

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ¿QUÉ ES UN CARBÓN?**

Los carbones son rocas sedimentarias orgánicas, heterogéneas, originadas por restos de materia vegetal en varios estados de preservación de acuerdo con el grado de carbonificación alcanzado o rango.

Los ambientes de formación del carbón fueron escenarios compuestos por sistemas químicos y biológicos complejos, en los cuales suceden diferentes procesos. Los distintos factores interdependientes que los caracterizan son: la flora, la hidrología, el clima, el régimen de depositación y la posición geográfica y estructural de la región, los cuales favorecen la generación de la turba y su posterior evolución termal. Por lo tanto, las condiciones de formación de los carbones son específicas dentro de una cuenca de depositación, lo que va a determinar las características propias de cada carbón (Taylor et al., 1998, citados en Gómez, 2006).

Esta variación lateral y vertical en las propiedades del carbón, aun dentro de la misma unidad geológica, ocasiona que su caracterización fisicoquímica, petrográfica y tecnológica sea necesaria para determinar el uso último de este y de los métodos de beneficio requeridos.

### **1.2 CARACTERIZACIÓN DE CARBONES**

La caracterización incluye la determinación de los análisis próximos, como humedad, ceniza y materia volátil, y por diferencia se precisa el carbono fijo. El poder calorífico y el azufre se definen cuando se hacen análisis próximos completos.

El análisis elemental establece los porcentajes de componentes mayoritarios, como el porcentaje de carbono, hidrógeno, azufre, nitrógeno, y por diferencia se determina el oxígeno.

Análisis tecnológicos como dilatometría, plastometría e índice de hinchamiento al crisol (FSI), entre otros, ayudan a definir el comportamiento de los carbones durante la coquización. La caracterización petrográfica permite establecer el porcentaje volumen de los componentes orgánicos e inorgánicos presentes en el carbón, y el rango del carbón, mediante la medición de la reflectancia de la vitrinita.

El contenido de elementos traza (partes por millón o por billón ppm/pbm) de componentes como As, B, Bi, Cd, Li, Mo, Sb, Se, Sn, U, Yb, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hf, K, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, Sn, Ta, Ti, Th, U, V, Zr, Co, Cr, Cu, Ga, Hf, Li, Mn, Mo, Ni,

Sc, Sn, Ti, U, V, Zn, Hg, entre otros, puede ser determinado utilizando fluorescencia de rayos X, espectroscopia de masas con plasma acoplado inductivamente (HR ICP-MS), espectroscopia de absorción atómica bajo enfriamiento (CV-AAS) y espectroscopia de emisión atómica (ICP-AES). Actualmente se analizan debido al impacto ambiental que genera la emisión de estos a la atmosfera (Morales & Carmona, 2007; Dai, Jiang, Ward, Gu, Seredin, Liu & Ren, 2012; Li, Dai, Zhang, Li, Zheng & Chen, 2014). Algunos de estos componentes traza tienen aplicaciones en tecnologías de eficiencia energética y desarrollo de energías alternativas.

En la siguiente tabla se relacionan algunos de los análisis más empleados durante la caracterización del carbón, con su correspondiente norma y objetivo.

**Tabla 1.1** Análisis más comunes utilizados para la caracterización de carbones

Análisis	Determinación	Norma	Objetivo	Tipo de Carbón
Próximo Completo	Ceniza (%)	ASTMD 3174	Determina el grado de carbonificación alcanzado (rango), los precios de compra venta y el comportamiento durante su utilización.	Térmico/ coquizable
	Material volátil (%)	ASTMD 3174		
	Humedad residual (%)	ASTMD 3173		
	Carbono fijo (%)	ASTMD 3172		
	Poder calórico (%)	ASTMD 5865		
Elemental	Carbono (%)	ASTMD 3778	Predice porcentajes de CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> O en combustión.	Térmico/ coquizable
	Hidrógeno (%)	ASTMD 3178		
	Nitrógeno (%)	ASTMD 3179		
	Azufre (%)	ASTMD 4239		
Tecnológicos	Plastometría (ddpm)	ASTMD 2639	Establece la capacidad de un carbón para producir buen coque y la compatibilidad de la mezcla.	Coquizable
	Dilatometría	ASTMD 5515 /97	Permite prever el comportamiento del carbón en la coquización y determinar la capacidad coquizante.	Coquizable
	Índice de hinchamiento al crisol (FSI)	ASTMD 720	Permite determinar la capacidad de un carbón para producir coque.	Térmico/ coquizable
	Petrográfico (%)	ASTMD 2798	Determina el porcentaje volumen de los componentes del carbón y la reflectancia de la vitrinita determina el rango.	Térmico/ coquizable
	Índice de Molienda Hardgrove (HGI)	ASTMD 2799	Permite estimar la energía requerida para reducir el tamaño del carbón.	Térmico/ coquizable

Como se puede observar en la tabla anterior, la caracterización petrográfica es una técnica de evaluación común que se realiza a carbones, y su importancia radica, como ya se señaló, en que permite establecer los porcentajes de los componentes tanto orgánicos como inorgánicos presentes en el carbón, que definen el comportamiento durante los procesos de coquización (reactivos, no reactivos), gasificación, combustión, licuefacción, entre otros.

En el mundo se han llevado a cabo numerosos estudios para establecer la aplicación de la petrografía orgánica, a fin de comprender los procesos que dieron origen a la formación del carbón. Los avances en las técnicas de caracterización de los carbones han permitido progresos significativos; no obstante, aún existen muchos vacíos en el conocimiento de los componentes presentes en el carbón y en otros tipos de rocas. Un ejemplo de esto es el desconocimiento del tipo y porcentaje de materia de origen animal que puede ser incluido en la turbera durante el proceso de depositación o turbificación o el introducido como nuevos materiales (precipitados), (Scott, 2002).

### **1.3 CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA**

En el estudio de materia orgánica dispersa en rocas sedimentarias, existen clasificaciones como la de Tyson (1995; citado en Blandón, 2007), quien utiliza el término “palinofacies” para referirse a un cuerpo de sedimentos que contienen una asociación característica de materia orgánica palinológica, la cual refleja condiciones ambientales y se asocia con rangos característicos del potencial generador de hidrocarburos. Estas clasificaciones se basan en las características morfológicas de los elementos observados y se dividen en componentes estructurados o no estructurados (Tabla 1.2).

En esta técnica, la muestra se prepara con métodos de concentración de la materia orgánica, como el propuesto por Blandón et al. (2003, citados por Blandón, 2007), el cual permite diferenciar tejidos y palinomorfos (polen, esporas, entre otros). La identificación de palinofacies ha sido empleada para la evaluación de rocas fuertes de hidrocarburos, no para la evaluación de las características de los carbones, pues las características que se determinan no se pueden correlacionar con los análisis mediante microscopía óptica de luz reflejada, que es otra herramienta de caracterización, pero no esta incluida en este texto.

**Tabla 1.2** Clasificación de materia orgánica dispersa propuesta por Tyson (1993)

ESTRUCTURADOS	Zooclastos	Fragmentos de graptolites y artrópodos
	Palinomorfos	Escoledondos, acritarcos, foraminíferos, dinoquistes, quitinozoarios, cyanobacterias, pasinophytas, botryococcus, rodophytas, miosporas, megaesporas
	Fitoclastos	Cutículas, tejidos de corteza, maderas, charcoal, hifas
NO ESTRUCTURADOS	Materia orgánica amorfa	Resinas, agregados orgánicos y pellets fecales. cyanobacterias y thiobacterias. Precipitados húmicos

**Fuente:** adaptado de Blandón (2007)

De acuerdo con el Comité Internacional de Petrografía del Carbón (ICCP, por sus siglas en inglés), las facies del carbón relacionadas con el origen son representadas a través de litotipos, microlitotipos, macerales y contenido mineralógico, y también a partir de sus propiedades texturales y químicas. Estas facies dependen de los ambientes sedimentarios en los cuales se originó la turba (Taylor, Techmüller, Davis, Diessl, Littke & Robert, 1998).

El término “litotipo” es usado para describir la apariencia macroscópica del carbón en una sección expuesta (mina, pila, entre otros), la cual va a depender mucho de las proporciones de macerales que estén presentes en ella. El ICCP (1993; citado por Taylor et al., 1998) establece la clasificación de litotipos para carbones pardos blandos (Tabla 1.3) y para carbones bituminosos (Tabla 1.4).

Los litotipos para carbones bituminosos se observan en la Tabla 1.4, dependiendo del tipo de carbón, si es húmico (plantas superiores) o sapropélico (subacuáticas, aloctono).

**Tabla 1.3** Clasificación de litotipos para carbones pardos-blandos (ICCP, 1993)

<b>GRUPO LITOTIPO</b>	<b>LITOTIPO</b>	<b>VARIEDAD LITOTIPO</b>
<b>CARBÓN MATRIZ.</b> Consiste predominantemente en grandes masas húmicas detríticas, de apariencia homogénea, con contenidos menores al 10% de fragmentos de madera y carbón de leña.	<b>Carbón estratificado.</b> Determinado por la naturaleza y tipo de inclusiones	Carbón pardo (débilmente gelificado)
		Carbón negro (gelificado)
	<b>Carbón no estratificado.</b> Prácticamente no contiene inclusiones, excepto algunos granos de resina	Carbón amarillo (no gelificado)
		Carbón pardo (débilmente gelificado)
		Carbón negro (gelificado)
<b>CARBÓN RICO EN XILITA.</b> Son aquellos carbones en los cuales más del 10% de sus componentes (p.e. fragmentos de madera carbonificados) son claramente visibles y las inclusiones de granos de resina y carbón de leña no superan el 10%.	Dependiendo de la cantidad presente de tejidos, fragmentos de madera carbonificada etc., puede o no ser estratificado	
<b>CARBÓN RICO EN CARBÓN DE LEÑA.</b> Compuesto por más de 10% de carbón de leña.	Dependiendo del tipo de inclusiones fusinitizadas y de la proporción de tejidos, puede ser débil o fuertemente estratificado	
<b>CARBÓN RICO EN MINERALES.</b> Contiene inclusiones minerales visibles como arcilla, cuarzo, carbonatos, sulfuros y otros.		

**Fuente:** adaptado de Castaño & Gómez (2001)

Los litotipos para carbones bituminosos se observan en la Tabla 1.4, dependiendo del tipo de carbon, si es húmico (plantas superiores) o sapropélico (subacuáticas, aloctono).

**Tabla 1.4** Tipos y litotipos para carbones bituminosos

TIPO DE CARBÓN	LITOTIPO	CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS
<b>Húmico</b>	<b>Vitreno</b>	Parte negra, brillante y quebradiza del carbón, que se encuentra en capas muy delgadas. Fractura concoidea y tiende a concentrarse en los finos en la explotación del carbón. En los mantos se presenta con espesores entre 3 y 10 mm.
	<b>Clareno</b>	Negro semibrillante (entre vitreno y dureno), muy finamente estratificado. Es el litotipo más común. Bandas de espesores entre 3 y 10 mm. Presencia de esporas, cutículas y trozos leñosos.
	<b>Dureno</b>	Negro o negro grisáceo pero siempre mate, duro, superficie resistente que rompe con irregularidad (ápero).
	<b>Fuseno</b>	Sustancia negra, blanda y opaca, que se encuentra en el carbón en capas pequeñas y muy friables. Estructura celular de la madera primitiva, mancha las manos.
<b>Sapropélico</b>	<b>Cannel</b>	Negro, mate o con lustre ligeramente grasoso, homogéneo, no estratificado, muy duro, fractura concoidea, trazo negro. Ricos en esporas.
	<b>Boghead</b>	Muy similar al cannel, presenta coloración parda y trazo café. Ricos en algas.

Fuente: adaptado de Taylor et al. (1998)

Tasch (1960) y Calder (1993), citados por Castaño y Gómez (2001), proponen modelos paleoambientales a partir de los litotipos, puesto que la presencia de dureno y lutita carbonosa puede estar relacionada con condiciones de pantano inundado y niveles de agua subterránea relativamente altos, y el fuseno puede estar conectado con condiciones secas y proporciones altas de clareno en entornos de pantano estables.

Los componentes orgánicos que pueden ser reconocidos en el microscopio son llamados macerales. Este término fue primero introducido por Stopes (1935, citado en ICCP, 1963), para referirse a los fragmentos de origen vegetal que son acumulados bajo el agua, y es equivalente a la palabra mineral en rocas, pero guardando sus diferencias.

La palabra maceral incluye unidades biológicas complejas, representadas por bosques, las cuales son depositadas en pantanos acuosos y parcialmente descompuestas y maceradas durante los procesos de formación del carbón (Taylor et al., 1998).

Spackman (1958, citado por Scott, 2002) define maceral como “sustancia orgánica o agregado ópticamente homogéneo de sustancias orgánicas, que tienen distintas

propiedades físicas y químicas y ocurren naturalmente en materiales sedimentarios, ígneos y metamórficos de la tierra”.

Algunos macerales representan, al menos parcialmente, los remanentes de formas y estructuras de las plantas que han sido preservados en carbones y otras rocas; otros, en cambio, son productos de degradación, algunos de los cuales se encuentran tan alterados, que su origen no puede ser determinado. Como ya se anotó, los macerales se identifican microscópicamente, por lo tanto, es necesario caracterizarlos en términos de sus propiedades ópticas, como reflectancia, fluorescencia, color y forma.

De acuerdo con sus propiedades ópticas, los macerales se dividen en tres grupos: *vitritina* (este grupo maceral se denomina huminita en carbones de bajo rango), *liptinita* e *inertinita*, con características fisicoquímicas diferentes, las cuales permiten que estos grupos se comporten de manera diversa en varios procesos químicos y que puedan ser utilizados de manera selectiva.

La huminita consiste en materiales húmicos que provienen de la lignina y la celulosa, y está presente en carbones pardos blandos. Este grupo maceral es el precursor de la vitritina en carbones duros (ICCP, 1971).

La vitritina es producto de la carbonificación de sustancias húmicas, las cuales se originan esencialmente de lignina y celulosa de las paredes celulares de las plantas. Se caracteriza por tener una fracción aromática alta, lo mismo que un alto contenido de oxígeno (Taylor et al., 1998).

La liptinita está relacionada con remanentes de plantas ricas en hidrógeno, como polen, esporas, resinas, ceras y grasas. Se diferencia de las vitritinas porque presenta un contenido mayor de hidrógeno y una relativa fracción alifática más alta (Taylor et al., 1998).

La inertinita se caracteriza por su contenido alto de carbono y bajo de oxígeno e hidrógeno, debido al incremento del nivel de aromatización. Muchas de las inertinitas se han derivado de hongos o de las mismas sustancias de la planta original de la cual se forman los otros dos grupos, pero ellas han experimentado una transformación primaria (incendios forestales, oxidación primaria) (Taylor et al., 1998).

Algunos estudios de los componentes del carbón han comprobado que un alto contenido de inertinita o de carbones de alto rango podría causar poca eficiencia durante la combustión, lo cual hace necesario determinar las características óptimas de los carbones que alimentan las calderas, e incluso establecer las causas de la contaminación de superficies de calentamiento, de la corrosión a diferentes temperaturas y de la

combustión incompleta, que generan residuos como escoria y cenizas volantes (Steller, Arendt & Kühl, 2006).

En cuanto a los componentes reactivos durante la hidrogenación, siempre se ha creído que la liptinita y la vitrinita, especialmente, son reactivos, y algunas proporciones de inertinita que son de menor reflectancia. Pero estudios realizados por Steller (1981, citado en Steller et al., 2006) han concluido que algunos macerales del grupo de la inertinita, como la esclerotinita (hoy llamada funginita) y la macrinita, pueden ser más o menos reactivas, mientras que los macerales de este grupo sin gelificar son completamente inertes.

Echterhoff y Mackowsky (1960), citados por Steller et al. (2006), al observar los cambios de los grupos macerales durante la coquización, concluyeron que durante el proceso de ablandamiento la primera en sufrir cambios es la vitrinita, en la cual se da formación de poros, seguida por la descomposición espontánea de la liptinita; mientras que la inertinita puede ser reconocida durante la masa plástica debido a su relieve.

A la asociación de estos grupos de macerales se le denomina microlitotipos. Para su análisis se utiliza la retícula de Kötter. Los microlitotipos pueden ser divididos en tres, monomaceral, bimaceral o trimaceral, dependiendo de si se asocian con uno, dos o tres grupos de macerales (Taylor et al., 1998). Cada microlitotipo se divide en grupos de microlitotipos según el predominio de uno u otro grupo maceral (Tabla 1.5).

**Tabla 1.5** Microlitotipos definidos por Taylor et al. (1998).

COMPOSICIÓN MACERAL (Libre materia mineral)	COMPOSICIÓN GRUPO MACERAL	MICROLITOTIPO
<b>Monomaceral</b> Vitrinita (V) Liptinita (P) Inertinita (I)	V > 95% L > 95% I > 95%	Vitrita Liptita Inertita
<b>Bimaceral</b> Vitrinita + Liptinita Vitrinita + Inertinita Inertinita + Liptinita	V + L > 95% V + L > 95% L + I > 95%	Clarita (V, L) Vitrinertita (V, L) Durita (L, I)
<b>Trimaceral</b> Vitrinita + Liptinita + Inertinita	V + L + I > 95%	Trimacerita (V, L, I)
<b>Composición Maceral + Mineral</b>		Carbominerita
<b>Mineral</b>		Minerita

Fuente: adaptada de Gómez (2006).



La asociación de minerales con materia orgánica se denomina carbomineritas, y si la proporción de minerales es mayor al 60 % (en el caso de arcillas, carbonatos, cuarzo) o pirita superior al 20 %, las asociaciones reciben el nombre de mineritas (Taylor et al., 1998).

Hay muchas aplicaciones de la petrografía orgánica, tanto en los procesos, como se mencionó anteriormente, como en la determinación de las condiciones paleoambientales que les dieron origen. Si a esto se suma que cada carbón presenta características físico-químicas propias, solamente faltaría por decir que en cualquier proceso, la evaluación, la interpretación y la caracterización petrográfica son muy útiles.

Este atlas comprende 133 microfotografías de macerales. Cada grupo, subgrupo y maceral es objeto de una descripción breve, acompañada de los aspectos más relevantes, como localidad, formación geológica, edad, ambiente, propiedades físico-químicas (dureza, color, fluorescencia y origen), tanto en luz blanca como en luz fluorescente. Las muestras fueron seleccionadas con el fin de abarcar varios rangos del carbón presentes en las diferentes cuencas. Es necesario aclarar que no todos los macerales están presentes en cada cuenca. La selección del material fotográfico que acompaña este atlas se realizó con el único fin de ilustrar las características de los macerales, por este motivo aparecen imágenes de una misma cuenca. La ilustración fotográfica, realizada en luz plano-polarizada y nicoles paralelos, busca ser una guía para todo aquel que se interese en el aprendizaje de la petrografía orgánica.

#### **1.4 ZONAS CARBONÍFERAS COLOMBIANAS**

Actualmente, el carbón colombiano representa para el país una fuente importante de recursos energéticos y económicos. Según Salazar y González (2014), entre 2000 y 2012, Colombia multiplicó más de dos veces su producción de carbón, al pasar de 38,2 millones de toneladas a 89,2. En ese período, según el estudio, la participación de Colombia en la producción mundial de carbón pasó de representar el 0,8 % a 1,1 %, situándose como undécimo productor a nivel mundial. En América Latina, su participación en la producción varió del 71 % en 2000, al 92 % en 2012, lo que lo ha convertido en el principal productor de carbón (Salazar & González, 2014). Para continuar teniendo mayor participación, Colombia requiere competir con calidad en el mercado mundial, por eso es importante la capacitación de personal en técnicas de caracterización especializada.

Las muestras de carbón corresponden a diversas cuencas carboníferas de Colombia, no se incluyen todas, pero sí las unidades geológicas principales del territorio colombiano. Las zonas carboníferas del país que representan el 91 % se encuentran ubicadas en la zona norte (Guajira, Cesar) (Unidad de Planeación Minero Energética UPME, 2005). Los carbones de esta región son bituminosos altos en volátiles, de buena calidad. El 9 % restante se

encuentra en la zona interior (Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Norte de Santander y Santander, Caldas, Valle del Cauca y Cauca).

A continuación se presenta una breve descripción de las cuencas carboníferas, organizadas en el texto por orden cronológico de la más antigua a la más joven. De acuerdo con la edad cronológica, las unidades carboníferas de Colombia se encuentran en un intervalo que va desde Maestrichtiano (Oligoceno superior- Albiano-Cenomaniano), en el Cretáceo inferior hasta terciario (Plioceno tardío- Pleistoceno temprano):

#### - **Formación Guaduas**

**Localidad.** La Formación Guaduas está ampliamente distribuida en la parte central de la cordillera Oriental, en lo que se ha denominado el altiplano cundiboyacense (Reyes, 1984).

**Geología.** Maestrichtiano superior (Van der Hammet, 1955; citado en Reyes, 1984). Esta unidad está compuesta por dos miembros: el inferior está constituido por arcillolitas fisibles negruzcas, con esporádicas zonas arenosas; y el miembro superior por niveles alternantes de areniscas, arcillolitas y mantos de carbón. El ambiente de formación es de tipo parálico (Reyes, 1984).

#### - **Formación Cerrejón**

**Localidad.** En el extremo septentrional de Colombia, se localiza el yacimiento de El Cerrejón hacia el sector centro-sur, en la cuenca de los ríos Cesar y Ranchería. Limitado al noroeste por la Sierra Nevada de Santa Marta y al sureste por la falla del Cerrejón, que, a su vez, bordea al noroeste la serranía de Perijá (Morón, Montes, Jaramillo, Bayona & Sánchez, 2007).

**Geología.** Paleoceno tardío (Morón et al., 2007). Su composición litológica consiste esencialmente en litoarenitas grises claras a oscuras, arcillolitas, limolitas grises y *shales* grises a negros con abundantes mantos de carbón. Su ambiente de formación ha sido interpretado como parálico.

#### - **Formación Los Cuervos**

**Localidad.** Ubicado en la zona carbonífera de Cesar (La Loma y La Jagua de Ibirico), pertenece a la denominada cuenca del Cesar-Ranchería; limita al norte, por la falla Oca de dirección este-oeste; al oeste-suroeste, por el sistema de fallas de Bucaramanga-Santa Marta; al noroeste por el complejo ígneo-metamórfico de la Sierra Nevada de Santa Marta; y al sureste por la serranía Perijá o de Los Motilones (Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS, 2004).

**Geología.** (Paleoceno-Eoceno inferior). Compuesta por tres miembros, el inferior constituido por arcillolitas y limolitas, intercaladas con bancos de arenisca, cintas y capas de carbón. El miembro medio corresponde al nivel carbonífero, con niveles de arcillolitas, limolitas, arenitas y mantos de carbón con espesores mayores a 1,00 m. En el miembro superior predominan arenitas de color gris claro a medio, grano fino a medio. Ambiente parálico. Bituminosos altos en volátiles C, no aglomerantes, y con aptitudes para uso térmico (INGEOMINAS, 2004).

#### - Formación Ferreira

**Localidad.** Depresión intercordillerana del Cauca-Patía, que se extiende de norte a sur, entre la cordillera Central, al este, y la cordillera Occidental, al oeste, desde más al norte de Yumbo, hasta los nacimientos del río Patía. En este sentido, la zona carbonífera Valle del Cauca-Cauca abarca parte de las estribaciones orientales de la cordillera Occidental, desde Yumbo (Valle del Cauca), al norte, hasta la quebrada Horamala, en las cercanías de la localidad del Hoyo (Cauca), en el sur (Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH, 2008).

**Geología.** (Oligoceno). Constituida por una alternancia de conglomerados, arenitas de cuarzo, lodolitas y carbones. Ambiente fluvial de ríos meandriiformes (ANH, 2008).

#### - Formación Amagá

**Localidad.** La formación Amagá se encuentra ubicada en el flanco occidental de la cordillera Central, en la cuenca de la Sinifaná.

**Geología.** Según Escobar (1990), es edad Eoceno, y según Zegarra (1993), de edad Oligoceno superior-Mioceno (ambos citados en Blandón, 2007). Esta unidad está constituida por conglomerados, areniscas, lutitas y carbones. El ambiente de formación se relaciona con ambientes fluviales de ríos meandriiformes.

#### - Formación secuencia volcanoclástica de Aranzazu

**Localidad.** Se encuentra ubicada en la cordillera Central, cerca de la región noroccidental del departamento de Caldas, municipio de Aranzazu.

**Geología.** (Plioceno tardío-Pleistoceno temprano [?]). Esencialmente consta de conglomerados volcánicos y tobas, y ocasionalmente lutitas y areniscas en la base; y de areniscas tobáceas, lutitas, lutitas carbonosas, cintas y mantos de carbón. El ambiente de formación de esta unidad es netamente aluvial, representado por transiciones de ríos trezados (miembro inferior) a ríos meandriiformes de grano fino (miembro superior), que permitieron la formación de mantos de carbón. Simultáneamente a su