos criterios se fijan en base a resultados de ensayos de resistencia. (Índice de Calidad, resistencia a compresión simple, point load test).
  3. 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, Brasileño).
  4. 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).
3. 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). Como se ha señalado con anterioridad, cuando no ha sido posible disponer 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.

### **7.3.3. Zonificación geotécnica**

#### **7.3.3.1. Criterios de división**

Se ha dividido la superficie de la Hoja en función de criterios geotécnicos, en cuatro Áreas que presentan una entidad propia y cierta homogeneidad. Posteriormente, estas áreas han sido divididas a su vez en un total de diecisiete 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.

De aquellas unidades de las que se dispone información, se aportan datos de identificación, estado, resistencia, deformabilidad y análisis químico.

#### **7.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas**

ÁREA I: Representa rocas ígneas y plutónicas

ÁREA II: Engloba los materiales Paleozoicos

ÁREA III: Comprende los depósitos Mesozoicos

ÁREA IV: Engloba los depósitos Cuaternarios

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas:

ÁREA I: ZONA I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>,

ÁREA II: ZONA II<sub>1</sub>, II<sub>2</sub>, II<sub>3</sub>, II<sub>4</sub>

ÁREA III: ZONA III<sub>1</sub>, III<sub>2</sub>, III<sub>3</sub>, III<sub>4</sub>

ÁREA IV: ZONA IV<sub>1</sub>, IV<sub>2</sub>, IV<sub>3</sub>

En el Cuadro 1 se presenta la correlación entre las Unidades Geológicas cartografiadas y las Zonas Geotécnicas.

<b>UNIDAD CARTOGRÁFICA</b>	<b>ZONACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
524,541,544, 527, 536	IV <sub>3</sub>	Cantos, gravas, arenas y arcillas. Depósitos fluviales
519,545,547,537, 543, 550	IV <sub>2</sub>	Bloques, cantos, gravas, arenas y arcillas. Depósitos poligénicos y de gravedad.
523	IV <sub>1</sub>	Arcillas de descalcificación
169,170	III <sub>4</sub>	Calizas y calizas arcillosas
105,151	III <sub>3</sub>	Arcillas, limolitas y yesos triásicos
107,136,168	III <sub>2</sub>	Calizas tableadas y bioconstruidas y dolomías
101,103,104	III <sub>1</sub>	Conglomerados y areniscas
70,71	II <sub>4</sub>	Arcillas
53	II <sub>3</sub>	Areniscas
56,60,65,66, 67	II <sub>2</sub>	Calizas, calizas tableadas, dolomías y silexitas
57,59,64,68, 69	II <sub>1</sub>	Pizarras, esquistos, esquistos arenosos y con intercalaciones calcáreas
5,6	I <sub>2</sub>	Granitos y leucogranitos
7, 2, 1, 44	I <sub>1</sub>	Ofitas, diabasas, basaltos y rocas filonianas

Cuadro 1: Correlación entre las unidades geológicas y zonas geotécnicas

### **7.3.4. Características geotécnicas**

#### **7.3.4.1. Introducción**

De los materiales que se disponen ensayos, aunque no sea en esta Hoja, se ha realizado una caracterización geomecánica utilizando los criterios que se señalan más adelante. No obstante, la generalización a cada zona de estos valores puntuales 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).

La caracterización geomecánica de los diferentes materiales, se ha realizado con ayuda de los ensayos de laboratorio y de campo. Hay que señalar que el número de ensayos geotécnicos es muy reducido, teniendo en cuenta la extensión de la zona y la diversidad de formaciones existentes, por lo que estos valores deben considerarse como orientativos y en ningún caso pueden sustituir a los ensayos geotécnicos de detalle. Se ha recopilado información de los siguientes ensayos:

- **Granulometría.** Del análisis granulométrico se ha considerado 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.** La clasificación de los suelos cohesivos según su plasticidad se ha efectuado con el límite líquido (WL) y el índice de plasticidad (IP), utilizando la carta de plasticidad de Casagrande.
- **Absorción de agua.** Permite obtener una idea del grado de meteorización o fisuración por comparación de muestras del mismo material. Está relacionado con la expansividad del terreno.
- **Grado de meteorización.** Mediante reconocimientos y descripciones “de visu” se determina el grado de meteorización de las muestras según la siguiente relación:

Grado de meteorización	Denominación
I	Sana
II	Meteorización incipiente (juntas oxidadas)
III	Moderadamente meteorizada
IV	Muy meteorizada
V	Completamente meteorizada

- **Índice de calidad ( $I_Q$ ).** Se define como la relación porcentual entre la velocidad de propagación de ondas longitudinales ( $V_L$ ) en testigos cilíndricos de roca y en roca sana (sin fisuras ni huecos). La Figura 6.1 muestra valores medios de  $V_L$  en diferentes tipos de roca en estado sano.

Tipo de rocas	V <sub>L</sub> media (m/s)
Gabros	7000
Basaltos	6500 a 7000
Cuarcitas	6000
Granitos	5500 a 6000
Calizas	6000 a 6500
Calizas dolomíticas*	6500 a 7500
Argilitas**	900 a 2600

Fig. 6.1. Velocidades máximas medias de propagación de ondas longitudinales en los principales tipos de rocas. (\* según el contenido en dolomía; \*\* según la estructura y grado de alteración).

En general, la velocidad de propagación está en relación inversa con la porosidad de la roca ( $n$ ). Con el índice de calidad ( $I_Q$ ) y el valor de porosidad ( $n$ ) de la roca, puede determinarse la Densidad de Fisuración.

- Resistencia a compresión simple ( $Q_u$ , Kp/cm<sup>2</sup>). 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

Igualmente, considerando la resistencia a compresión simple, se puede valorar la consistencia del terreno, de manera cualitativa.

Tensión de rotura a compresión simple en Kp/cm <sup>2</sup>	Consistencia
< 0,25	Muy blando
0,25 a 0,50	Blando
0,50 a 1	Medio
1 a 2	Firme
2 a 4	Muy firme
> 4	Duro

- 
- Ensayo de Carga Puntual ( $I_s$ ,  $Kp/cm^2$ ). Determina la resistencia de una muestra de testigo. Por su facilidad de realización se utiliza en aquellos casos en los que las muestras no reúnen las condiciones necesarias para realizar un ensayo de compresión simple (baja dureza, elevada anisotropía,). Requiere un elevado número de ensayos y un tratamiento estadístico de los mismos para obtener resultados fiables. Generalmente  $I_s$  presenta una buena correlación con el ensayo de resistencia a compresión simple ( $Q_u$ ), mediante la siguiente relación:  $Q_u = f \cdot I_s$ , donde  $f$  es una constante que depende del diámetro del testigo de roca.
  - 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. En suelos granulares basta conseguir una alta densidad seca, pero en suelos con finos es preciso controlar también las condiciones humedad. La presencia de agua disminuye la presión intergranular, y actúa como lubricante, facilitando el deslizamiento y giro de las partículas entre sí y su agrupamiento en estructuras más compactas. El resultado es una densidad seca más elevada.
  - 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. Se utiliza por tanto para el dimensionamiento de firmes. A mayor CBR, mayor es la capacidad de soporte de la explanada. Normalmente se expresa el valor de CBR para el 95 % y 100% de la densidad Proctor.
  - Ensayo de tracción indirecta ( $\sigma_{tb}$ ,  $Kp/cm^2$ ). También conocido como “Brasileño”, es un ensayo normalizado de tracción más adecuado para clasificar la resistencia de la roca que la resistencia a tracción. La relación entre la resistencia a compresión simple ( $Q_u$ ) y la resistencia a tracción ( $\sigma_{tb}$ ) en el ensayo brasileño ( $Q_u/\sigma_{tb}$ ) aumenta al hacerlo  $Q_u$ , pudiendo variar de 10 a 15 para  $Q_u < 500 Kp/cm^2$ , y de 15 a 25 para resistencias más elevadas. El criterio de clasificación de rocas con rotura frágil a partir de ensayos brasileños es como sigue:

Resistencia	$\sigma_{\text{br}}$ Kp/cm <sup>2</sup>
Muy débil	0-15
Débil	15-35
Media	35-65
Alta	65-100
Muy alta	> 100

- Ensayo de corte directo. Es un ensayo rápido y económico que permite determinar la cohesión (c) y el ángulo de rozamiento interno ( $\phi$ ) de una muestra de roca o discontinuidad. Es de gran aplicación práctica en el cálculo de estabilidad de taludes.
- Ensayo de Molinete. Permite hallar la resistencia al corte en suelos blandos, principalmente arcillas blandas saturadas o suelos orgánicos.
- Módulo de deformación y coeficiente de Poisson. El módulo de deformación se puede obtener en arcillas sobreconsolidadas, utilizando el valor de la resistencia al corte sin drenaje ( $C_u$ ) en la correlación  $E = 130 \times C_u$  definida por Butler. Para el coeficiente de Poisson se podría adoptar un valor entre 0,30 y 0,35, dependiendo de la consistencia blanda o densa.
- Análisis químico. Se han utilizado los datos de 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:

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

- **Análisis de Hinchamiento.** Mide el cambio de volumen debido al humedecimiento general de la roca. Normalmente se suele medir la componente vertical de hinchamiento. Los datos que se poseen sobre la expansividad del terreno están obtenidos a través del ensayo Lambe, que fija el cambio potencial de volumen (C.P.V.) de la manera siguiente:

C.P.V.	Descripción
0 - 2	No crítico
2 - 4	Marginal
4 - 6	Crítico
> 6	Muy crítico

- **Ensayo de durabilidad ( $I_D$ ).** Mide la resistencia de la roca frente a procesos de meteorización y disgregación como resultado de someter a la muestra a dos ciclos de secado y agitación en un baño de agua. Se obtiene un índice ( $I_D$ ) que muestra la relación porcentual entre el peso seco de la muestra después de dos ciclos y el peso seco antes del ensayo. La durabilidad del material puede relacionarse con el índice de plasticidad ( $I_P$ ) en rocas arcillosas según el cuadro que muestra la Figura 6.3.

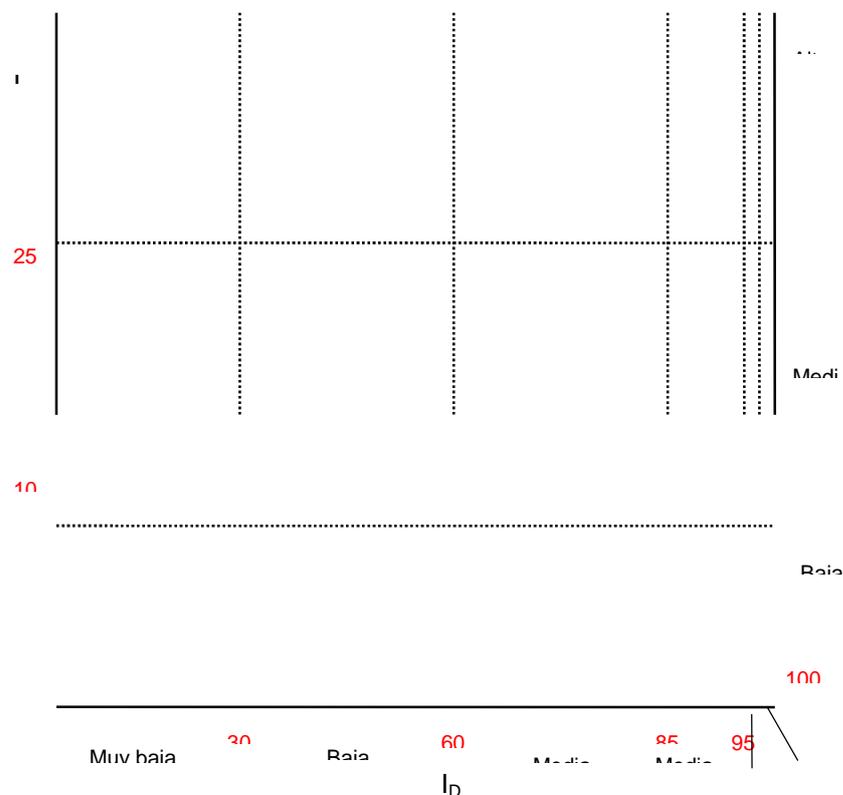


Fig. 6.3. Clasificación de durabilidad-plasticidad en rocas arcillosas propuesta por GAMBLE (ISRM, 1972).

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 para roca poco diaclasada, no meteorizada con estratificación favorable y marcada de 15 Kp/cm<sup>2</sup> y de 30 Kp/cm<sup>2</sup> 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.

Descripción de la roca	Kp/cm <sup>2</sup>
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 han sido estimados considerando 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.

- Obras subterráneas. Se utiliza el término "Muy Difícil" para suelos muy blandos por debajo del nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "Difícil" 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 autosoporte 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 cinco parámetros:

- Resistencia de la roca
- RQD
- Separación entre diaclasas
- Presencia de agua
- Disposición de las juntas respecto a la excavación

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

#### **7.3.4.2. Área I**

##### **Zona I<sub>1</sub>**

- Localización

Los filones de cuarzo aparecen tanto en el stock granítico de Peñas de Aya, como en la serie pelítica carbonífera, mientras que las diabasas aparecen en una serie de afloramientos de reducidas dimensiones, distribuidos esencialmente en el borde y en el interior de las Calizas de Aranaz.

- Características geológicas

Los materiales que definen esta Zona están formados por filones de cuarzo, ofitas y niveles interestratificados de basaltos. Las primeras son rocas filonianas que aparecen frecuentemente oxidados, mientras que las ofitas son rocas subvolcánicas, de textura ofítica y composición basáltico-andesítica, tonos verdosos y aspecto homogéneo en estado sano. Los basaltos son rocas de textura holocristalina e hipidiomorfa y de grano fino. El grado de alteración superficial es muy alto en las ofitas, mientras que en los filones de cuarzo es mucho menor. En los basaltos es variable, siendo muy alto en Ibantelly y menor en Larún.

- Características geotécnicas

A continuación se describen los valores más característicos:

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas(Roca inalterada)

Humedad (W)	4,78 %
Densidad Seca	2,14 gr/cm <sup>3</sup>
Meteorización	2
Resistencia a Compresión Simple (Qu)	27-2200 Kp/cm <sup>2</sup>
Qu a partir del Point Load Test	1800 Kp/cm <sup>2</sup>

Destaca la alta dispersión de valores extremos en los ensayos de resistencia a compresión simple. La correspondencia de resistencia a compresión simple a partir de los datos del Point Load Test da un resultado acorde con los valores de resistencia de este tipo de materiales. No obstante, el bajo número de pruebas realizadas (ver epígrafe 6.3.4.1. Ensayo de Carga Puntual) puede restar fiabilidad a los resultados. A nivel orientativo, se estima que la resistencia a compresión simple en estado sano es muy alta (>1500 Kp/cm<sup>2</sup>). Presentan un grado de alteración superficial variable, siendo éste importante en zonas de fracturas.

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. Según el Código Británico, la carga admisible para este tipo de rocas en estado sano es de  $109 \text{ Kp/cm}^2$ , mientras que la Norma DIN 1054 establece presiones admisibles no inferiores a  $30 \text{ Kp/cm}^2$ ; en los niveles superficiales alterados y degradados, estos valores disminuyen notablemente. Por lo tanto, pueden considerarse, tomando valores conservadores, cargas admisibles superiores a  $80 \text{ Kp/cm}^2$ , es decir una capacidad portante muy alta. La cimentación se realizará sobre roca inalterada, por debajo del espesor del regolito. No se esperan problemas de cimentación.
2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Los niveles superficiales se consideran como Terreno Medio-Duro. En profundidad se requerirá el uso de explosivos.

Estabilidad de taludes. Los taludes naturales están en equilibrio. En estado sano, son materiales muy estables, admitiendo taludes verticales. Ocasionalmente, en función del grado y estado de las diaclasas, puede existir algún bloque en estado crítico, que se estabilizará con bulones y anclajes.

Empuje sobre contenciones. No serán necesarias.

Aptitud para préstamos. Según el PPTG los niveles sanos constituyen Suelos Aptos.

Aptitud para explanada en carreteras. Son Suelos Aptos (adecuados y seleccionados) que constituyen explanadas de tipo E-3.

Obras subterráneas. En estado sano, se encuadran en Clase I ( $\text{RMR}=81-100$ ). Para anchuras de tunelación moderada (3-8 m) no se esperan problemas de sostenimiento, aunque éste dependerá en última instancia de la abundancia de familias de litoclasas.

## Zona I<sub>2</sub>

- Localización

Se localiza en el macizo de Peñas de Aya, formado por un stock granítico, que en esta Hoja ocupa la parte noroccidental de la Hoja.

- Características geológicas

Los materiales que definen esta Zona están formados por leucogranitos que forman la unidad externa y granitos, granodioritas y gabrodioritas en la unidad interna. En el stock granítico aparecen diques de cuarzo, pegmatitas, aplitas y diques básicos.. El grado de alteración superficial es variable, siendo bajo en zonas de alta pendiente, aumentando en las zonas de menor relieve.

- Características geotécnicas

A continuación se describen los valores más característicos:

### Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Resistencia a Compresión Simple (Qu)	3000 Kp/cm <sup>2</sup>
Modulo de Poisson (roca sana)	39.000-890.000 kp/cm <sup>2</sup>
Modulo de Poisson (roca alterada)	700-230.000 kp/cm <sup>2</sup>
Cohesión	100-480 kp/cm <sup>2</sup>
Angulo de rozamiento	51°-58°

Como se puede observar, la resistencia a compresión simple en rocas sanas es muy alta, descendiendo considerablemente en rocas alteradas, que llegan a comportarse

como suelos. Presentan un grado de alteración superficial variable, siendo éste importante en zonas de alteración y de fracturas y diaclasas

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. Capacidad portante muy alta. La cimentación se debe realizar sobre roca inalterada, por debajo del espesor del regolito. No se esperan problemas de cimentación.
2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Los niveles superficiales se consideran como Terreno Medio-Duro. En profundidad se requerirá el uso de explosivos al tratarse de rocas Duras.

Estabilidad de taludes. Los taludes naturales están en equilibrio. En estado sano, son materiales muy estables, admitiendo taludes verticales. Ocasionalmente, en función del grado y estado de las diaclasas, puede existir algún bloque en estado crítico, que se estabilizará con bulones y anclajes.

Empuje sobre contenciones. No serán necesarias.

Aptitud para préstamos. Según el PPTG los niveles sanos constituyen Suelos Aptos.

Aptitud para explanada en carreteras. Son Suelos Aptos (adecuados y seleccionados) que constituyen explanadas de tipo E-3.

Obras subterráneas. En estado sano, se encuadran en Clase I (RMR=81-100).

### 7.3.4.3. Área II

#### Zona II<sub>1</sub>

- Localización

Aparece ampliamente representada en toda la Hoja, ocupando toda la extensión de la Hoja que no forma parte del macizo de peñas de Aya y los afloramientos de las Calizas de Aranaz.

- Características geológicas

Se trata sucesiones monótonas de materiales paleozoicos de diferente litología (y por tanto, diferentes propiedades mecánicas) definiendo alternancias rítmicas de pizarras, esquistos, esquistos arenosos con intercalaciones calcáreas y conglomeráticas.

- Características geotécnicas

La característica fundamental del macizo rocoso de Cinco Villas, que constituye esta zona, es la alternancia de materiales de diferente litología en estratos y capas de espesor variable, factores estos que condicionan decisivamente el comportamiento geomecánico del conjunto. No se dispone de datos que puedan caracterizar geotécnicamente al conjunto de materiales que definen esta zona. A continuación se describen los valores más característicos:

#### Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Pizarras inalteradas)

R.Q.D.	40-60
Grado de Meteorización	2
Qu deducido a partir del Point load test	90,8 Kp/cm <sup>2</sup>

A la vista de los resultados, solo se puede decir que se trata de unas pizarras poco meteorizadas, que presentan una resistencia muy baja (< 250 Kp/cm<sup>2</sup>). No obstante, los valores obtenidos de resistencia a compresión a partir del ensayo de carga puntual

(point load test) pueden presentar un margen de error importante, debido al bajo número de ensayos realizados.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la presencia de margas, pizarras y niveles arcillosos determina una baja permeabilidad, por lo que no se espera la presencia de agua en profundidad.

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación: La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden  $20 \text{ kp/cm}^2$ , valores estos que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos margosos aumenta o la disposición de la estratificación, pizarrosidad y grado de diaclasado son desfavorables. Se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entonces entre  $6$  y  $10 \text{ kp/cm}^2$ , valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a  $3 - 4 \text{ kp/cm}^2$ .

El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Será necesario el empleo de zapatas corridas cuando sea necesario mitigar los efectos (asientos, punzonamiento) que la heterogeneidad litológica provoca por la presencia de niveles poco competentes entre niveles resistentes. Habrá que estudiar las características y disposición espacial de la estratificación y diaclasado, cuando los apoyos se realicen próximos a taludes, y recurrir en caso necesario a trabajos de anclaje y bulonado para garantizar su estabilidad.

2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Se trata de Terrenos Duros, atacables por medios mecánicos. Las margas, arcillas y niveles calcomargosos son en general ripables.

Estabilidad de taludes. Son un conjunto de materiales que presentan una estabilidad media. Se pueden producir puntualmente desprendimientos superficiales de los niveles margosos muy laminados, y fenómenos de vuelco de estratos.

Empuje sobre contenciones. Serán de tipo bajo, ocasionalmente de tipo medio en zonas margosas alteradas o en taludes con problemas de estabilidad.

Aptitud para préstamos. Las arcillas, margas y calizas margosas se consideran No Aptas para su uso en terraplenes y pedraplenes. Los niveles de areniscas, calizas y cuarcitas constituyen por el contrario, Terrenos Adecuados y Seleccionados. Las pizarras requieren un estudio especial.

Aptitud para explanada en carreteras. En el caso de desmontes en roca, la categoría de la explanada en calizas, areniscas y cuarcitas es la E-3, mientras que las margas, arcillas y calizas margosas requerirán la extensión sobre ellas de un firme seleccionado.

Obras subterráneas. Se encuadran entre la Clase III (Calidad Media) y Clase IV (Calidad Mala) de la Clasificación de Bieniawski (1979), jugando un papel importante la orientación de la estratificación y el grado de diaclasado.

## **Zona II<sub>2</sub>**

- Localización

En esta hoja aparecen dos grandes afloramientos, en las zonas de Lesaka-Yanci y Aranaz, así como otro de menor extensión.

- Características geológicas

Está constituido por un variado conjunto de materiales carbonatados competentes del Paleozoico, que suponen un cambio litológico y sedimentario importante con respecto a los materiales pelíticos de la unidad anterior. Está integrada por calizas masivas y tableadas, junto con un nivel muy fino de sílexitas que se encuentra asociado a las calizas tableadas.

- Características geotécnicas

No existen ensayos de laboratorio que ayuden a precisar las características geomecánicas de estos materiales. No obstante, a nivel orientativo, se estima que la resistencia a compresión simple en estado sano es buena ( $>250 \text{ Kp/cm}^2$ ).

En general, la resistencia del macizo rocoso dependerá del grado de carstificación y de la abundancia y naturaleza de las discontinuidades.

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. El tipo de cimentación será superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Presentan una buena capacidad portante, superior a los valores requeridos para la cimentación de edificios habituales, pudiéndose aplicar cargas superiores a  $30 \text{ Kp/cm}^2$  (Código Británico, Norma DIN-1054).

Un aspecto importante en estos materiales es el grado de carstificación que presentan, para poder evaluar el riesgo local de subsidencia y colapsos del terreno. Aunque la ocurrencia tan dilatada de estos fenómenos en el tiempo resulta poco significativa, es importante evaluarlo para cada caso puntual.

2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Son materiales Duros, por lo que su excavación precisa el empleo de explosivos. El nivel superficial de alteración es fácilmente excavable.

Estabilidad de taludes. Presentan una estabilidad Alta. Al diseñar un talud habrá que prestar especial atención a la orientación de la estratificación respecto a la del talud ante el peligro de descalces y caída de bloques.

Empuje sobre contenciones. No serán necesarias.

Aptitud para préstamos. Se consideran Terrenos Aptos.

Aptitud para explanada en carreteras. Constituyen Terrenos Adecuados y Seleccionados para coronación de terraplenes y pedraplenes. En desmontes en roca constituyen explanadas de tipo E-3.

Obras subterráneas. Se encuadran como materiales de la Clase II y Clase III (Media y Buena). Para anchuras de tunelación moderadas (0-8m) no se esperan problemas de sostenimiento.

#### **7.3.4.4. Área III**

##### **Zona III<sub>1</sub>**

- Localización

Aparece un único afloramiento en el borde sur de la Hoja, en una zona de relieves muy acusados.

- Características geológicas

Está constituido por conglomerados y areniscas rojas en facies Buntsandstein. Los conglomerados se localizan a base, presentan cantos redondeados de cuarzo y cuarcita, y se encuentran muy cementados. Las areniscas son de composición cuarcítico-micácea, con cemento silíceo y ocasionalmente ferruginoso.

- Características geotécnicas

En esta ocasión sólo se dispone de los ensayos geotécnicos, realizados sobre materiales del Buntsandstein en horizontes profundos no alterados, en hojas próximas, donde las características son similares que en esta Hoja de Vera de Bidasoa. A continuación, se describen los valores más característicos:

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Roca inalterada)

Densidad	2,74 gr/cm <sup>3</sup>
Meteorización	2

---

R.Q.D.	80-100 %
Resistencia a Compresión Simple (Qu)	1010 Kp/cm <sup>2</sup>
Qu a partir del Point Load Test	1354 Kp/cm <sup>2</sup>
E. Brasileño ( $\sigma_{tb}$ )	79,1 Kp/cm <sup>2</sup>
Cohesión (c)	1,15 T/m <sup>2</sup>
Ángulo de Rozamiento ( $\phi$ )	23,2° (51 %)

Destacan los altos valores de resistencia obtenidos en el Ensayo de Compresión Simple y en el de Carga Puntual. Según la terminología de la ISRM, la resistencia a compresión simple será alta (>800 Kp/cm<sup>2</sup>) en los horizontes inalterados de areniscas y conglomerados y baja en los niveles limolítico-arcillosos (60-200 Kp/cm<sup>2</sup>).

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. El Código de Práctica Británico establece cargas admisibles de 44 Kp/cm<sup>2</sup>. Aún tomando los valores conservadores, la capacidad portante de estos materiales está asegurada a tenor de los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a tracción y a compresión. El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del recubrimiento superficial y de los niveles superiores más alterados.

Los posibles problemas de cimentación estarán en relación con un comportamiento mecánico desigual de los materiales, como consecuencia del grado de diaclasado y alteración de las areniscas.

2. Condiciones para obra de tierra.

Excavabilidad. Los niveles superficiales, por su alteración y diaclasado son ripables (Terreno Medio), pero en profundidad, precisarán el empleo de explosivos para su excavación.

Estabilidad de taludes. Constituyen materiales de gran estabilidad, con un ángulo de rozamiento interno muy elevado (50 %).

Empuje sobre contenciones. Las contenciones serán necesarias en zonas de alteración fuerte de las areniscas. Pueden esperarse empujes de tipo Medio.

Aptitud para préstamos. Son Materiales Adecuados siempre que no se encuentren alterados y cumplan determinadas especificaciones relativas a granulometría y forma de las partículas.

Aptitud para explanada en carreteras. En desmontes, la categoría de explanada en roca corresponde a la E-3.

Obras subterráneas. Es difícil estimar el grado de fracturación y estado de las diaclasas en profundidad. En conjunto como considerarse un Terreno Medio, de Clase III (RMR=41-60 %), que para anchuras de tunelación normales no plantearía problemas de sostenimiento.

#### **7.3.4.5. Área IV**

##### **Zona IV<sub>1</sub>**

- Localización

En esta hoja de Lesaka, los únicos ejemplos aparecen en las Calizas de Aranaz, siendo los alrededores de Yanci la zona donde han alcanzado mayor desarrollo.

- Características geológicas

Está definida por arcillas de descalcificación, un producto residual de la disolución de carbonatos en procesos cársticos, que se disponen en afloramientos discontinuos tapizando el fondo de dolinas. Litológicamente se trata de arcillas pardo rojizas con un cierto contenido en limo y arena, así como fragmentos de rocas carbonatadas. Presentan una potencia variable que está en función de la intensidad del proceso de carstificación y del tamaño de la forma que rellenan.

- Características geotécnicas

No se dispone de ensayos geotécnicos detallados, no obstante, las observaciones de campo indican que se trata de depósitos arcillosos de extensión reducida y poco consolidados que se comportan como un suelo de consistencia media-blanda.

Dada su estrecha relación con procesos de carstificación, un aspecto importante a considerar y que deberá completarse en cualquier reconocimiento geotécnico de detalle es la intensidad de los procesos cársticos que presentan los materiales carbonatados subyacentes, y por consiguiente, se analizarán en las situaciones más desfavorables los posibles hundimientos en cimentaciones.

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. El Código de Práctica Británico establece presiones admisibles entre 0,75 y 3 Kp/cm<sup>2</sup>, esperándose asentamientos de consolidación a largo plazo, mientras que la Norma DIN 1054, para profundidades de cimentación de 2 m, establece cargas admisibles del orden de 2,5 - 3 Kp/cm<sup>2</sup>, esperándose asentamientos en torno a 4 cm.

No obstante, aunque para determinados tipos de edificios presenten suficiente capacidad portante, se localizan en emplazamientos (zona de recarga cárstica) muy desfavorables para proyectar sobre ellos cargas concentradas. Por este motivo, y a falta de estudios detallados, no es aconsejable situar puntos de apoyo en estos materiales.

2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Constituyen Terrenos Medios-Blandos; su excavación puede realizarse por medios mecánicos sin dificultad.

Estabilidad de taludes. Dependen de la extensión del afloramiento y del espesor de los materiales. Pueden producirse pequeños deslizamientos de carácter superficial.

Empuje sobre contenciones. Son variables en función del grado de saturación de los materiales. Se consideran de Bajos a Medios.

Aptitud para préstamos. Constituyen materiales Inadecuados. En algunas situaciones pueden constituir Terrenos Marginales en cimientos y núcleos de terraplenes, pero nunca en la coronación de los mismos.

Aptitud para explanada en carreteras. Para desmontes en roca, se clasifican como No Aptos. Precisarán por tanto la extensión sobre ellos de un firme mejorado.

Obras subterráneas. En general, las obras subterráneas importantes afectarán al sustrato. Obras de menor entidad, encontrarían un terreno difícil, según lo expuesto en la Metodología.

### **Zona IV<sub>2</sub>**

- Localización

Los materiales coluvionares están muy desarrollados en toda la Hoja, apareciendo en casi todas las laderas de los relieves, los canchales aparecen a pie de los principales escarpes, aunque frecuentemente estas masas son una mezcla de coluviones y canchales.

- Características geológicas

Corresponden a depósitos cuaternarios constituidos por canchales, coluviones, deslizamientos y formas poligénicas. 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. En el caso de los canchales se trata de una acumulación de bloques muy heterométricos, sin apenas elementos finos. Merecen mención especial las masas deslizadas, que se forman a partir de recubrimientos coluvionares, zonas de alteración superficial y litologías blandas o alternantes.

Sus espesores son muy variables, aunque predominan los de reducido espesor.

- Características geotécnicas

Se trata de depósitos escasamente consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados con la disposición geomorfológica y estratigráfica de los materiales. En esta ocasión se dispone de ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas en depósitos coluvionares. A continuación se describen los valores más significativos.

## Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

% Humedad	31,6
Contenido en Grava (>5mm)	1,9 %
Contenido en Arena (5-0.08mm)	4,3 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	93,8 %
Límite Líquido (WL)	51,4
Límite Plástico (WP)	27,7
Índice de Plasticidad (IP)	23,7
Densidad PROCTOR	1,51 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad PROCTOR	18,5 %
CBR 95 % Densidad PROCTOR	4,93
CBR 100 % Densidad PROCTOR	8,1
Clasificación de Casagrande	CH-MH-OH
Clasificación ASSHTO	A-7-5/A-7-6
Grado de Meteorización	4

---

E. Molinete	0,96 Kp/cm <sup>2</sup>
Contenido en Carbonatos	0,82 %

Teniendo en cuenta estos datos, los materiales analizados están constituidos por suelos limo-arcillosos de alta plasticidad, que presentan un cierto contenido en grava y arena, así como en materia orgánica. Presentan consistencia media, baja capacidad portante y importantes cambios de volumen, por lo que su comportamiento en explanadas puede calificarse como de regular a malo.

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

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. Se consideran cargas admisibles entre 1,5-2 Kp/cm<sup>2</sup>. 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.

2. 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 de baja estabilidad. Taludes de alturas superiores a 4 m no deberán superar los 30°.

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

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

Aptitud para explanada en carreteras. En desmontes en roca, para conseguir categoría de explanada tipo E-3 precisarán la extensión sobre ellos de un firme seleccionado.

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 Difíciles, que en principio precisarán entibación total.

### **Zona IV<sub>3</sub>**

- Localización

Constituyen los depósitos fluviales y aluviales de los principales valles y barrancos, en esta Hoja no son muy importantes, alcanzando su máxima desarrollo en los valles de los ríos Lantz y Biurrana.

- Características geológicas

Corresponden a conos de deyección y depósitos de fondo de valle, formados por gravas y cantos de naturaleza calcárea y cuarcítica, arenas, limos y arcillas. Su proporción y distribución es muy variable, aumentando la proporción de finos en los depósitos de fondo de valle. La naturaleza de la fracción gruesa depende del área de procedencia.

- Características geotécnicas

Se trata de materiales poco consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados a su disposición geomorfológica y estratigráfica. Se dispone de ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas en materiales semejantes en las la Hojas de Sumbilla (90-II) y Arraiz (90-IV). A continuación se resumen los valores más representativos:

#### Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Contenido en Grava (>5mm)

0,8 %

---

Contenido en Arena (5-0.08mm)	17 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	82,2 %
Límite Líquido (WL)	44,1
Límite Plástico (WP)	19,5
Índice de Plasticidad (IP)	24,6
Clasificación de Casagrande	CL
E. Penetración Standard	61
E. Molinete	0,41 Kp/cm

A la vista de estos resultados, se puede decir que se trata en general de suelos arcillosos inorgánicos de baja plasticidad, que presentan un cierto contenido en gravas y arenas. Su comportamiento en explanadas se califica de regular a malo.

- Características constructivas

1. 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/cm<sup>2</sup>, 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.

## 2. 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 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. 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.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

ADAN DE YARZA, R.1918. Descripción físico-geológica del País Vasco-Navarro. Geografía General del País Vasco Navarro.t.1., pp. 1-86. 49 fig., 1 mapa geol. 1:800.000, Barcelona. .

ALBAREDE, F. y MICHARD-VITRAC, A.1978.“Datation du metamorphisme des terrains secondaires des Pyrénées par les méthodes  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  et  $\text{Rb}$ 87-87Sr. Les relations avec les périodotites associées”.Bull. Soc. Géol de France, 7, XX, 5, (681-687)

AMIOT, M..1982.El Cretácico superior de la región Navarro-Cantábra..“Cretácico de España” Univ.Compl. Madrid

.AZAMBRE, B,;RAVIER,J. Y THIEBAUT, F.1971.“A propos du phénomène de dipyrisation des roches éruptives d'age secondaire des Pyrénées”.C.R. Ac.Sc. Paris, 272,(2137-2139)

BERTRAND, L..1911.Sur la structure géol. des Pyrénées occid. et leurs relations avec les Pyrénées orient. et cent.; essai dune carte struct. Pyrén..Bull. Soc. Géol. France, 4 sér., 11, pp. 122-153, 6 figs., 1 pl., Paris.

BRINKMANN, V.R.; LOGTERS, M..1967.Die Diapire der Spanischen Westpyreneae und Lhers Vorlander.Beih. Geol. J.b. 66

CAMARA, P. y KLIMOWITZ, J..1985.Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica.Estudios geológicos nº 41, 391-404.

CAMPOS, J., GARCIA-DUEÑAS, V., SOLE, J., VILLALOBOS, L..1975.Mapa geologico de España. E. 1:50.000, 2ºser. Hoja nº 65 (Vera de Bidasoa)

CAMPOS, J..1979.“Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa”.Munibe,31, 1-2.(3-139)

CAMPOS, K.; LAMOLDA, M y MATHEY, B.1980.“Los términos basales del Cretácico superior del Domo de Fagollaga (Hernani, Guipúzcoa)”.Cuad. De Geol. Ibérica, 5,(327-337)

CAPDEVILLA, R. Y CHOUKROUNE, P..1971.“Sur la presence de filons á zeolites et préhnite dans le secondaire metamorphique de la zone nord-pyrénéenne orientale”.C.R., somm. Soc. Géol. De France, 5 (227-278)

CASTIELLA, J.; SOLE, J. y DEL VALLE, J..1978.Memoria Explicativa de la Hoja 1:200.000. Mapa Geológico de Navarra..Servicio Geológico, Diputación Foral de Navarra.

CASTIELLA, J.; SOLE, J.; NIÑEROLA, S. y OTAMENDI, A..1982.Las aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico.Diputación Foral de Navarra, 230 pp.

CIRY, R..1951.Observations sur le Crétacé de la Navarre espagnole au nord-ouest de Pamplone..C.R. Acad. Sc., 233, pp. 72-74, Paris.

CORPAS, J.R..1991.Guía de Navarra..Ed. El País-Aguilar, 231 pp., Madrid..CHOURKROUNE, P..1972. "Relations entre tectonique et métamorphisme dans les terrains secondaires de la zone nord-pyrénéenne centrale et orientale".Bull. Soc. Géol. De France, 7, XIV, (3-11)

CHOUKROUNE, P..1976."Structure et evolution tectonique de la zone nord-pyrénéenne. Analyse de la deformation dans une portion de chaine a schistosité subvertical".Mém. Soc. Géol de France, Lv,7, 127, 116 pp.

DEBROAS, E.J..1976."Nouvelles observation sur les relations entre métamorphisme et tectonique dans les terrains secondaires des Pyrénées".C.R. Acad. Sc. Paris, 283 D. (1707-1710)

DONEZAR, M.; ILLARREGUI, M.; DEL VAL, J. y DEL VALLE DE LERSUNDI, J..1990.Mapas de erosión actual y erosión potencial en Navarra, a escala 1:200.000..Inst. Suelo y Conc. Parc. de Navarra - I.T.G.E.

EGUILUZ, L.; GARROTE, A.; LLANOS, H..1982.El metamorfismo de los materiales mesozoicos en la prolongación occidental de la falla nordpirenaica (sector de Leiza, Navarra).Bol. Soc. Esp. Min. 6, 81-91

EWERT, F.K..1964.Geologie des Südteiles des Baskischeu Pyrenäen..Diss. Univ. Münster, pp 223. Münster.

FACI, E.; CASTIELLA, J.; DEL VALLE, J.; GARCIA, A.; DIAZ, A.; SALVANY, J.M.; CABRA, P. y RAMIREZ, J..1992.Actualización del Mapa Geológico de Navarra a escala 1:200.000..Gobierno de Navarra.

FEUILLEE, P..1965.Contribution á la connaissance du Crétace moyen du Nord et de l'Oueste de la Navarre espagnole..Actes 4º Congrès Intern. Etudes Pyrénéenes, Pau-Lourdes, 11,16 sept.1962, 1, sect.1, pp.

FEUILLEE, P., SIGAL, J..1965.Le transgression du Crétacé supérieur (flysch nord-pyrénéen) sur le massif des Cinco-Villas (Pyrénées basques)..Bull. Soc. Géol. De France, 7, VII, (15-55)

FEUILLEE, P..1967.Le Cenomanien des Pyrénées basques aux Asturies. Essai d'analyse stratigraphique.Mem. Soc. Géol. Fr. 108

FEUILLEE, P.; RAT, P..1971.Structures et paleogeographie pyreneo-cantabrique..En Hist.Struct. du Golle de Gascogne, Ed. Technip. Paris 2

FEUILLEE, P..1971.Les calcaires biogéniques de l'albien et du cenomanien pyrénéo-cantabrique: Problèmes d'environnement..Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 9

FLOQUET, M.; MATHEY, B.; ROSSÉ, P.; VADOT, J.P..1988.Age céno-manien et turonoconiacien des calcaires de Sare (Pays basque). Conséquences paléomorphologiques et tectonogénétique pour les Pyrénées occidentales..Bull. Soc. Géol Fr., (8), 6.

FONTBOTE, L..1981.Strata-bound Zn-Pb-f-Ba, deposits in carbonate rocks: new aspects of paleogeographic location.Inaugural Diss. Ruprecht Karl-Universität

GALDANO, A..1980.Sur l'existence d'accidents transversaux a la chaîne pyrénéenne: apports des sondages géomagnétiques profonds dans le Pays Basque.C.R. Acad. Sc. Paris 290

GALLART, J.; BANDA, E.; DAIGNIERES, M..1981.Crustal structure of the Paleozoic Axial Zone of the Pyrenees and transition to the North Pyrenean Zone.Ann. Geophys 35

GARCIA - MONDEJAR, J..1982.Aptiense - Albiense..In: El Cretácico de España. Univ. Compl. Madrid, pp 63-84.

HEDDEBAUT, C..1965.Recherches stratigraphiques et paléontologiques dans le massif des Aldudes (Basses - Pyrénées)..Bul. Soc. Geol. France, 7.

HEDDEBAUT, C..1967.Observations tectoniques sur le massif des Aldudes (Basses Pyrénées)..C.R. Somm Seances Soc. Geol. France.

HEDDEBAUT, C..1970.Sur l'age des formations paleozoïques du Massif du Cinco Villas..C.R. Somm. Sc. Geol. France. T.6

HEDDEBAUT, C..1973.Études géologiques dans les massifs paleozoïques basques.Thèse. Univ. Sc. Tech. Lille, 263 pp.

HEDDEBAUT, C..1975.Études géologiques dans les massifs paleozoïques basques.Bulletin du B.R.G.M., Section IV, n° 1

I.T.G.E..1990.Mapa del Cuaternario de España a escala 1:1.000.000

ITGE-ENRESA.Inédito.Mapa Neotectónico y Sismotectónico de España a escala 1:1.000.000

LAMARE, P..1927.Sur la structure des Pyrénées navarraïsses..C.R. XIV° Congr. Geol. Intern., T. 2, p. 693-698, Madrid.

LAMARE, P..1931.Les éléments structuraux des Pyrénées basques d'Espagne. Essai de synthèse tectonique..Bull. Soc. Geol. Fr. (5) 1,95-130

LAMARE, P..1928.Sur un type d' accident tectonique affectant les plis de fond pyrénées du Pays Basque Espagnol..C.R. ac. Sc. Paris 187

LAMARE, P..1932.Sur l'age des couches á facies flysch de la zone sudpyrénéenne en Navarra..C.R. Somm. S.G.F., 4 mai 1931, 9-10, 107-109, Paris.

LAMARE, P..1936.Recherches géologiques dans les Pyrénées Basques d'Espagne..Mem. Soc. Geol. France (N.S.) 12, 27; pp 464. Paris.

LAMARE, P..1954.Superposition des mouvements orogéniques anté-Aptiense, anté-cénomaniens et éocènes sur la lisière septentrionale des Pyrénées Basques.C.R. somm. Soc. Géol. France, 5 (110-113)

LOTZE, F..(1930-31).Nordostlich gerichtete strukturelemente im bau der Westpyrenaen.Narch Ges. d. Wiss. Gottingen, Math-Phys. Kl.,(1-13)

LOTZE, F..1932.Sur l'age des mouvements ayand donné naissance á la nappe des marbres des Pyrénées navarraises.C.R. somm. Soc. Géol. De France, 5,(101-103)

LOTZE, F..1946.Sobre los cambios de vergencia con ejemplo del Pirineo occidental..Pub. Extr, sobre Geol. De España. III (271-283)

LUCAS, C..1987.Estratigrafía y datso morfo-estrcturales sobre el Pérmico y Tríasico de Fosas Norte Pirenaicas.Cuadernos Geología Ibérica. Vol 11.

MARTINEZ TORRES, L.M..1989.El Manto de los Mármoles (Pirineo Occidental): Geología estructural y evolución geodinámica..Tesis doctoral. Univ. País Vasco. 290 pp.

MARTINEZ TORRES, L.M..1997.Transversal a la Cuenca Vasco-Cantabrica: Introducción a la estructura y evolución geodinámica..IX Reunión de la Comisión de Tectónica de la S.G.A.E..Servicio editorial Universidad Pais Vasco

MATHEY, B..1983.Le systeme du flysch calcaires.Mem. Geol. Univ. Dijon. 9

MATTAUER, M.; PROUST, F. Y RAVIER, J..1964.Remarques sur l'age du metamorphisme pyrénéenne..C.R. somm. Soc. Géol. De France, 3, (129-130)

MATTAUER, M. y SEGURET, M..1971.Les relations entre la chaîne des Pyrénées et le Golfe de Gascogne..In: Histoire structurale du Golfe de Gascogne, t 1. Publ. Inst. Français Pétrole. Ed. Technip. Pp. IV-4-1 a IV-4-24.

.MENSUAS, S..1960.La Navarra media oriental. Estudio geográfico..Inst. Príncipe de Viana, Dep. Geol. Aplic. Zaragoza, Serv. Reg. 8, 186, pp., 40 figs. y 25 láminas.

MIROUSE, R..1967.Le Dévonien des Pyrénées occidentales et Centrales (France)..Interm. Sympos. Devonian System. Vol., I, pp. 153-170, 1 fig., Calgary.

MOHR, R. y PILGER, A..1965.Das Nord-Süd-streichende Lineament von Elizondo in den westlichen Pyrenäen..Geol. Rdsch., 54 (1964), 2, s. 1044-1060, 7 Abb., Stuttgart.

MONTIGNY, R.; AZAMBRE, B.; ROSSY, M.y THOIZAT, R..1986.K.Ar study of cretaceous magmatism and metamorphism in the Pyrenees: age and length of rotation of the Iberian - peninsula.Tectonophysics.129, (257-273)

MULLER, J..1967.Sur la superposicion des déformations dans les Pyrénées occidentales..C.R. Acad. Sc. 265, Sér. D. pp. 400-402, Paris.

MUTTI, E.; REMACHA, E.; SGAVETTI, M.; ROSELL, J.; VALLONI, R. y ZAMORANO, M..1985.Stratigraphy and facies characteristics of the Eocene Hecho Group turbidite systems. South-central Pyrenees..In: M.D. Milá y J. Rosell eds: 6th European Regional Meeting I.A.S. y Lleida.

OTERO MAZO C..1978.Ensayos de laboratorio en la mecánica de Rocas.Boletín del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo nº 127

PEÑA, J.L..1984.Geomorfología de la provincia de Teruel.Instituto de Estudios Turolenses. Teruel.

RAMIREZ DEL POZO, J..1971.Bioestratigrafía y facies del Jurásico y Cretácico del norte de España.Mem.del I.G.M.E..

RAMIREZ, I.; OLIVE, A.; VILLALOBOS, L.; SOLE, J..1986.Mapa geologico de España. E. 1:50.000, 2ºser. Hoja nº 89 (Tolosa)

RAT, P..1959.Les Pays Basco Cantabriques.Thesis. Fac. Sc. Univ. Dijon T18

RAT. P..1963.Problemes du Cétacé inferieur dans les Pyrénées et le nord de l'Espagne.Sonderd Geol. Rundschau nº53

RAT. P..1983.Une sur le Cretace Basco-Cantabrique et Nord-Iberique..Mem. Geol, Univ. Dijón

RAVIER, J..1959.Le métamorphisme des terrains secondaires des Pyrénées..Mem. Soc. Géol. De France, XXXVIII, 2-3, 86, 250 pp

RAZIN, P..1989.Évolution tecto-sédimentaire alpine des Pyrénées Basques a l'ouest de la transformante de Pamplona..Thèse, Univ. Bordeaux III, Bordeaux, 463 pp

REQUADT, M..1974.Aperçu sur la stratigraphie et le facies du Devonien inferieur et moyen dans les Pyrénées Occidentales d'Espagne..Pirineos, III

RIBA, O..1974.Tectogénesis et sédimentation: deus modèles de discordances syntectoniques pyrénéennes..Bull. B.R.G.M., 2,I,4, (384-401)

RICATEU, R. Y CHOUKROUNE, P..1970.Les consequences structurales de la présence de Crétace supérieur dans la zone nord-pyrénéenne ariégeoise..C.R. somm. Soc. Géol. De France. 6, (190-191)

RIOS, J.M.; ALMELA, A. y GARRIDO, J..1944.Datos para el conocimiento estratigráfico y tectónico del Pirineo Navarro.Notas y com. Inst. Geol. y Min. España. 13 (1944): 141-164; 14 (1945): 139-198; 16 (1946): 57-119.

SCHOTT, J.J..1985.Paleomagnetisme des séries rouges de Permien, du Trias et du Crétacé inférieur dans les chaines pyrénéo-cantabriques et nord-ouest ibériques. Implications géodynamiques.Thèse, Univ. Louis Pasteur, Strasbour, 328 pp

SIBSON, R.N..1977.Fault rocks and fault mechanisms.J. Geol. Soc. London, 133

SOLER y JOSE, R..1972.El Jurásico y Cretácico inferior de Leiza y Tolosa..Bol. Geol. Min. T. 83, VI

SOUQUET, P..1967.Le Crétace Supérieur sud-pyrénéen en Catalogne, Aragon et Navarre.Thèse Doct. Sc. Nat. Arch. Orig. Centre Docum. C.N.R.S. Nr. 1.351, 488 p., 13 Cartes, 86 pl.,Toulouse 1967 (édit privat., 529, p., 29 pl. Toulouse, 1967).

TEIXELL, A..1992.Estructura Alpina en la transversal de la terminación occidental de la zona Axial Pirenaica..Tesis Doctoral, Departamento de Geología Dinámica, Geofísica y Paleontología..Facultad de Geología, Universitat de Barcelona.

VAN DER VOO, R; BOESSENKOOL, A..1973.Permian paleomagnetic result from the Western Pyrenees, delieating the boundary between de Iberian Peninsula and Stable Europe..Jour. Geophys, Research. 78 (5118-5127)

VILLALOBOS, L.y RAMIREZ, J..1974.Contribución al estudio del Cretácico superior de facies flysch de Navarra..Pirineos III.

VOLTZ, H..1964.Zur Geologie der Pyrenaiden im Nordwestlichen. Navarra-Spanien..Tesis, Munster-Diss, 192 äpp

WALGENWITZ, R..1976.Etude petrol. desroches intrusives trias. des eailles du socle profond et gîtes de chlorrite de la region d'Elizondo (Nav., Espag.)..These de l'Université de Besangou, pp. 172.

WINNOCK, E..1971.Geologie succincte du bassin d'Aquitaine (contribution á l'histoire du Golfe de Gascogne)..En "Hist. Struc. du Golfe ed Gascogne, DE. Technip, Paris, (IV.1.1 . IV. 1-30)

ZUAZO, J.A..1986.Geologia del sector central del Arco Vasco (entre los meridianos de Tolosa y Berastegui).Tesis de Licenciatura, Univ. País Vasco, 125 pp.