

CARBONES COLOMBIANOS ATLAS PETROGRÁFICO

Olga Patricia Gómez Rojas

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Escuela de Ingeniería de Minas
Tunja
2015

Carbones colombianos Atlas petrográfico / Gómez Rojas, Olga Patricia. Tunja: Editorial UPTC, 2015. 120 p. Incluye 133 fotografías.
ISBN 978-958-660-215-0

1. Petrografía orgánica. 2. Caracterización petrográfica.
3. Macerales. 4. Carbones. 5. Carbones colombianos

(Dewey 550/21)

Primera edición, 2015
200 ejemplares (papel)

Carbones colombianos. Atlas petrográfico

ISBN 978-958-660-215-0

© Olga Patricia Gómez Rojas, 2015
© Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2015

Resultado del proyecto de investigación "Atlas petrográfico. Carbones colombianos", código SGI 1174.

Gustavo Orlando Álvarez Álvarez, Rector UPTC

Comité Editorial

Celso Antonio Vargas Gómez, Mg.
Hugo Alfonso Rojas Sarmiento, Ph.D.
Fred Manrique Abril, Ph.D.
Liliana Fernández Samacá, Ph.D.
Luz Eliana Márquez, Mg.
Fanor Casierra Posada, Ph.D.
Jovanny Arles Gómez Castaño, Ph.D.
Rigaud Sanabria Marín, Ph.D.
Pablo Enrique Pedraza Torres, Ph.D.

Editora en jefe: Bertha Ramos Holguín
Coordinadora editorial: Ayda Blanco Estupiñán
Corrección de Estilo: Claudia Amarillo Forero

Libro financiado por la Dirección de Investigaciones de la UPTC.

Se permite la reproducción parcial o total con la autorización expresa de los titulares del derecho de autor. Este libro es registrado en Depósito Legal, según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 del 16 de marzo de 1995, el Decreto 2150 de 1995 y el Decreto 358 de 2000.

Citación: Gómez, O. P. (2015). Carbones. colombianos. Atlas petrográfico. Tunja: Editorial UPTC.

Editorial UPTC

Edificio Administrativo - Piso 4
UPTC - Avenida Central del Norte
comite.editorial@uptc.edu.co
www.uptc.edu.co

Impresión: agosto de 2015

Grupo Imprenta y Publicaciones
UPTC - Avenida Central del Norte
Tels.: (0*8) 7405626, Fax - Ext.: 2366
imprenta.publicaciones@uptc.edu.co
Tunja, Boyacá - Colombia

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	5
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 ¿QUÉ ES UN CARBÓN?	6
1.2 CARACTERIZACIÓN DE CARBONES	6
1.3 CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA	8
1.4 ZONAS CARBONÍFERAS COLOMBIANAS	14
2. GRUPO MACERAL	17
2.1 GRUPO MACERAL HUMINITA	17
2.1.1 Subgrupo telohuminita	19
2.2.2 Subgrupo detrohuminita	27
2.1.3 Subgrupo gelohuminita	31
2.2 GRUPO MACERAL VITRINITA	37
2.2.1 Subgrupo telovitrinita	40
2.2.2 Subgrupo detrovitrinita	43
2.2.3 Subgrupo gelovitrinita	50
2.3 GRUPO MACERAL LIPTINITA	58
2.4 GRUPO MACERAL INERTINITA	94
REFERENCIAS	118

PRESENTACIÓN

El objetivo de este texto es ilustrar las características ópticas de los macerales presentes en los carbones colombianos, con el fin de brindar una herramienta de consulta para aquellos que se interesen por el aprendizaje de la petrografía orgánica en carbones. Para su identificación se ha utilizado la nomenclatura tal como ha sido propuesta por el Comité Internacional de Petrografía del Carbón (ICCP). Este texto cuenta con descripción de imágenes que ilustran los diferentes subgrupos y grupos macerales de los carbones colombianos. Cada una de las muestras fue analizada en secciones pulidas en luz blanca y fluorescente. El libro está organizado en cuatro secciones donde se describen los diferentes grupos de macerales: 1. Grupo de la huminita (empleado en carbones pardos blandos), 2. Grupo de la vitrinita, 3. Grupo de la liptinita y 4. Grupo de la inertinita. En cada uno de los apartes se especifican las propiedades físicas, químicas y ópticas, y el origen de cada grupo. Este atlas comprende 133 fotografías entre luz blanca y fluorescente. Las muestras fueron analizadas en el microscopio petrográfico de investigación de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Sede Seccional Sogamoso. Este es un sistema integrado de luz transmitida, reflejada y fluorescente con sistema de polarización, fotomultiplicador marca TIDAS MPS 200 para estudios cuantitativos de reflectancia media de la vitrinita y fluorescencia marca LEYCA DM 4500P, cámara marca LEICA 12 MP.

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 ₂ y H ₂ 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)

GRUPO LITOTIPO	LITOTIPO	VARIEDAD LITOTIPO
CARBÓN MATRIZ. Consiste predominantemente en grandes masas húmicas detríticas, de apariencia homogénea, con contenidos menores al 10% de fragmentos de madera y carbón de leña.	Carbón estratificado. Determinado por la naturaleza y tipo de inclusiones	Carbón pardo (débilmente gelificado)
		Carbón negro (gelificado)
	Carbón no estratificado. Prácticamente no contiene inclusiones, excepto algunos granos de resina	Carbón amarillo (no gelificado)
		Carbón pardo (débilmente gelificado)
		Carbón negro (gelificado)
CARBÓN RICO EN XILITA. 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	
CARBÓN RICO EN CARBÓN DE LEÑA. 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	
CARBÓN RICO EN MINERALES. 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
Húmico	Vitreno	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.
	Clareno	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.
	Dureno	Negro o negro grisáceo pero siempre mate, duro, superficie resistente que rompe con irregularidad (ápero).
	Fuseno	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.
Sapropélico	Cannel	Negro, mate o con lustre ligeramente grasoso, homogéneo, no estratificado, muy duro, fractura concoidea, trazo negro. Ricos en esporas.
	Boghead	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
Monomaceral Vitrinita (V) Liptinita (P) Inertinita (I)	V > 95% L > 95% I > 95%	Vitrita Liptita Inertita
Bimaceral Vitrinita + Liptinita Vitrinita + Inertinita Inertinita + Liptinita	V + L > 95% V + L > 95% L + I > 95%	Clarita (V, L) Vitrinertita (V, L) Durita (L, I)
Trimaceral Vitrinita + Liptinita + Inertinita	V + L + I > 95%	Trimacerita (V, L, I)
Composición Maceral + Mineral		Carbominerita
Mineral		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

deposición se presentó aporte de material piroclástico proveniente de la actividad volcánica explosiva de la cordillera Central (Castaño & Gómez, 2001).

2. GRUPO MACERAL

Los carbones son rocas heterogéneas tanto en su composición orgánica (macerales) como inorgánica (minerales). Los componentes orgánicos se clasifican en tres grupos, vitrinita (huminita en bajo rango), liptinita e inertinita, de acuerdo con sus propiedades físico-químicas. Estos grupos macerales son definidos basados en su color y reflectancia. Cada grupo maceral, según su grado de preservación, puede estar dividido en subgrupos macerales y en macerales, reconocidos por su forma, dureza y tamaño.

A continuación se describe cada uno de los grupos macerales, con sus macerales y características que permiten su reconocimiento mediante microscopía óptica de luz reflejada.

2.1 GRUPO MACERAL HUMINITA

El término huminita fue usado por primera vez en 1948 por Szadeczky-Kardoss (citado por Sýkorová, Pickel, Christanis, Wolf, Taylor & Flores, 2005), para referirse a un constituyente orgánico presente en carbones pardos blandos. El ICCP en 1971 adopta este término para nombrar componentes orgánicos que se reconocen por su color pardo o gris parduzco en luz blanca reflejada y que pueden presentar fluorescencia.

El término huminita etimológicamente proviene de *humus* (latín) tierra. Este grupo consiste en material húmico que surge de la lignina y celulosa de las plantas; solamente la flobafinita (variedad maceral) se deriva de catecol, taninos, compuestos fenólicos.

El grupo de la huminita está subdividido en *subgrupos maceral* diferenciados por su estructura (grado de preservación de las plantas), *macerales* definidos de acuerdo con el grado de gelificación, y en *variedad maceral*, según la reflectancia (Tabla 2.1) (Sýkorová et al., 2005).

Propiedades físicas. El color de este grupo maceral depende del rango, grado de gelificación, origen botánico y de la composición química de la huminita (Sýkorová et al., 2005). Se presenta de color pardo, gris parduzco a gris medio, isotrópica. La reflectancia media (R_m) va entre 0,2 - 0,4 %, el límite superior divide los carbones de bajo rango y medio, en el sistema de clasificación ECE (1988, citado en Sýkorová et al., 2005).

La reflectancia de la huminita en turbas puede variar entre 0,1 y 0,26 %, el rango determina muchas de las propiedades y características de los macerales, como grado

de degradación, humificación y bituminización de este grupo (Taylor et al., 1998).

Fluorescencia. La intensidad de fluorescencia depende del rango, del grado de degradación, humificación y bituminización de la huminita. Es mayor la fluorescencia cuando el proceso de carbonificación no es avanzado. El color varía de amarillo-marrón a rojo-marrón y es más fuerte en la textinita A y la ulminita A.

Dureza. Blanda y no muestra relieve, excepto la corpohuminita.

Propiedades químicas. Según Cronauer et al. (1992) y Stankiewicz et al. (1996), citados por Sýkorová et al. (2005), la huminita tiene alto contenido de oxígeno y bajo de carbono, comparado con los macerales de los otros dos grupos. Esta composición elemental depende del rango, pues cuando se incrementa el grado de carbonificación, el carbono aumenta, mientras el oxígeno disminuye.

Los componentes orgánicos primarios de la materia húmica, como celulosa, lignina y tanino, alterados durante la humificación y turbificación, desaparecen durante el incremento de la carbonificación antes de alcanzar el rango de subbituminosos, y los ácidos húmicos condensados a moléculas, pierden su carácter y forman álcalis insolubles “huminas”.

Origen. La huminita se origina en los tejidos parenquimatosos y leñosos de las plantas, raíces, tallos, corteza y hojas que están compuestos de celulosa, lignina y taninos; dependiendo del grado de descomposición, humificación, gelificación y del rango, la estructura celular puede ser preservada y visible.

Tabla 2.1 Subdivisión de los macerales del grupo de la Huminita

GRUPO MACERAL	SUBGRUPO MACERAL	MACERAL
HUMINITA	Telohuminita	Textinita
		Ulminita
	Detrohuminita	Atrinita
		Densinita
	Gelohuminita	Gelinita
		Corpogelinita

Fuente: adaptada de ICCP (1994)

2.1.1 Subgrupo telohuminita

Término introducido por el ICCP (1971) para nombrar un subgrupo maceral del grupo de la huminita con estructura celular visible. Este subgrupo consta de dos tipos de macerales diferenciados de acuerdo con el grado de preservación de sus paredes celulares. Cuando están intactas y separadas, se denomina *textinita*, y si están parcialmente gelificadas o deformadas se designa *ulminita*.

La telohuminita se deriva de tejidos parenquimatosos y leñosos de raíces, tallos, cortezas y hojas compuestas de celulosa y lignina, que provienen de plantas herbáceas y arborescentes. Cuando estos macerales están presentes indican un alto grado de preservación de los tejidos bajo condiciones húmedas y posiblemente pH bajo en turberas boscosas y pantanos elevados. La mayor parte de la telohuminita en lignitos terciarios proviene de madera de coníferas, mientras que lo demás son más o menos descompuestos. La telohuminita es la precursora de la telovitrinita en carbones de medio y alto rango (Diessel, 1992, citado en Sýkorová et al., 2005).

- **Textinita.** Nombre propuesto por ICCP en 1963 para los macerales del grupo de la huminita que no han sufrido gelificación de sus paredes celulares, se encuentran bien preservadas y sin deformación. En 1970, el ICCP restringe el término a un maceral sin gelificación.

El tamaño y forma de las células es variada (Figura 2.1), la estructura original se conserva, los lúmenes celulares están abiertos y rellenos con otros macerales o minerales (Figura 2.1 c y e), los que comúnmente pueden ser resinita, corpohuminita, porigelinita, micrinita, arcillas y carbonatos, o estos pueden estar vacíos (esto último es poco frecuente).

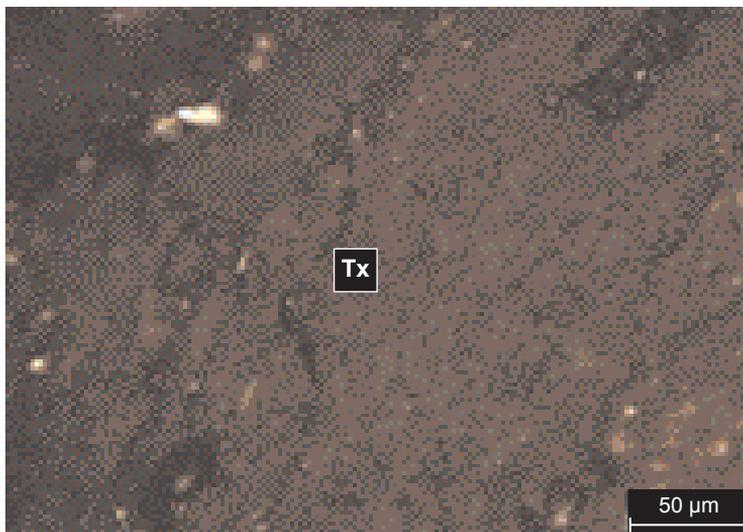
Propiedades físicas. Se diferencian dos tipos: textinita A y textinita B. La textinita A es gris oscura, generalmente con un tinte marrón y con reflexiones internas naranjas o rojizas muy intensas; la reflectancia es muy baja y cerca de la reflectancia de los macerales liptinita; en luz transmitida muestra fuerte anisotropía, producida por restos de celulosa. La textinita B es gris y no muestra las reflexiones internas, su reflectancia depende del rango y puede estar entre ~ 0,2 a ~ 0,4 % Rm. Este maceral textinita en luz reflejada es isotrópico.

Fluorescencia. Varía de amarillo a marrón (Figura 2.1 b, d, e). En textinita A, la intensidad de fluorescencia es mayor que en textinita B, pero es menor que la de los macerales de la liptinita.

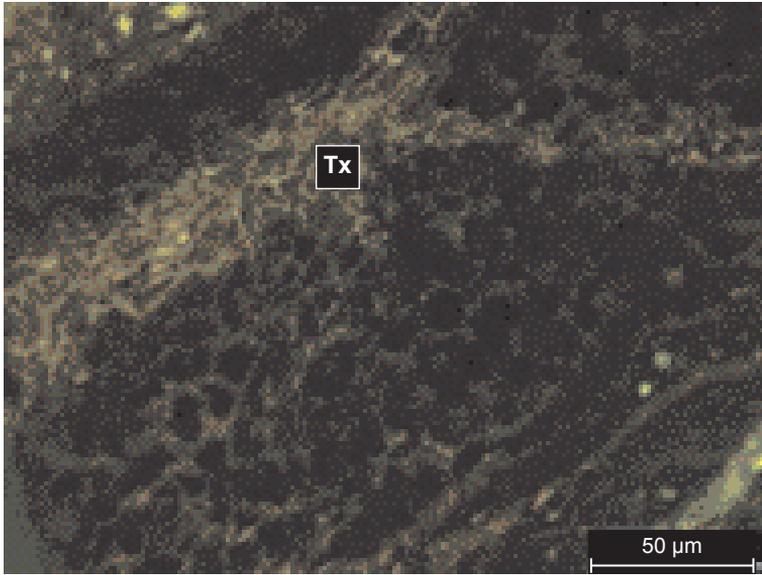
Dureza. Blanda y no muestra relieve.

Propiedades químicas. La textinita se compone de sustancias húmicas y de remanentes de celulosa y lignina. Existen diferencias significativas entre la composición química de la textinita A y la B, mientras la textinita B se compone solamente de huminas y remanentes de lignina, la textinita A puede contener porciones importantes de celulosa, resinas, ceras y taninos.

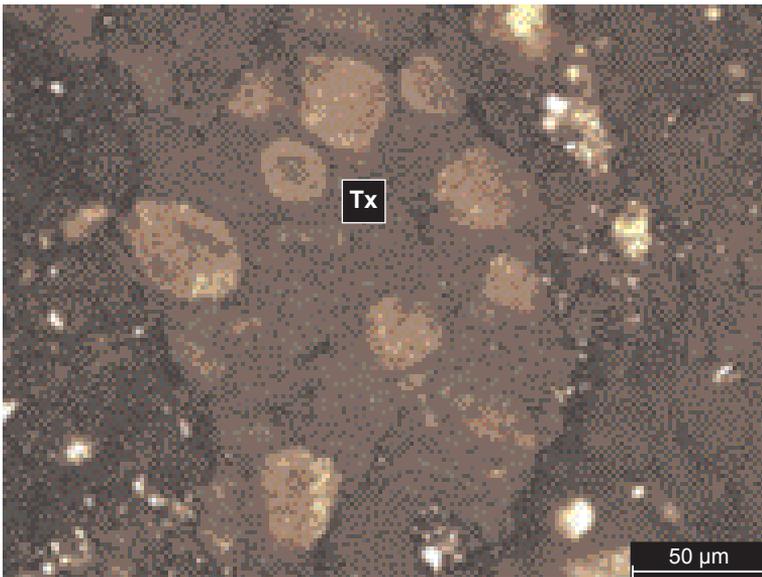
Origen. La textinita se deriva de las paredes celulares de la parenquimatosa y los tejidos leñosos de raíces, tallos y cortezas, rara vez de hojas compuestas de celulosa y lignina. Se origina de plantas herbáceas y arborescentes. La textinita A en la mayoría de los casos está formada a partir de madera de gimnospermas (Taxodiaceae, Cupressaceae) o de las raíces especiales (por ejemplo, Marcoduriainopinata). La textinita B procede de madera de angiospermas y plantas herbáceas. Textinita es el precursor de telinita en los carbones de rango medio.



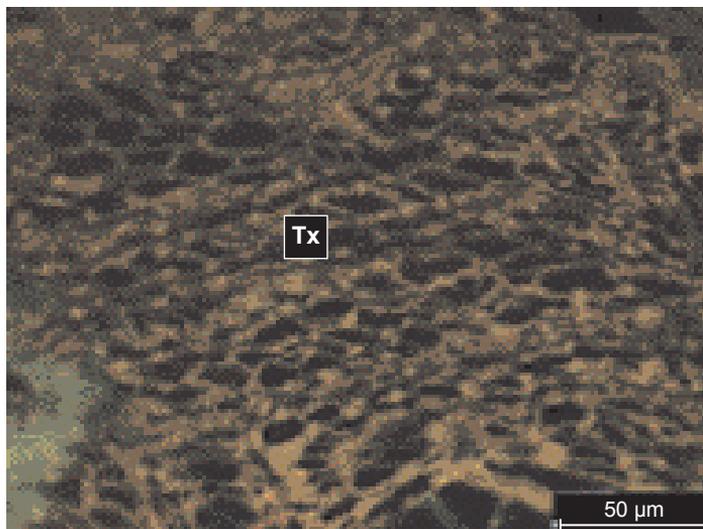
a)



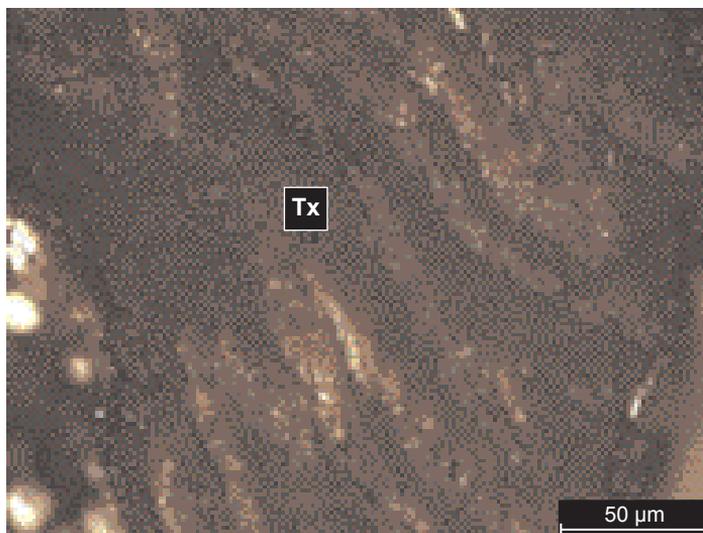
b)



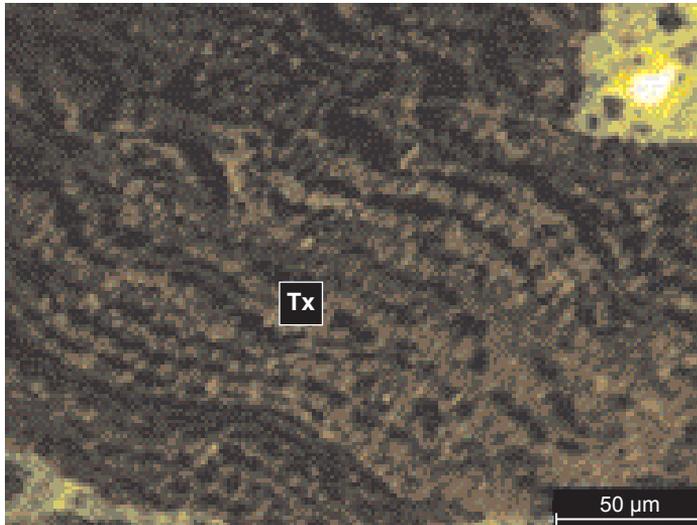
c)



d)



e)



f)

Figura 2.1 Fotomicrografías de macerale en luz blanca reflejada y fluorescente, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a, c y e) Textinita (Tx) de color café grisáceo oscuro, con cavidades celulares bien preservadas, abiertas, no gelificadas, mineralizadas; (b, d y f) Textinita (Tx) bajo luz fluorescente, este grupo maceral presenta fluorescencia de color amarillo a pardo, nótese la buena preservación de los tejidos. Formación volcanoclástica de Aranzazu, Caldas (Terciario Plioceno tardío-Pleistoceno temprano). Ambiente ríos meandriiformes.

- **Ulminita.** El término ulminita fue usado por Stopes (1935, citado en ICCP, 1971) para referirse a un componente de la planta completamente gelificado. El ICCP limita el término a macerale del grupo de la huminita que son parcialmente gelificados, en los cuales aún se pueden observar las paredes celulares y se presentan de tamaños variables. El tamaño y forma de las paredes celulares puede variar debido a la homogenización. Las estructuras de las paredes celulares no son visibles. Los lúmenes celulares están cerrados parcial o completamente (Figura 2.2 a, b, c y d). Debido al proceso de gelificación, las paredes celulares están marcadamente dilatadas y por lo tanto más gruesas que las de la textinita de la planta original. Hay dos variedades: ulminita A más oscura y ulminita B más clara (Sýkorová et al., 2005).

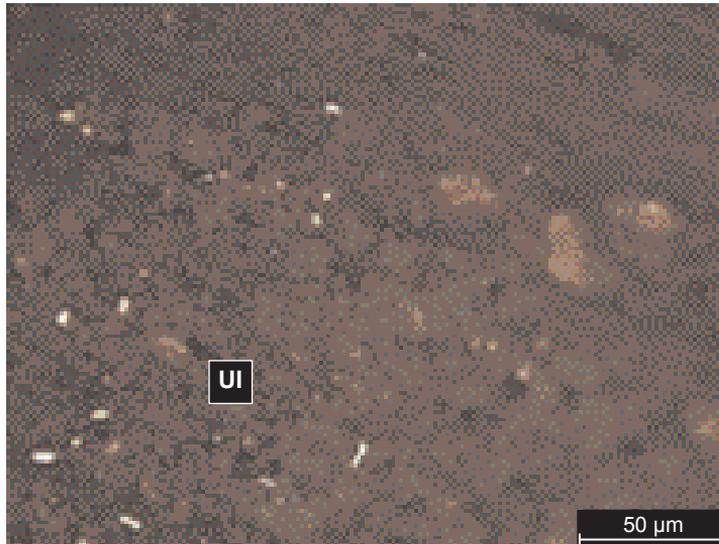
Propiedades físicas. La ulminita A es gris oscura y puede mostrar reflexiones internas amarillas, la ulminita B es gris, rara vez de color marrón. La reflectancia de la ulminita varía entre $\sim 0,2$ y $\sim 0,4$ % Rm. La ulminita A tiene menor reflectancia.

Fluorescencia. Amarilla oscura, parda a parda oscura (Figura 2.2 e y f). La ulminita A tiene mayor fluorescencia que la B, esta propiedad decrece con la gelificación y el rango.

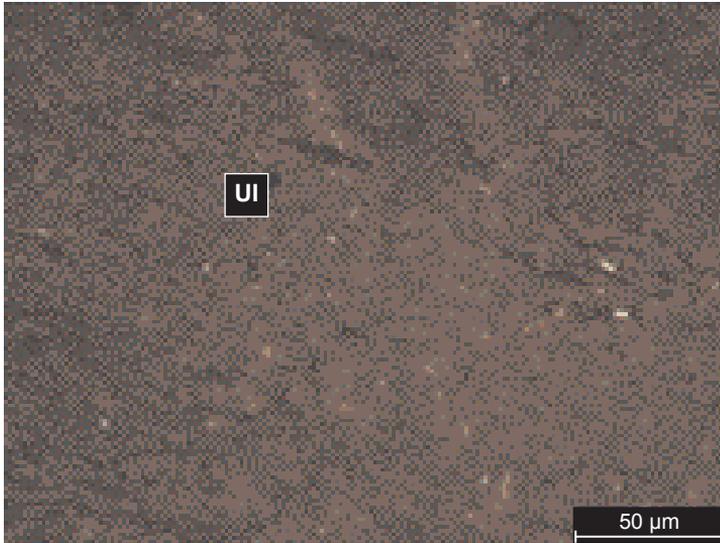
Dureza. Blanda y sin relieve.

Propiedades químicas. La ulminita consiste en ácidos húmicos, humatos y trazas de lignina y celulosa. Las paredes celulares gelificadas están libres de celulosa (Taylor et al., 1998). La relativa baja reflectancia de la ulminita A se puede deber a impregnaciones de resinas y ceras en las paredes celulares, también a productos de descomposición de la celulosa, su composición depende del rango.

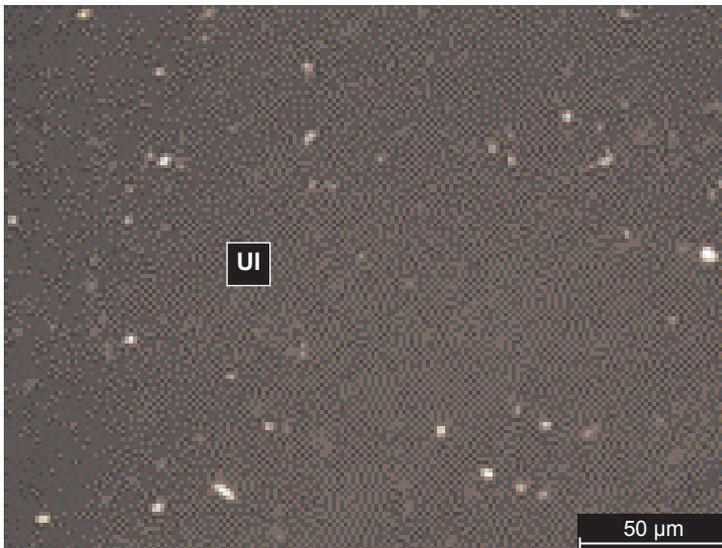
Origen. Se deriva de las paredes celulares de la parenquimatosa y de los tejidos leñosos de raíces, tallos, cortezas y hojas, compuestas de celulosa y lignina de plantas herbáceas y arborescentes. Un alto contenido de ulminita indica alto grado de preservación bajo condiciones húmedas, posiblemente con condiciones de pH bajo dentro de bosques húmedos. La ulminita A derivada de gimnospermas es más abundante en lignitos terciarios que la ulminita B derivada de angiospermas.



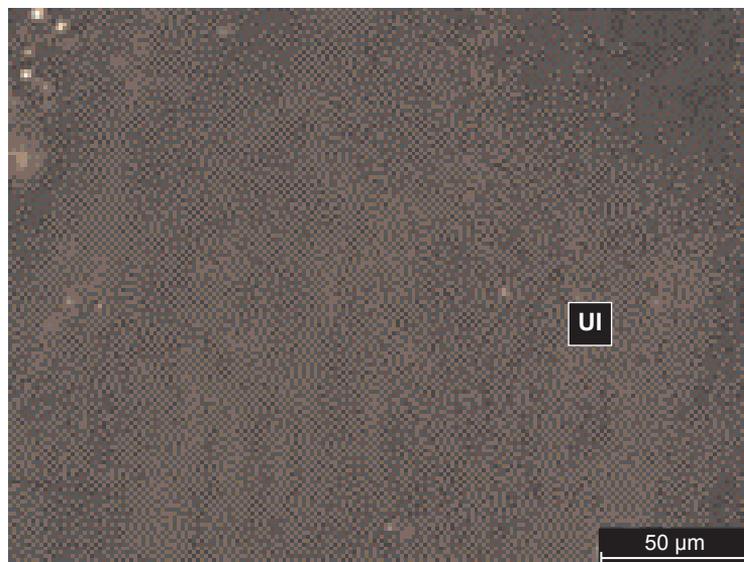
a)



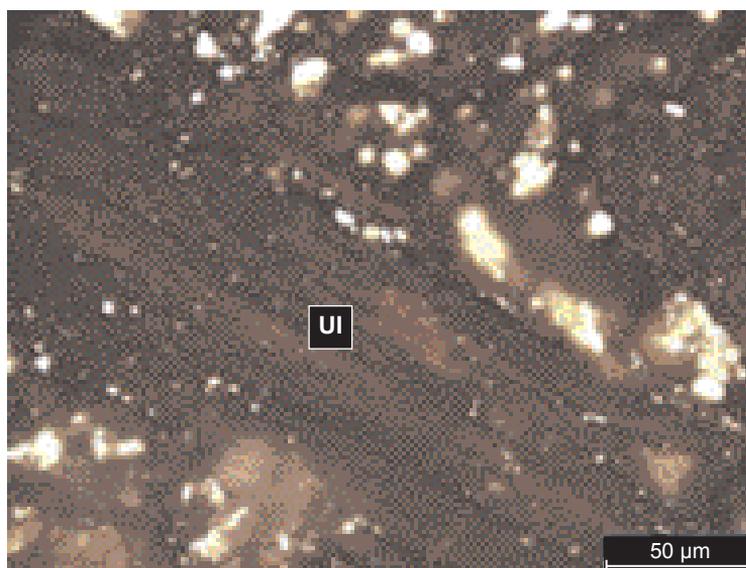
b)



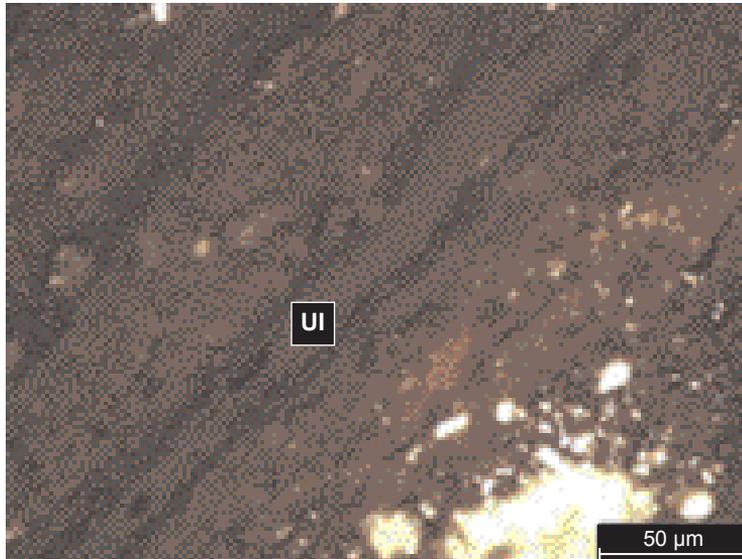
c)



d)



e)



f)

Figura 2.2 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada y fluorescente, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a-f) Ulminita (UI) con lúmenes celulares parcialmente preservados y deformados, baja reflectancia y poca gelificación, y algunas cavidades mineralizadas, bajo luz fluorescente. Pueden presentarse de color amarillo a pardo, los tejidos tienen una moderada preservación, lúmenes parcialmente cerrados. Formación volcanoclástica de Aranzazu, Caldas (Terciario Plioceno tardío- Pleistoceno temprano [?]). Ambiente ríos meandriformes.

2.2.2 Subgrupo detrohuminita

Este término fue introducido por ICCP en 1971 para denominar el subgrupo de la huminita, que consiste en fragmentos húmicos finos ($<10\mu\text{m}$) de reflectancia entre los macerales de la liptinita y la inertinita. Puede ser cementado por materia húmica amorfa. Se divide en dos macerales: la *atrinita*, fragmentos finos, y la *densinita*, partículas finas agrupadas (Sýkorová et al., 2005).

Propiedades físicas. Variadas, dependen de su precursor. Su color es pardo o gris, la reflectancia no se puede medir algunas veces debido al tamaño.

Fluorescencia. Depende de su precursor.

Dureza. Blanda y sin relieve.

Propiedades químicas. En la etapa inicial de la carbonificación se deriva de monómeros de lignina deshidratados mezclados con lípidos de origen vegetal y microbiano (Taylor

et al., 1998). La densinita presenta una alta proporción de estructuras químicas que son más o menos idénticas a la planta que le dio origen.

Origen. Los macerales de este subgrupo provienen de plantas herbáceas y arborescentes a través de la fuerte descomposición de tejidos parenquimatosos y leñosos de los tallos y las hojas. Las plantas herbáceas y bosques de angiospermas se desintegran con mayor facilidad que las paredes celulares lignificadas (Taylor et al., 1998). Este subgrupo es precursor de la detrovitrinita en carbones de rango medio y alto.

- **Atrinita.** El término fue propuesto por la asociación de petrógrafos de USSR en 1963 (citada en Sýkorová et al., 2005) para partículas gelificadas presentes en el carbón, las cuales miden menos de 50 micras de diámetro. El ICCP ha usado este término desde 1971 para partículas finas menores de $<10\mu\text{m}$ de material húmico no gelificado, presentes en carbones pardos de diferente forma (Figura 2.3 a y b).

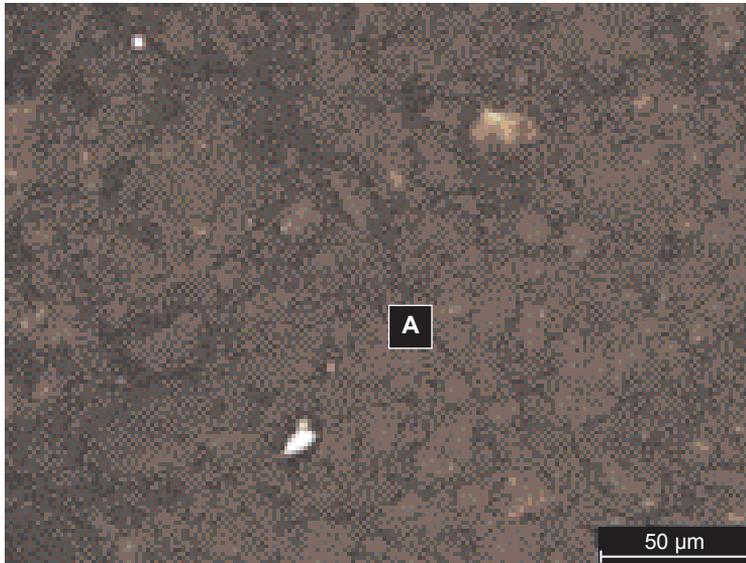
Propiedades físicas. El color es pardo, gris oscuro o gris medio, dependiendo del estado de preservación.

Fluorescencia. Generalmente de color pardo, depende de su precursor.

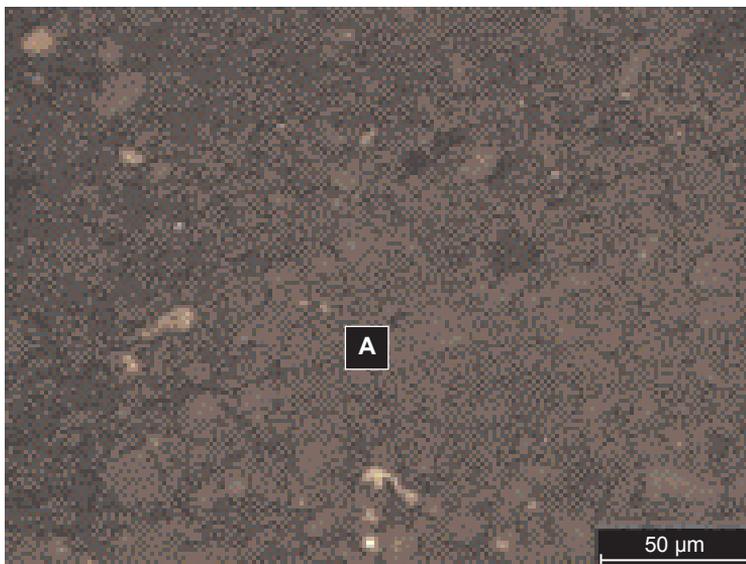
Dureza. Blanda y sin relieve.

Propiedades químicas. Consiste en sustancias húmicas y remanentes de celulosa y lignina. Las propiedades químicas varían dependiendo de la planta original.

Origen. La atrininita es el resultado de la descomposición de la parenquimatosa y de los tejidos leñosos de raíces y hojas de plantas herbáceas y arborescentes, originalmente compuesta principalmente de celulosa y en menor proporción de lignina.



a)



b)

Figura 2.3 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a y b) Atrinita (A) fragmentos aislados sin relieve de color café grisáceo oscuro, gelificados de tamaños finos, menores a 10 micras. Formación volcanoclástica de Aranzazu, Caldas (Terciario Plioceno tardío- Pleistoceno temprano [?]). Ambiente ríos meandriformes.

- **Densinita.** Este término fue introducido en 1971 por el ICCP para denominar un maceral que resulta de la gelificación y comprende detritos finos, más o menos condensados (agrupados) en grandes masas en carbones pardos (Figura 2.4 a y b). Este maceral gelificado consiste en partículas de tamaño $<10\mu\text{m}$ de variada forma, cementada por sustancias huminíticas amorfas densas.

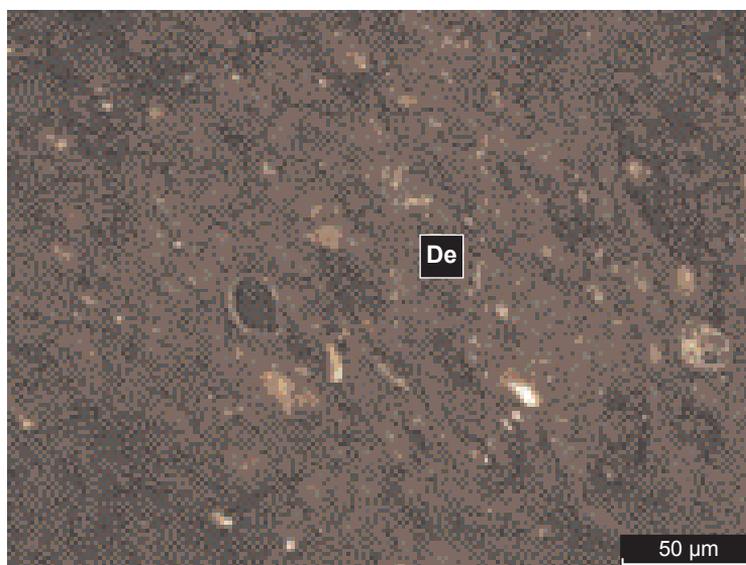
Propiedades físicas. El color es gris, la reflectancia depende el rango y puede variar entre $\sim 0,2$ y $\sim 0,4$ % Rm.

Fluorescencia. Ninguna o muy débil de color pardo.

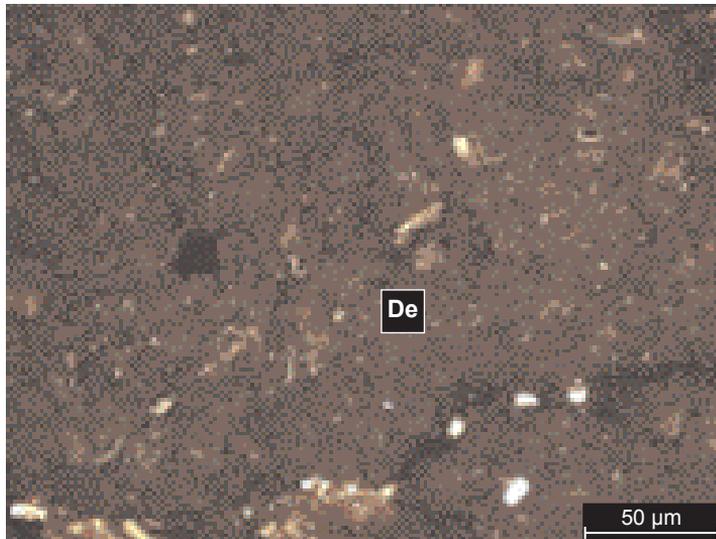
Dureza. Blanda y no presenta relieve.

Propiedades químicas. Consiste en sustancias húmicas y posiblemente de remanentes de lignina.

Origen. La densinita se puede formar de varias maneras. Posiblemente de la fuerte transformación de la parenquimatosa y de los tejidos leñosos de raíces y hojas compuestas de celulosa y lignina, seguida de la gelificación bioquímica bajo condiciones húmedas durante el estado de turba. Se forma a partir de la gelificación geoquímica de la atrinita durante el incremento de la carbonificación.



a)



b)

Figura 2.4 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a y b) Densinita (De) fragmentos finos agrupados de color pardo a gris, reflectancia baja, sin relieve. Formación volcanoclástica de Aranzazu, Caldas (Terciario Plioceno tardío-Pleistoceno temprano [?]) Ambiente ríos meandriiformes.

2.1.3 Subgrupo gelohuminita

Término introducido por ICCP para denotar un subgrupo maceral que consiste en materia húmica amorfa o tejidos celulares gelificados y detritos húmicos. En luz blanca reflejada aparece homogénea y muchas veces ocupando cavidades (poros, lúmenes).

Este subgrupo incluye macerales como la *corpohuminita* y la *gelinita*. Las formas representan cuerpos discretos, la mayoría relleno de lúmenes celulares *in situ* o aislados. Se presenta en altas proporciones en carbones terciarios, en carbones de bajo rango, originados en turbas bajo condiciones húmedas.

Propiedades físicas. De color pardo a gris, reflectancia baja.

Dureza. Blanda, puede presentar relieve.

Fluorescencia. No presenta.

Propiedades químicas. Originada de secreciones celulares ricas en taninos y sustancias húmicas.

Origen. Este subgrupo de la gelohuminita tiene varios orígenes. Se puede derivar de tejidos de las plantas intensamente gelificadas y detritos húmicos. No se observan estructuras en luz blanca reflejada, puede derivarse de precipitados húmicos coloidales.

- **Corpohuminita.** El término fue introducido por ICCP en 1971 para un maceral del grupo de la huminita, que consiste en cuerpos sin estructuras relleno de células. Su tamaño y forma depende de la cavidad que rellenan, pero puede ser esférica, ovalada o alargada (véase Figura 2.5 a-e). Dos submacerales pueden ser distinguidos: *flobafinita*, que es el producto de carbonificación de primarias secreciones celulares, y la *seudoflobafinita*, relleno secundario originado de coloides húmicos. Se diferencian solamente dentro de tejidos de la textinita y de la ulminita. Si los granos no tienen contacto con las paredes celulares (grano aislado dentro de la pared celular), el submaceral es flobafinita, y si los lúmenes están completamente rellenos con sustancias húmicas amorfas y el límite entre las paredes celulares y el material que rellena es vago, entonces es seudoflobafinita.

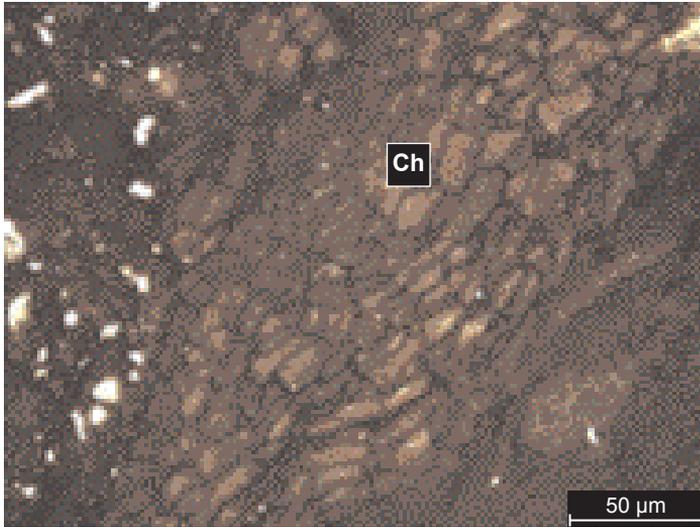
Propiedades físicas. Gris a gris claro, es más alta que la ulminita B o la densinita.

Fluorescencia. No presenta fluorescencia.

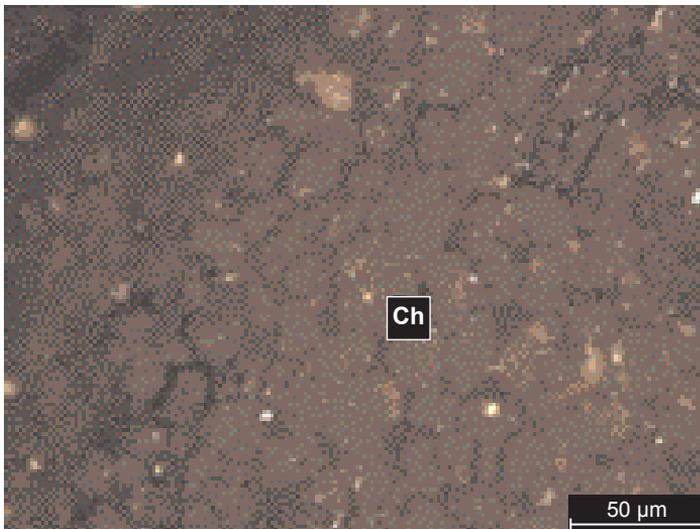
Dureza. Depende de su origen, en general es blanda y con relieve en secciones pulidas.

Composición química. Se origina de secreciones primarias, taninos, consistiendo de mezclas de componentes aromáticos que varía de composición y posee propiedades fenólicas.

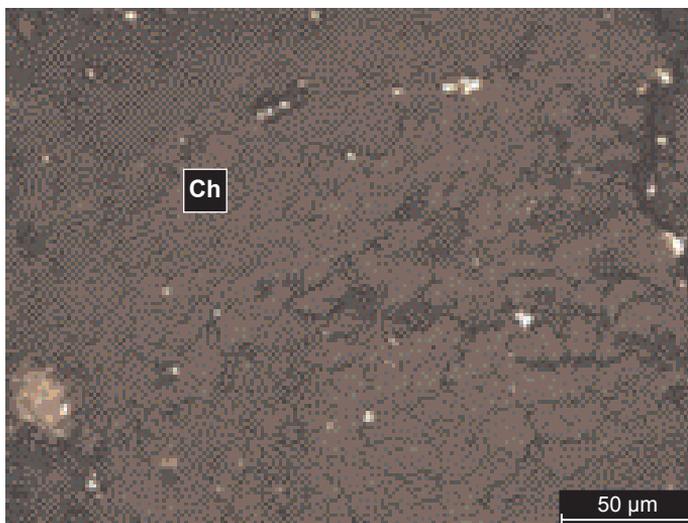
Origen. La flobafinita es originada por secreciones celulares, rica en taninos, depositada en lúmenes celulares de tejidos de cortezas de plantas. La flobafinita ocurre en Taxodiaceae; en coníferas es menos común (Soo's, 1963, 1964; citado en Sýkorová et al., 2005). La seudoflobafinita proviene de soluciones húmicas coloidales.



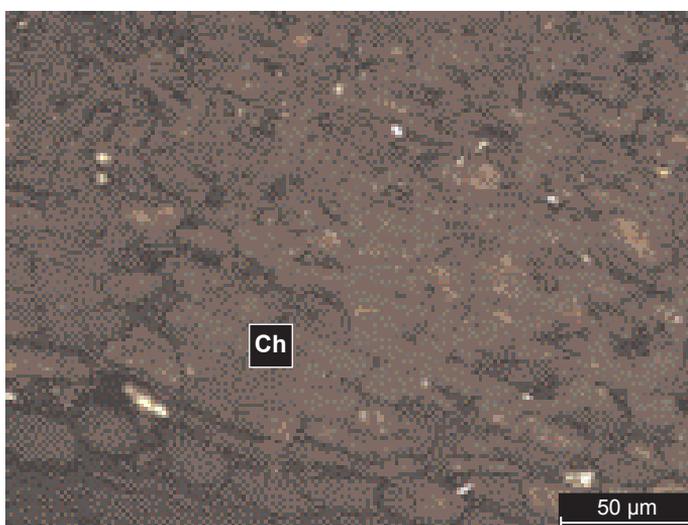
a)



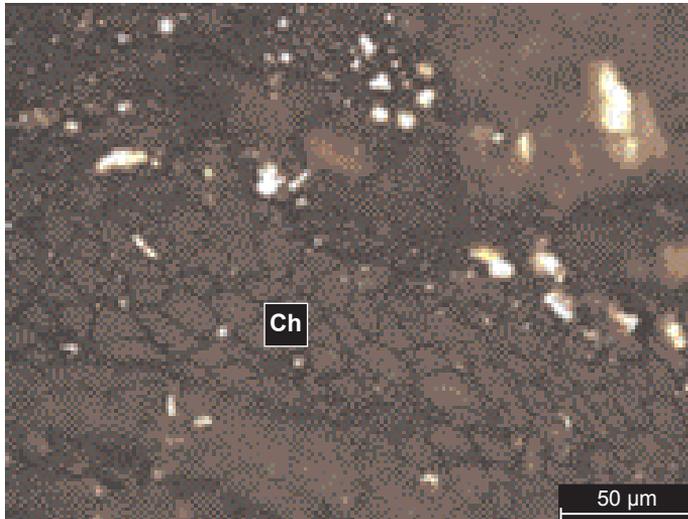
b)



c)



d)



e)

Figura 2.5 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a-e) Corpohuminitas (Ch) variedad flobafinita. Este material húmico se observa de varias formas: ovaladas, redondeadas o rectangulares. Son homogéneas y masivas, de color pardo a gris claro, de reflectancia media, tamaños variables; frecuentemente agrupadas y mineralizadas. Formación volcanoclástica de Aranzazu, Caldas (Terciario Plioceno tardío-Pleistoceno temprano [?]) Ambiente ríos meandriiformes.

- **Gelinita.** El término de gelinita fue adoptado en 1971 por ICCP para clasificar un componente del grupo de la huminita que consiste en un gel coloidal puro. Este concepto corresponde al usado originalmente por Stopes (1943, citado en Sýkorová et al., 2005) para referirse a la colinita “reprecipitado”. En esa misma publicación se encuentra este término empleado por Szadeczky-Kardoss en 1948, para aludir a precipitados de geles húmicos, y en 1971 fue adoptado por ICCP para denominar geles húmicos sin forma. La gelinita se divide en dos submacerales: la *levigelinita*, que es completamente sin estructura, compacta y homogénea, puede tener grietas por desecación, y la *porigelinita* esponjosa, con poros y ocurrencia microgranular (Sýkorová et al., 2005).

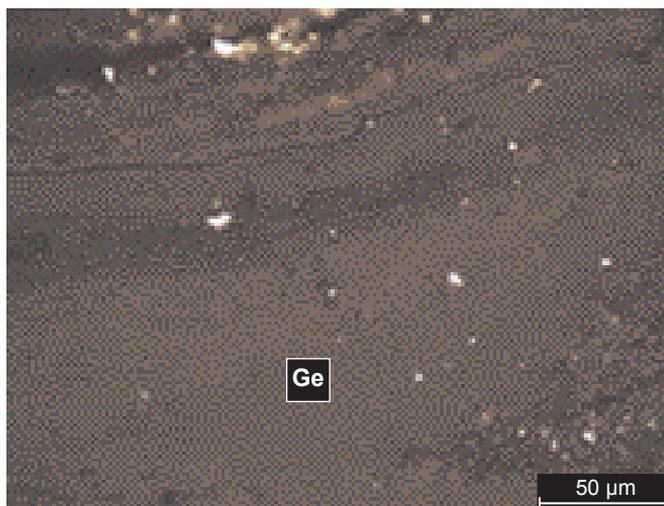
Propiedades físicas. Color gris medio a gris claro. La porigelinita puede mostrar reflexiones internas discretas. La reflectancia de la levigelinita depende del rango, y se incrementa desde ~ 0.25 hasta ~ 0.40 % Rm. Se usa para determinar el rango.

Fluorescencia. No presenta fluorescencia.

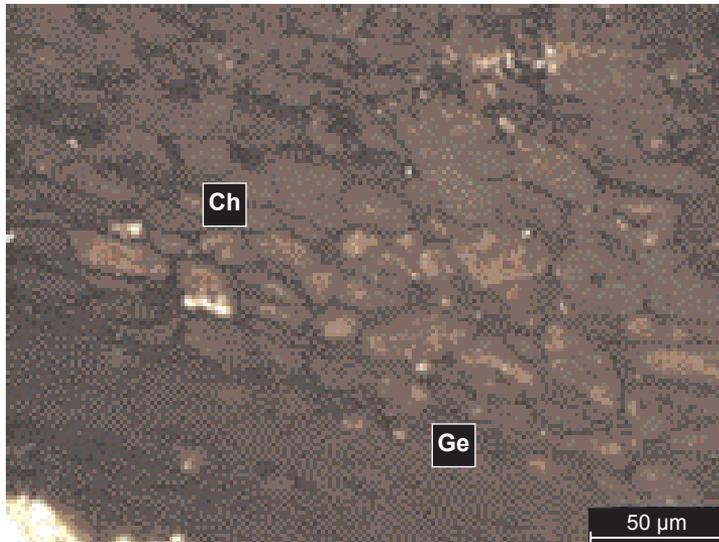
Dureza. La gelinita es lisa y no presenta relieve (véase Figura 2.6 a-b)

Propiedades químicas. La gelinita consiste en ácidos húmicos y sus sales (especialmente sales Ca y Na). La composición química está influenciada por el rango, facies y condiciones regionales.

Origen. La gelinita puede ocurrir singenética y epigenéticamente. La singenética *eugelinita* y *porigelinita* puede provenir de sustancias húmicas amorfas secretadas de las paredes celulares directamente durante periodos húmedos en las turberas y estas rellenan las cavidades celulares. En muchos casos, la *porigelinita* y la *eugelinita* epigenéticas son productos de precipitación de soluciones húmicas coloidales que rellenan espacios (Taylor et al., 1998). Este maceral es precursor de la gelinita en carbones de rango medio y alto.



a)



b)

Figura 2.6 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a) Gelinita (Ge) bandas homogéneas gris pardo, sin relieve. (b) Gelinita (Ge) variedad porigelinita. Formación volcanoclástica de Aranzazu, Caldas (Terciario Plioceno Tardío-Pleistoceno temprano [?]). Ambiente ríos meandriformes.

2.2 GRUPO MACERAL VITRINITA

El término vitrinita fue introducido por Stopes (1935, citado por ICCP, 1998) para denominar a un constituyente de los carbones de rango medio que puede ser reconocible microscópicamente. Este término equivale a huminita en carbones pardos.

La vitrinita incluye un grupo de macerales de color gris y reflectancia media, conformado por *tres subgrupos macerales* de acuerdo con el grado de preservación y *seis macerales* reconocidos por su forma (Tabla 2.2). Este grupo maceral se deriva de material húmico de las plantas. La vitrinita ocurre en el carbón como:

- a- Capas relativamente puras o lentes de variado espesor (desde diversos micrómetros a varios centímetros).
- b- Fases continuas de grandes masas de carbón.
- c- Masas amorfas que rellenan cavidades, poros y fisuras.

Dependiendo del nivel de descomposición, del grado de gelificación (cambios físico-químicos de la turbera) y del rango, sus estructuras pueden o no ser preservadas. Los macerales de este grupo son definidos por las diferentes estructuras que resultan de las diversas fuentes de esta materia orgánica y las vías de transformación dentro de los pantanos (ICCP, 1998).

Propiedades físicas. El color y la reflectancia cambian progresivamente con el rango, el color es pardo grisáceo en carbones de bajo rango (lignitos) y sedimentos termalmente inmaduros y de color gris claro a blancos en carbones de rango medio a alto.

La medida aleatoria de la reflectancia sobre este rango de color es aproximadamente 0.5 a 1,6 Rm. El valor límite inferior ha sido tomado como el valor para separar carbones de rango medio (bituminosos) y bajo. La reflectancia también incrementa con el rango y puede variar debido a diferencias en el origen de los macerales, cambios en la diagénesis o influencias termales secundarias. En rangos del carbón mayores al rango medio, la reflectancia de la vitrinita puede ser sobrepasada por la reflectancia de la liptinita, y en rangos más altos (> 4.0) la reflectancia de la vitrinita y la liptinita puede exceder a la inertinita (ICCP, 1998).

Fluorescencia. El color y la intensidad varían entre los macerales de este grupo, aunque dependen también del rango y del grado de bituminización (absorción de sustancias como el petróleo). El rango de colores va desde anaranjado a rojo parduzco (ICCP, 1998).

Dureza. La vitrinita es blanda y no tiene relieve (excepto la corpogelinita); su superficie en sedimentos es lisa. Los rangos de densidad para la vitrinita oscilan entre 1.27 y 1.30 g cm⁻³ (Cloke, Gilfillan & Lester, 1997).

Propiedades químicas. La vitrinita es caracterizada por tener un contenido alto en oxígeno, comparado con los macerales de los otros dos grupos. La composición elemental depende del rango y oscila así:

Carbono: 77-96 %

Hidrógeno: 6-1 %

Oxígeno: 16-1 %

El contenido de carbono incrementa, y el oxígeno decrece durante la carbonificación. La vitrinita es rica en estructuras aromáticas (Given, 1960; citado por ICCP, 1994). La aromaticidad incrementa con el rango desde 70 % C en cadenas aromáticas en carbones subbituminosos, a 90 % de C en antracitas. La concentración de heteroátomos (O, N, S) decrece con el incremento del rango. Los grupos funcionales son -COOH, -OH, >C=O, -C-O-C; N, ocurren muchas veces como aminas, y S como tioles y sulfuros en anillos heterocíclicos (Tissot & Welte; 1984, citados por ICCP, 1998).

Origen. La vitrinita se deriva de la parénquima y de los tejidos finos de raíces, tallos, corteza y hojas compuestas de celulosa y lignina, originadas a partir de plantas herbáceas y arborescentes (Taylor et al., 1998).

Siendo el componente mayoritario de muchos de los carbones, las propiedades de la vitrinita afectan los procesos en los cuales el carbón es utilizado. En carbones de rango medio son fácilmente fusibles durante la carbonificación, y estas propiedades influyen en los productos de hidrogenación y combustión (Bengtsson, 1984; citado por ICCP, 1994). La oxidación durante el almacenamiento causa deterioro de la calidad de la vitrinita incluyendo la termoplaticidad en el caso de los bituminosos. La vitrinita es la mayor fuente de gas natural de origen primario (ICCP, 1998).

Este grupo maceral se divide en subgrupos con base en sus características morfológicas, como se observa en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Subdivisión de los macerales del grupo de la vitrinita

GRUPO MACERAL	SUBGRUPO MACERAL	MACERAL
VITRINITA	Telovitrinita	Telinita
		Colotelinita
	Detrovitrinita	Vitrodetrinita
		Colodetrinita
	Gelovitrinita	Corpogelinita
		Gelinita

Fuente: adaptada de ICCP (1994)

2.2.1 Subgrupo telovitrinita

Denominado por ICCP en 1994, subgrupo del grupo de la vitrinita con estructura celular algunas veces parcialmente visible, el subgrupo comprende los macerales de *telinita* y *colotelinita*, los cuales se diferencian por su grado de gelificación geoquímica.

Propiedades físicas. Este subgrupo maceral se observa de color gris medio, reflectancia media. El maceral telinita puede conservar su estructura celular, la colotelinita.

Fluorescencia. Débil o ausente, depende del rango del carbón, con el incremento desaparece.

Dureza. Blanda y sin relieve.

Propiedades químicas. La composición y su grado de aromatización dependen del rango.

Origen. Se deriva del parénquima y de los tejidos lechosos de raíces, tallos, corteza y hojas compuestas de celulosa y lignina, originadas a partir de plantas herbáceas y arborecentes.

- **Telinita.** Término introducido en 1933 por Jongmans y Koopmans, adoptado en 1935 por Heerlen Congress (ICCP, 1998) para describir capas de vitrinita con estructura celular diferenciable. En 1957, el ICCP decide restringir este término a las paredes celulares carbonificadas que se pueden reconocer de los tejidos de las plantas (ICCP, 1998). Derivado tela (tejido).

La telinita es un maceral del grupo de la vitrinita, subgrupo telovitrinita, que consiste en paredes celulares claramente reconocibles de más o menos tejidos de plantas intactos (Figura 2.7 a-c). La forma, el tamaño y la abertura de lúmenes celulares son variables dependiendo de la planta original y la orientación de la sección. La forma puede ser subsférica u ovalada, frecuentemente deformada. Las paredes celulares están siempre gelificadas pero rara vez se puede observar su precursor, como en la *textinita* y la *ulminita* de carbones de bajo rango. Los lúmenes están ocasionalmente vacíos pero usualmente se observan cerrados. Ellos pueden ser rellenos con otros macerales o minerales, las más comunes inclusiones son corpogelinita, resinita y micrinita, arcillas y carbonatos.

Propiedades físicas. La reflectancia es menor que la gelovitrinita.

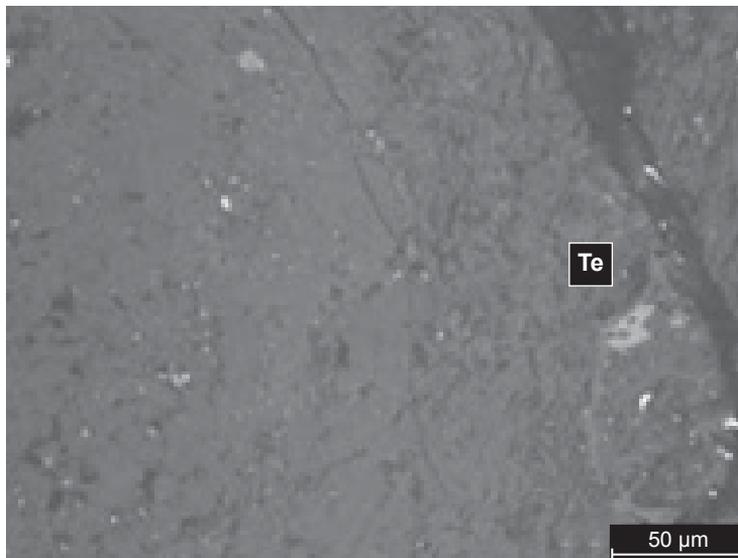
Fluorescencia. Es débil.

Dureza. Blanda y no presenta relieve en sección pulida, es más dura que la corpogelinita.

Propiedades químicas. La composición elemental y la aromaticidad dependen del rango, pero es poco lo que se conoce de la composición química de este maceral.

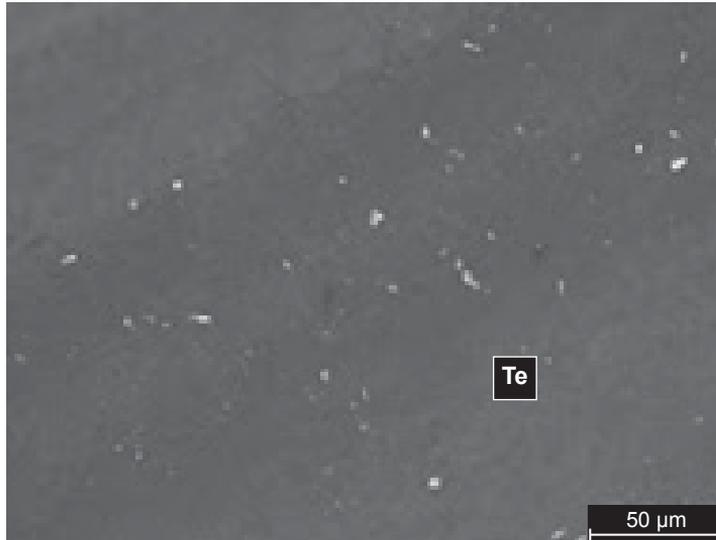
Origen. Se origina de paredes celulares de la parenquimatosa y de los tejidos leñosos de raíces y hojas compuestas de celulosa y lignina, también surge de plantas herbáceas y arborescentes. La gelificación geoquímica (vitrinización) la ha afectado principalmente. La telinita ocurre en carbones bituminosos alto volátiles, es menos abundante que la colotelinita. Puede estar presente en sedimentos de alto rango. Es parte del kerógeno tipo III.

Chivatá, Boyacá



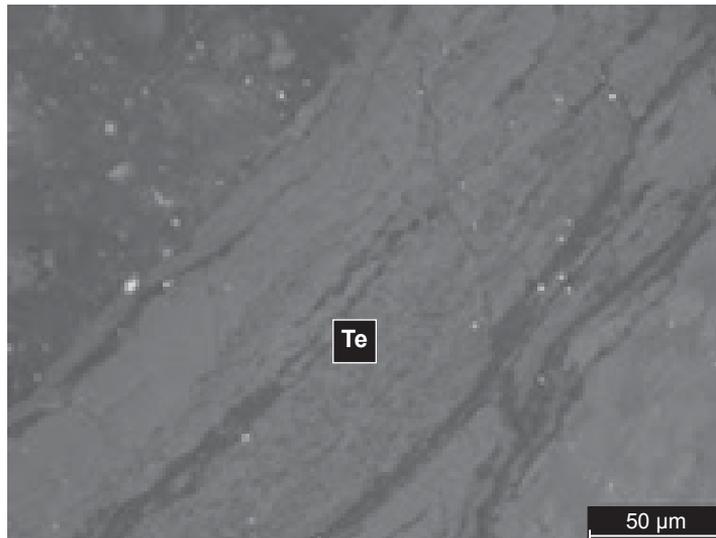
a)

Chivatá, Boyacá



b)

Ventaquemada, Boyacá



c)

Figura 2.7 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a - c) Telinita (*Te*) Tejidos con moderada preservación, lúmenes presentes, reflectancia media. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior). Ambiente Parállico.

- **Colotelinita.** El término fue introducido por ICCP en 1994 para denominar capas de vitrinita más o menos homogenizadas, las cuales exhiben una pobre estructura. Derivado: *colla* (GR)-goma, *telu* (L)-tejido.

La colotelinita es un maceral del grupo de la vitrinita, subgrupo de la telovitrinita con una apariencia homogénea, más o menos sin estructura. En carbones de bajo rango muestra moderada textura o remanente de su estructura celular (Figuras 2.8 y 2.9)

Propiedades físicas. El valor de la reflectancia es ampliamente usado para determinar el rango del carbón y la madurez de la materia orgánica en sedimentos; su reflectancia es comúnmente más alta que la colodetrinita.

Fluorescencia. Puede presentarse en un amplio rango (bituminoso alto volátil-semiantracita), pero disminuye con el aumento del rango.

Dureza. No presenta relieve.

Propiedades químicas. La composición elemental y la aromaticidad dependen del rango, el incremento en la aromaticidad incrementa la reflectancia. No hay datos de la composición química de este maceral en estado puro.

Origen. Se deriva de la parenquimatosa y de los tejidos leñosos de raíces, tallos y hojas compuestas de celulosa y lignina, originados de plantas herbáceas y arborescentes. Durante la gelificación geoquímica (vitrinización), la estructura primaria desaparece. El precursor en carbones de bajo rango es la ulminita. Parte del kerogeno tipo III.

2.2.2 Subgrupo detrovitrinita

El término fue introducido por ICCP en 1994, para denominar partículas de vitrinitas derivadas de la abrasión, detritus (detritos), vitrum (vidrio). Este maceral consiste en remanentes de plantas vitrificadas finamente fragmentadas, ocurre tanto aislado como cementado por materia vitrinitica amorfa.

Propiedades físicas. Este subgrupo maceral es de color gris medio, puede variar con el rango y el maceral precursor, forma y tamaño variado.

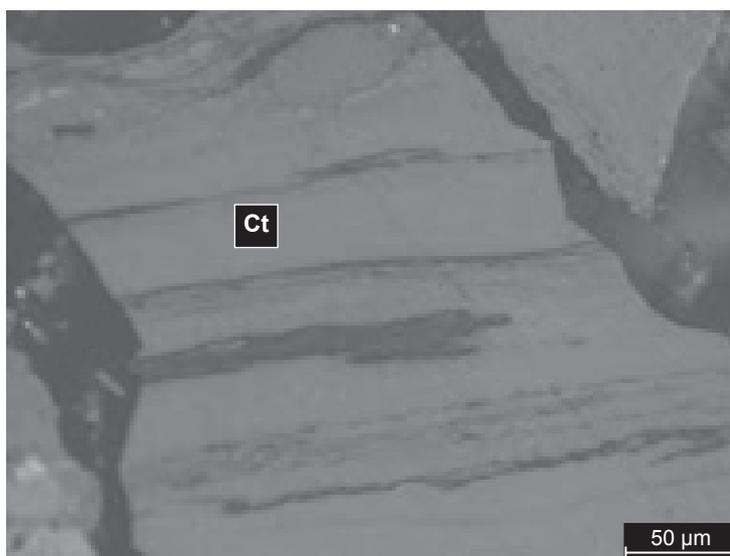
Dureza. Blando y sin relieve.

Fluorescencia. No tiene, o débil si es de bajo rango.

Propiedades químicas. Depende de su composición inicial.

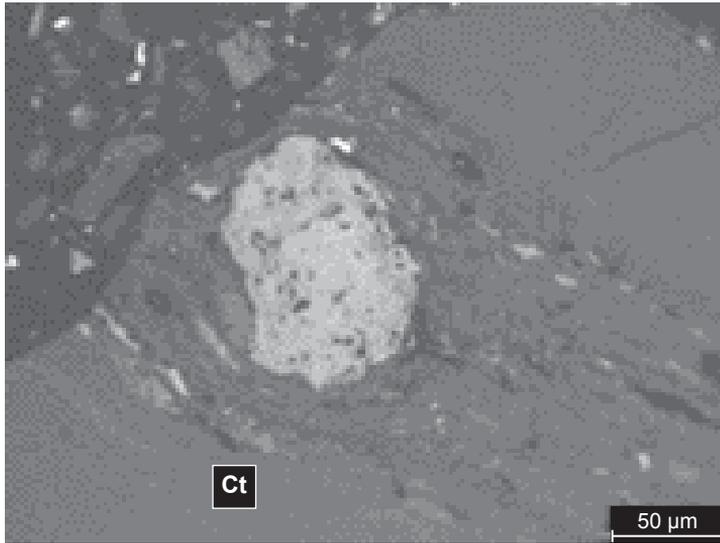
Origen. Los macerales de este subgrupo son derivados de la transformación de la parenquimatosa y de los tejidos leñosos de raíces y hojas de plantas herbáceas y arborescentes, originalmente compuestas de celulosa y lignina; formadas por la transformación mecánica y química de las estructuras. Grandes cantidades de detrovitrinita indican una alta destrucción de los tejidos celulares, especialmente de plantas herbáceas ricas en celulosa. Donde se dan condiciones neutrales o débilmente alcalinas u oxidantes durante el estado de turba, la detrovitrinita es el maceral que normalmente domina el subgrupo, el precursor en carbones de bajo rango es la detrohuminita.

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



a)

Sogamoso, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



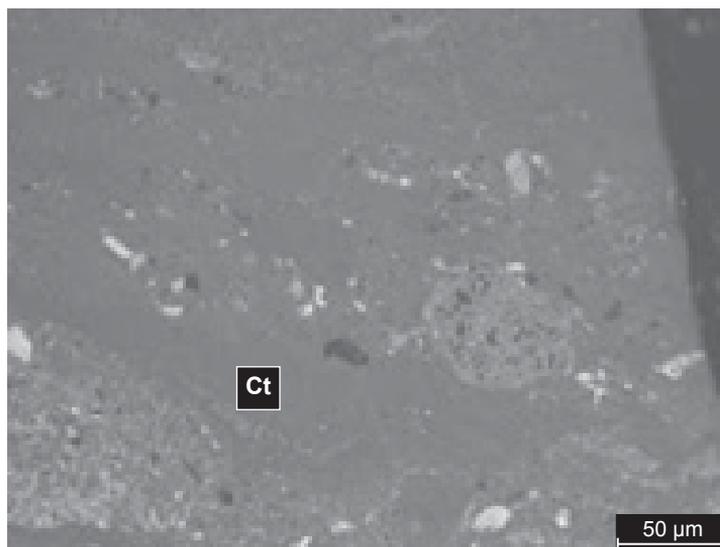
b)

Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior - Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriformes



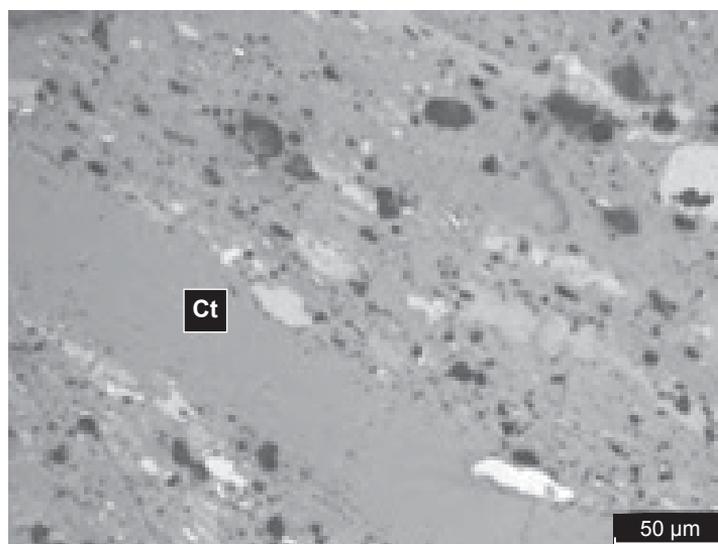
c)

Albania, Guajira. Formación Cerrejón (Paleoceno Tardío)
Ambiente parálico



d)

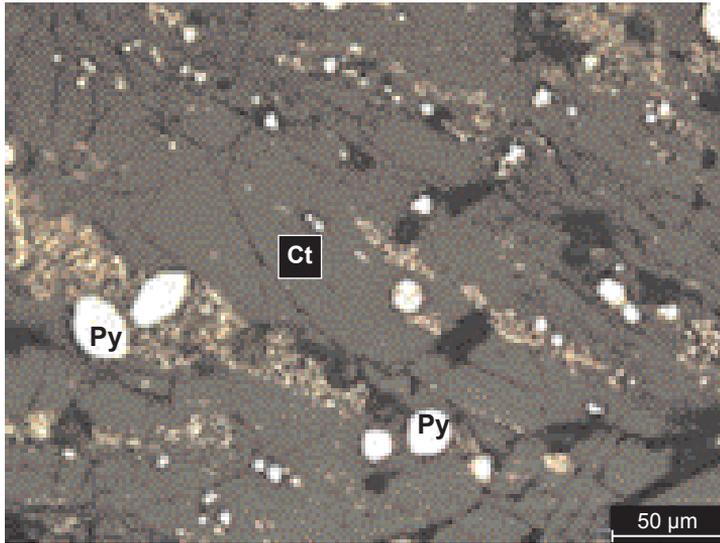
Samacá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



e)

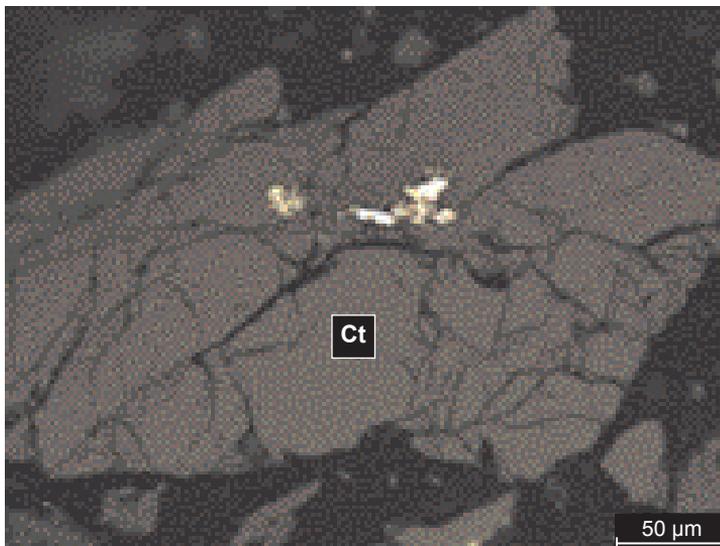
Figura 2.8 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a - f) Colotelinita (*Ct*) maceral en banda homogénea, reflectancia media a alta.

Morales, Cauca. Formación Ferreira (Oligoceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriiformes



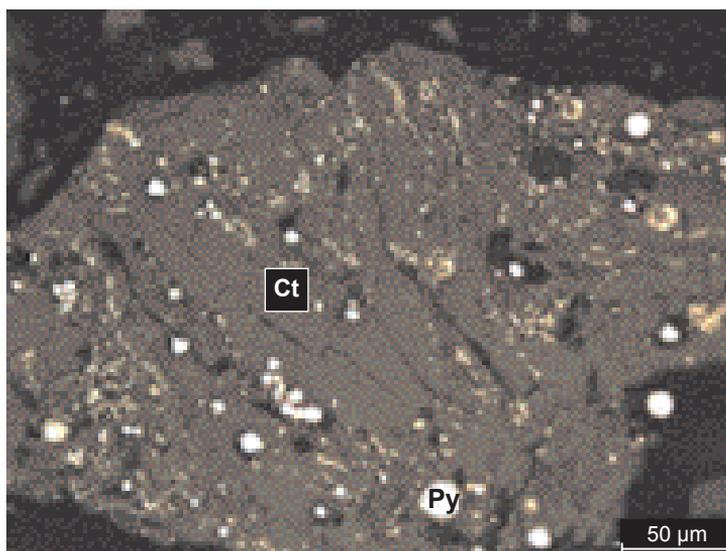
a)

Morales, Cauca. Formación Ferreira (Oligoceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriiformes



b)

Morales, Cauca. Formación Ferreira (Oligoceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriformes



c)

Figura 2.9 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a - c) Colotelinita (*Ct*) maceral en banda homogénea, reflectancia media a alta, con altos contenidos de pirita (*Py*).

- **Vitrodetrinita.** El término fue adoptado en 1971 por ICCP para describir un maceral del grupo de la vitrinita, el cual se presenta en pequeñas partículas de diferente forma. Derivación: *vitrum* (vidrio), *detritus* (fragmento) abrasión. El tamaño es menor a 10 micras (Figuras 2.10 a y b).

Propiedades físicas. La transición a inertodetrinita es gradual. Con el rango es difícil diferenciarla de otros macerales.

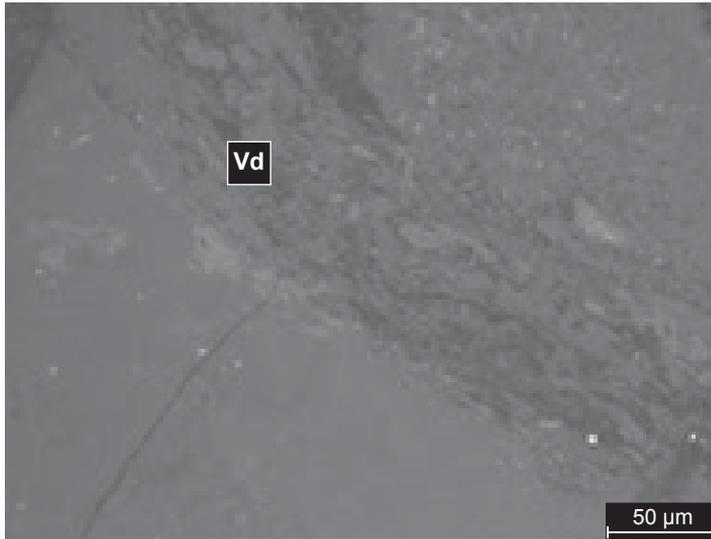
Florescencia. No tiene.

Dureza. Relativamente blanda.

Propiedades químicas. Depende del rango, baja aromaticidad.

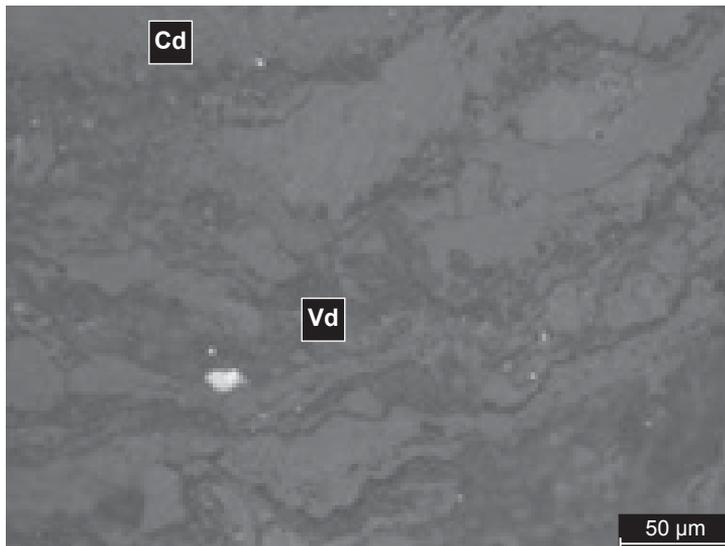
Origen. Vitrodetrinita se deriva por trituración de una amplia gama de componentes parenquimatosos y tejidos leñosos de las raíces, los tallos y las hojas compuestas de celulosa y lignina. Es gelificado antes del transporte y la deposición o después de la sedimentación.

Ventaquemada, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



a)

Ventaquemada, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



b)

Figura 2.10 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a -b) Vitrodetrinita (*Vd*) Fragmentos detríticos, de color gris medio, tamaños finos.

- **Colodetrinita.** El término fue introducido en 1994 por ICCP para denominar masas de vitrinita. La colodetrinita es un maceral del subgrupo detrovitrinita que ocurre como una masa de vitrinita moteada, comparada con la colotelinita carece de continuidad textural. Es una mezcla de partículas menores de 10 micras y amorfas (Figuras 2.11 a y b), que rellenan espacios. A diferencia de vitrodetrinita, las partículas que la componen no son claramente visibles en el microscopio de luz blanca, debido a un mayor grado de homogeneización especialmente en los subbituminosos y bituminosos de alta volatilidad. La colodetrinita puede tener espesor variable. En carbones de bajo grado puede tener una superficie poco porosa y las reflexiones internas. Cuando el rango incrementa es más difícil de separarla de colotelinita.

Propiedades físicas. La reflectancia de este maceral oscila entre 0,5 % y aproximadamente 1,4 % Rm. Color gris medio pero puede variar con el rango del carbón.

Fluorescencia. La intensidad y el color depende del rango y del grado de bituminización (absorbe sustancias como el petróleo), los colores van desde amarillos marrón a rojo-naranja y rojo-marrón. La intensidad de fluorescencia de la colodetrinita es mayor que la colotelinita, debido a su asociación con macerales liptinticos.

Dureza. Blanda, sin relieve.

Propiedades químicas. La composición química y la aromaticidad dependen del rango, pueden tener en algunos casos mayor contenido de hidrógeno que la colotelinita.

Origen. Se deriva de compuestos parenquimatosos y de tejidos lechosos de raíces, tallos y hojas constituidas de celulosa y lignina, originadas de plantas herbáceas y arborescentes, compuestas de celulosa y lignina. Los tejidos se destruyen durante la turbificación, las partículas pequeñas son cementadas por coloides húmicos en la turba y homogeneizadas posteriormente durante la gelificación geoquímica (vitrinitización). Las sustancias de la planta como la celulosa pueden generar más este maceral que las ricas en lignina.

2.2.3 Subgrupo gelovitrinita

El término fue introducido en 1994 por ICCP para clasificar un subgrupo de macerales que se originó a partir de la gelificación de ácidos húmicos y del que no se conoce el tejido específico de la planta. Derivación: *gelu*, (gel), *vitrum* (vidrio).

Gelovitrinita es un subgrupo del maceral vitrinita que consiste en material coloidal que rellena cavidades vacías. El subgrupo consta de los macerales *corpogelinita* y *gelinita*. El primero describe organismos que representan principalmente la flobafinita relleno de lúmenes celulares que ocurren *in situ* o aislados dentro de la matriz carbonosa o mineral; el último muestra rellenos homogéneos secundarios de microfisuras, u otros espacios vacíos. El tamaño es variable.

Propiedades físicas. Reflectancia media, de color gris medio que depende del rango; tamaño y forma variables según la cavidad que rellena.

Fluorescencia. No presenta.

Dureza. Blanda, puede tener relieve (especialmente la corpogelinita).

Propiedades químicas. Desconocidas.

Origen. Se originan de ácidos húmicos y de partes de taninos o de secreciones de las paredes celulares.

- **Corpogelinita.** El término fue adoptado en 1994 por el ICCP para clasificar un maceral del grupo de la vitrinita que comprende cuerpos húmicos sin estructura que rellenan células, *in situ* o aislados. La corpogelinita es un maceral del subgrupo gelovitrinita que consiste en cuerpos homogéneos y discretos que rellenan células (Figura 2.12 a-f). Puede ser encontrado dentro de la telovitrinita y en su sitio de depositación; la corpogelinita puede presentarse agrupada o aislada. Su forma puede ser esférica, ovalada o elongada de tamaño variable.

Propiedades físicas. Color más pálido, presenta una reflectancia más alta que la asociada a otros macerales de este grupo, como la colotelinita y la colodetrinita.

Fluorescencia. En general, la intensidad de la fluorescencia es más débil que la de la colotelinita y colodetrinita o puede estar ausente.

Dureza. Blanda, presenta relieve.

Propiedades químicas. No se conocen, debido a la dificultad de obtener suficiente material para el análisis.

Origen. La corpogelinita puede ser originada de partes de taninos o de secreciones de las paredes celulares. Es parte del kerógeno tipo III.

- **Gelinita.** El término fue adoptado en 1971 por ICCP (ICCP, 1998) para clasificar un componente del grupo de la vitrinita que consiste en un gel coloidal, el cual corresponde al concepto de gel “reprecipitado” de Stopes llamado colinita. La gelinita está conformada por rellenos homogéneos y sin estructura de grietas y otros huecos (Figuras 2.13 a, b y c). Este maceral es de origen secundario y puede rellenar lúmenes de otros macerales como esclerotinitas, semifusinitas y fusinitas; los tamaños y formas son variados y dependen de la estructura que se encuentran rellenando.

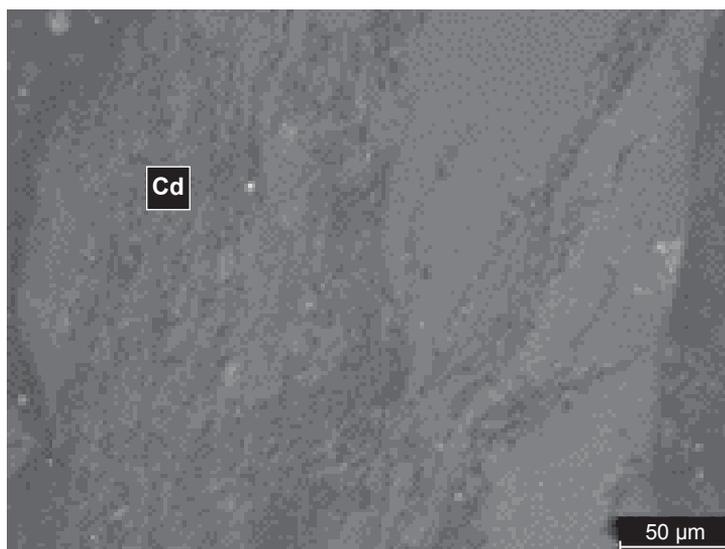
Propiedades físicas. La reflectancia es a menudo ligeramente mayor que la de otros macerales de la vitrinita, pueden ser bandas de diferente reflectancia.

Fluorescencia. Ausente.

Dureza. Presenta bajo relieve.

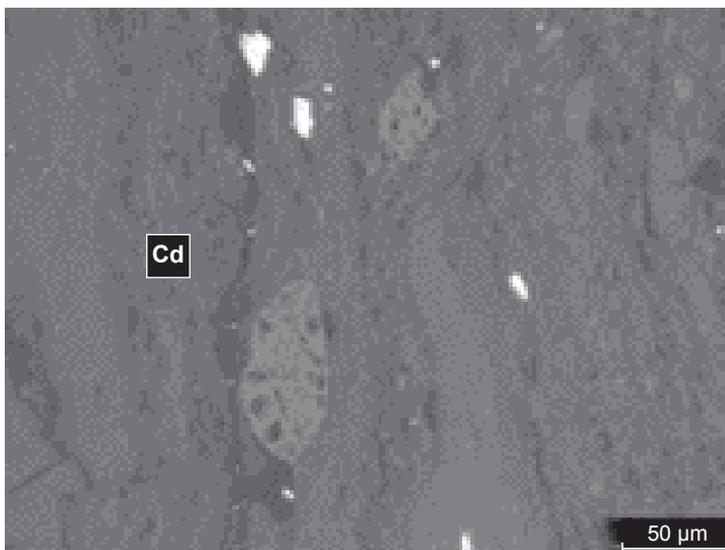
Origen. Este maceral es formado de coloides húmicos originados durante la diagénesis temprana a partir de las plantas o secundariamente de material de impregnación, seguido por precipitación como gel coloidal. Algunos sucesos sugieren que el relleno tuvo lugar durante la fase final de la carbonificación después del depósito. Este maceral puede provenir de la gelinita presente en los carbones de bajo rango.

Ventaquemada, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Paráfico



a)

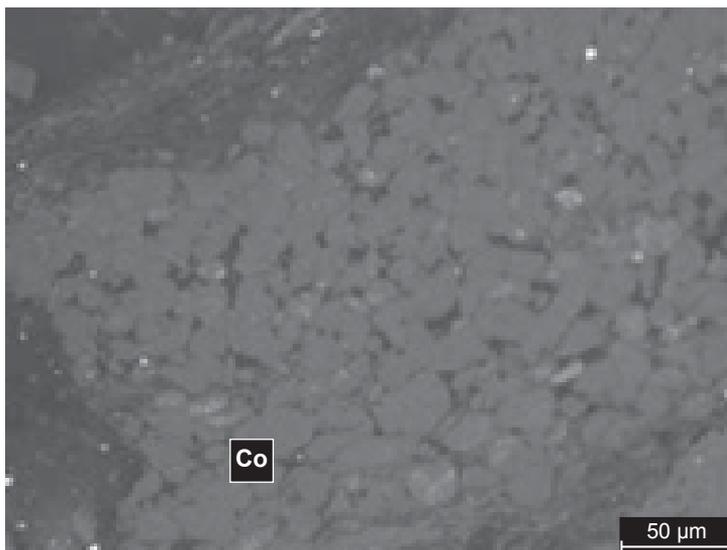
Ventaquemada, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Paráfico



b)

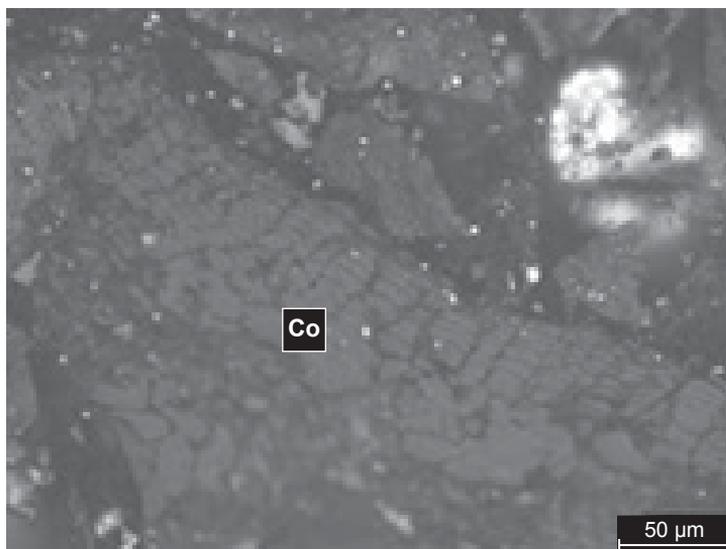
Figura 2. 11 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a - b) Colodetrinita (*Cd*) masa de vitrinita que rodea otros macerales, (matriz de otros componentes) moteada de color gris medio.

Tunja, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálítico



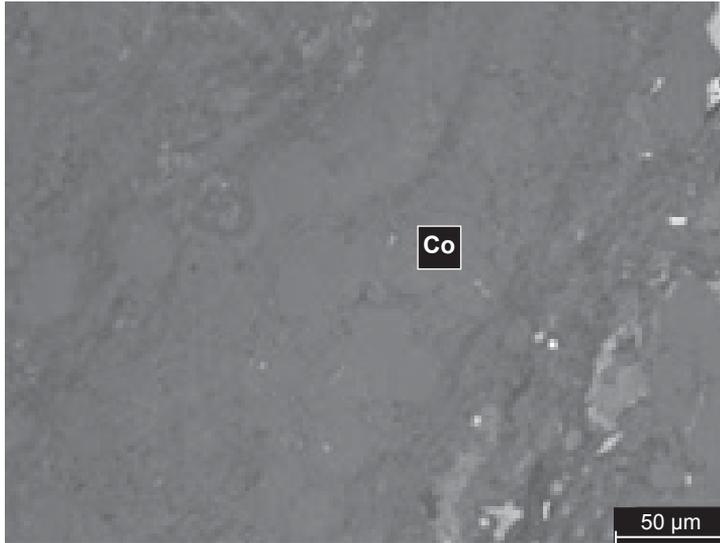
a)

Chivatá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálítico



b)

Sogamoso, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálito



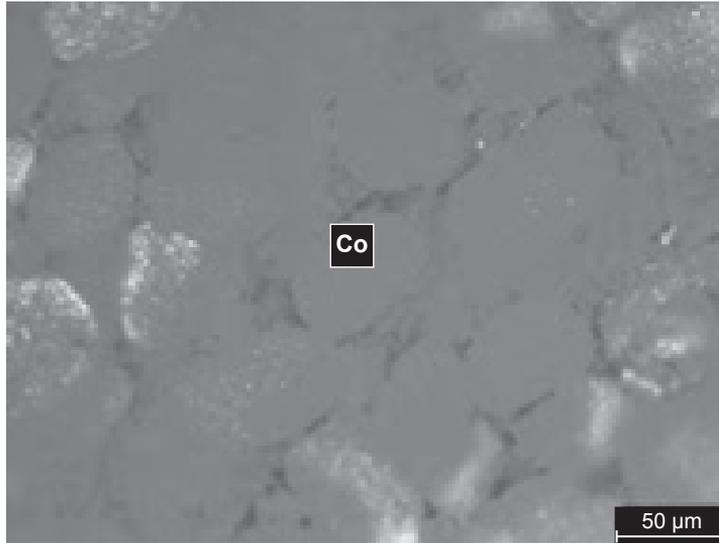
c)

Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriforme



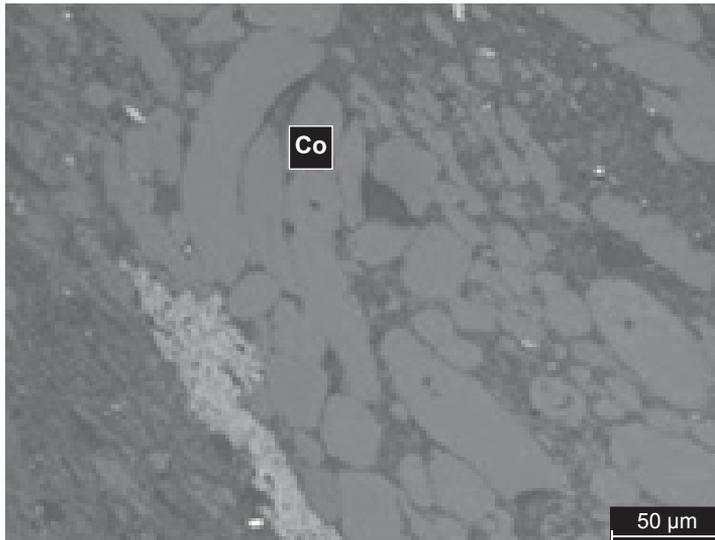
d)

Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriforme



e)

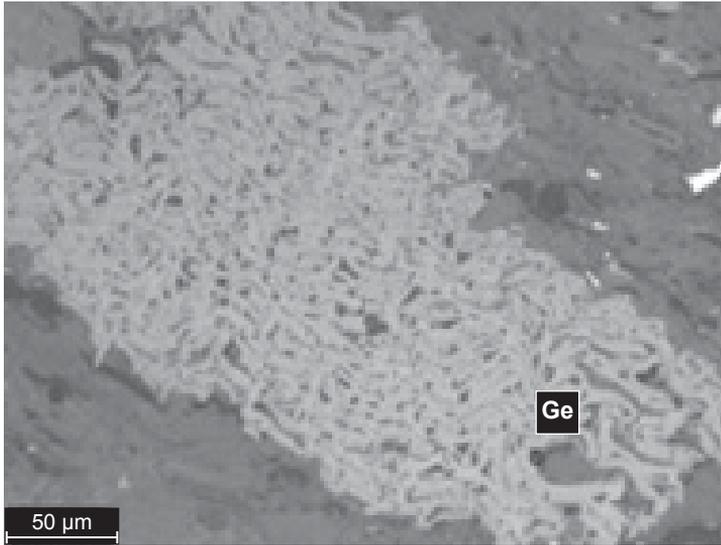
Ventaquemada, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálítico



f)

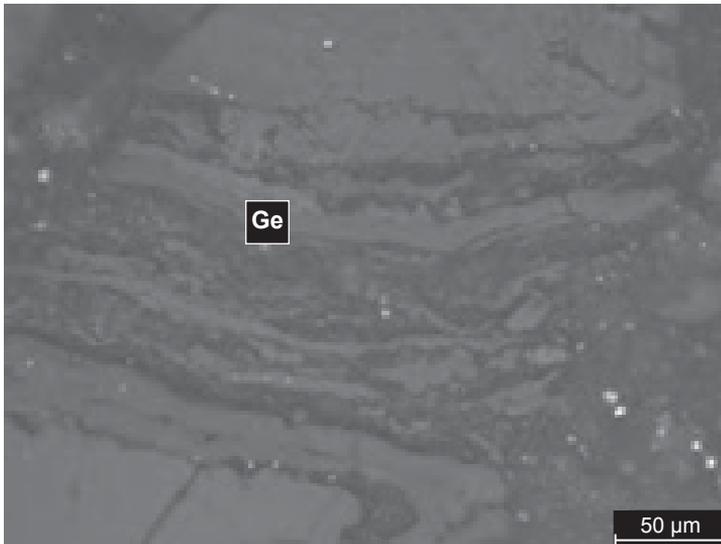
Figura 2.12 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a - f) Corpogelinita (*Co*) se observa en forma de cuerpos ovalados, redondeados o rectangulares, homogéneos y masivos, de color gris claro, algunas veces mineralizada de reflectancia media, tamaño variable, frecuentemente agrupados.

Cucaita, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



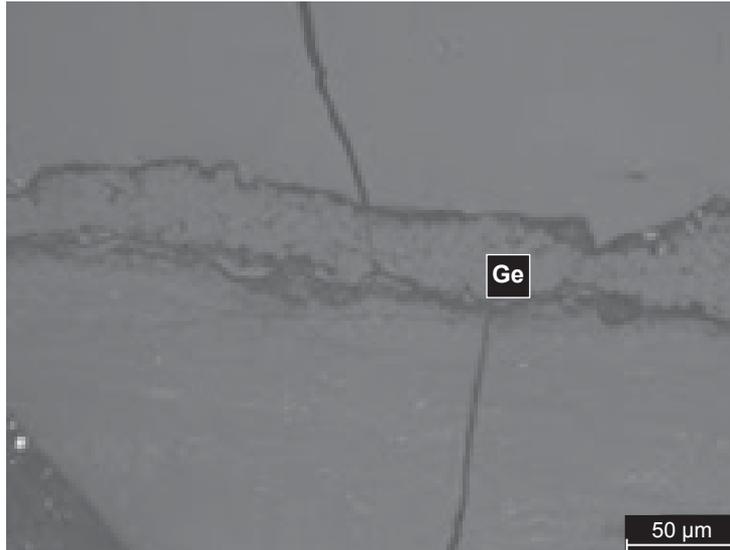
a)

Ventaquemada, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



b)

Ventaquemada, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parállico



c)

Figura 2. 13 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a - c) Gelinita (*Ge*) se observa en forma de bandas homogéneas, relleno de semifusinita (a) o en grietas (b y c) masiva, de color gris claro, reflectancia media, tamaño variable, depende de la cavidad que rellena. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior) Ambiente Parállico.

2.3 GRUPO MACERAL LIPTINITA

En 1935, Stopes (ICCP, 1971) usó el término exinita para referirse a constituyentes que representan las exinas de esporas en el carbón (exinitas en el sentido estricto); sin embargo, Seyler en 1938 (ICCP, 1971) lo utiliza para designar un grupo de macerales como esporinita, cutinita, alginita y resinita. Los macerales de este grupo no necesariamente son exinas pero pueden tener características similares. Ammosov (1956; citado por ICCP, 1971) introduce el término liptinita.

Propiedades físicas. El grupo maceral de la liptinita se origina a partir de materiales de la planta relativamente ricos en hidrógeno como la esporopolenina, cutina, suberina, resinas, ceras, bálsamos, látex, grasas y aceites, como también de productos derivados de la degradación de proteínas, celulosa y otros carbohidratos. Este grupo maceral se caracteriza por presentar un mayor contenido en constituyentes alifáticos, un color gris oscuro a negro y por tener la más baja reflectancia de los tres (Taylor et al., 1998).

Durante la turbificación y diagénesis de carbones de bajo rango, los precursores de la liptinita son estables, ellos no sufren humificación ni gelificación, por esta razón los mismos nombres son usados para macerales del grupo de la liptinita en una turba, carbones pardos, lignitos y bituminosos.

Aproximadamente en el límite entre subbituminoso y bituminoso (reflectancia 0,5 %) ellos experimentan cambios en las propiedades de sus constituyentes lípidos, que coinciden con la formación de petróleo en rocas fuente (Teichmüller, 1974, citado por Taylor et al., 1998). Otro cambio ocurre en la etapa de bituminoso medio volátil (1,2-1, 5 % Rm) durante su conversión en hidrocarburos gaseosos. En carbones bituminosos bajos en volátiles, la liptinita asume las propiedades químicas y ópticas de la vitrinita, lo que hace difícil diferenciar estos grupos en carbones de alto rango (Taylor et al., 1998).

Los rangos de variaciones de densidad de este grupo se deben a la diferente naturaleza de su fuente y al rango del carbón (Dyrkacz & Horwitz, 1982). Este se caracteriza por presentar los valores más bajos de densidad, los cuales se encuentran alrededor de 1.23 g cm^{-3} , algunas veces con valores de 1.06 a 1.15 g cm^{-3} dentro de un mismo tipo de maceral (por ejemplo resinitas) (Cloke, Gilfillan, & Lester, 1997).

Fluorescencia. Es la principal característica que diferencia este grupo de los demás. Las mediciones de fluorescencia van disminuyendo con el rango (Taylor et al., 1998).

Propiedades químicas. Las liptinitas contienen comparativamente grandes cantidades de constituyentes alifáticos y bajas proporciones de grupos OH y enlaces C-O (Dyrkacz, Bloomquist & Ruscic, 1984).

Este grupo maceral se divide en macerales (Tabla 2.3) de acuerdo con sus características de forma, fluorescencia y origen o precursor.

Origen. Teichmüller (1989, citado en Scott, 2002) reconoce que las liptinitas no solamente son derivadas de órganos de las plantas ricos en hidrógeno –como polen, resinas, ceras, bálsamos, látex, grasas y aceites–, sino además de productos de descomposición a partir de la degradación bacteriana de proteínas, celulosa y otros carbohidratos. Este grupo se especifica por tener un amplio rango de características morfológicas y por originarse de varias partes de las plantas; algunas provienen de sus cutículas y capas cuticulares, formadas de ácidos grasos y ceras. Además deben tenerse en cuenta los restos de origen animal que pueden encontrarse en el carbón y que rara vez son discutidas sus características morfológicas (Scott, 2002).

Tabla 2.3 Subdivisión de los macerales del grupo de la liptinita en el sistema de clasificación de Stopes-Heerlen

GRUPO MACERAL	MACERAL
LIPTINITA	Esporinita Cutinita Resinita Fluorinita Alginita Suberinita Liptodetrinita Bituminita Exudatinita

Fuente: adaptada de Stopes-Heerlen (citados por ICCP, 1971)

- **Esporinita.** El término esporinita fue introducido por Seyler en 1938 (ICCP, 1971) para un maceral del grupo de la liptinita, el cual proviene de la espora y de granos de polen. Está conformado por exinas de membranas externas de esporas. Este término se utiliza para esporas y granos de polen.

Propiedades físicas. La esporinita se presenta más o menos en forma de lentes en secciones perpendiculares a la estratificación. La cavidad original se observa solo por una línea fina, ocasionalmente es posible distinguir una estratificación dentro de la pared celular. Los tamaños pueden variar desde aproximadamente 10 a 2000 micras. Se pueden distinguir dos tipos de esporinitas según sus paredes, si son gruesas se llaman megaesporinitas (Figuras 2.14 c, d, e y f; 2.15 c, d y f) si son delgadas, microesporinitas (Figuras 2.14 a y b; 2.15 a, b y c) (ICCP, 1971).

En carbones de bajo rango el color es marrón, gris oscuro y cercanamente a negro, con el incremento del rango gris claro hasta confundirse con la vitrinita.

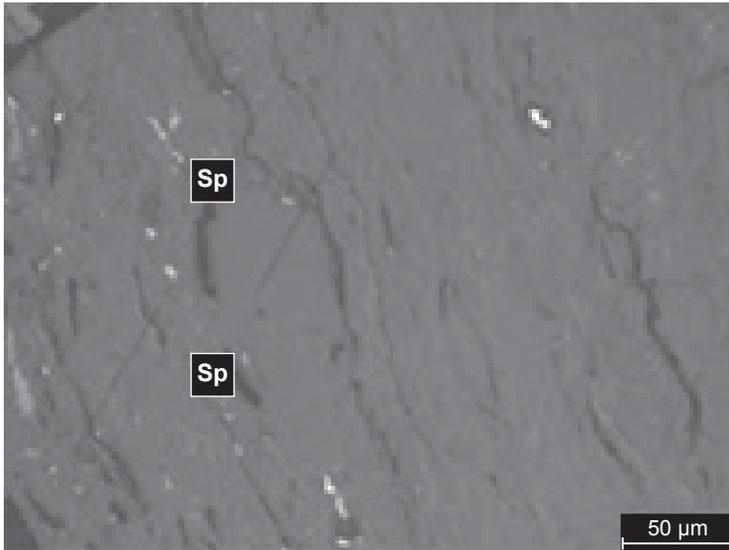
Dureza. Blanda, menor que la del grupo de la vitrinita.

Fluorescencia. Fuerte fluorescencia de color amarillo, naranja a pardo; con el incremento del rango presenta esta variación.

Propiedades químicas. La esporinita presenta variaciones en su composición, es formada de deshidratación y deshidrogenación de esporopolenina que, a su vez, consiste en carbono, hidrógeno y oxígeno.

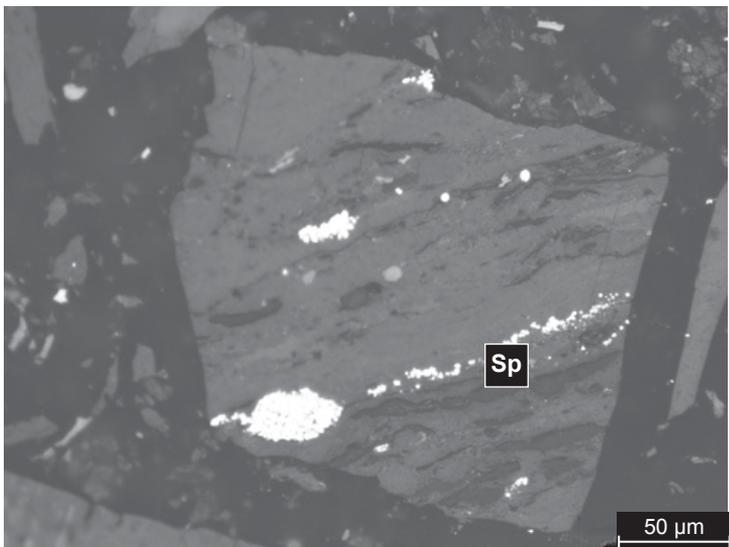
Origen. Formada a partir de exinas de esporas y granos de polen de plantas.

Chivatá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Paráfico



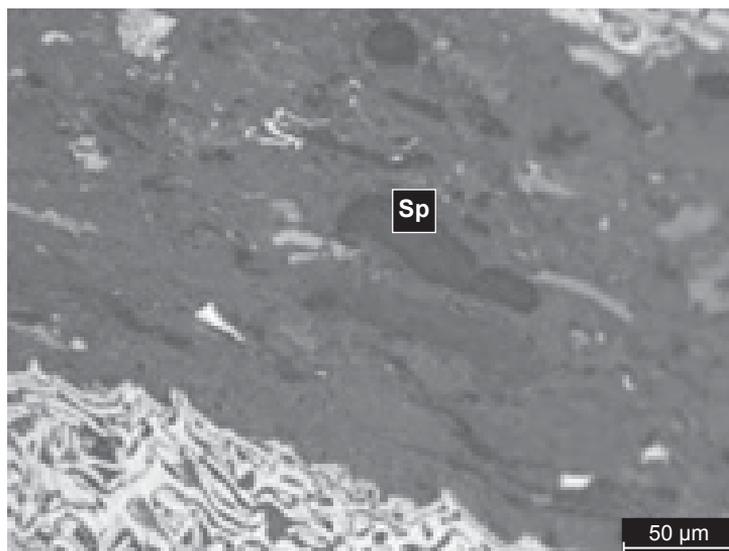
a)

Barrancas, Guajira. Formación Cerrejón (Paleoceno Tardío)
Ambiente Paráfico



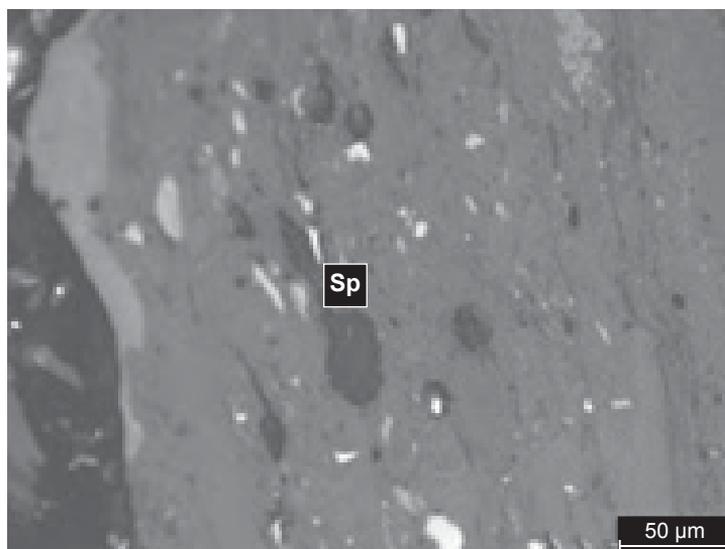
b)

Sogamoso, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Paráfico



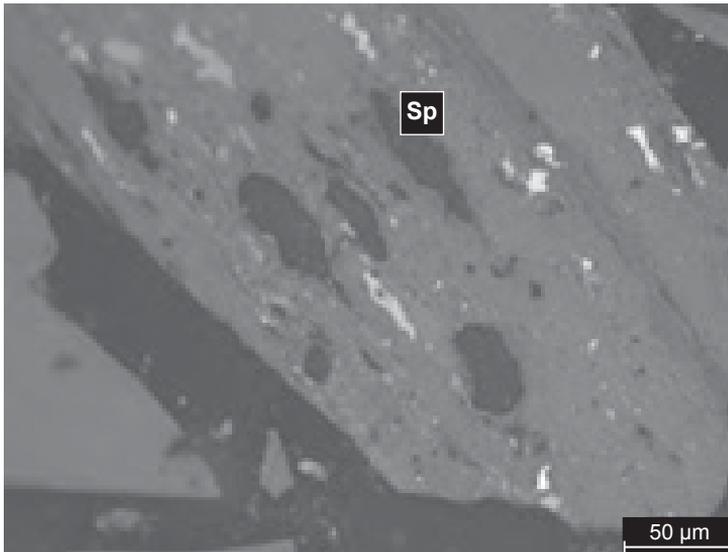
c)

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Paráfico



d)

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



e)

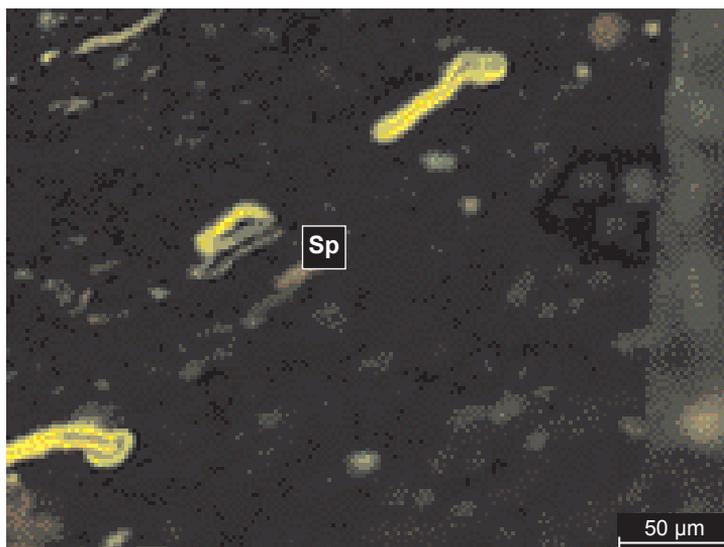
Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior–Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriiformes



f)

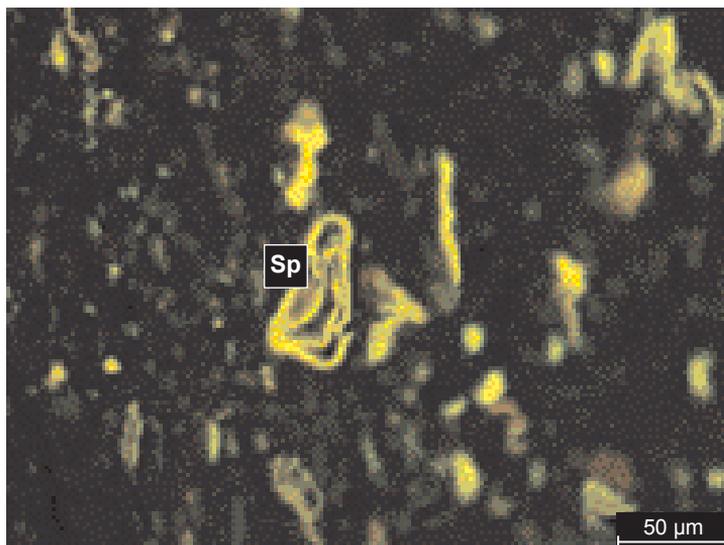
Figura 2. 14 Fotomicrografías de macerales bajo luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: a), b) Microesporinita (Tenuiesporinita) paredes delgadas filiformes de color gris oscuro, c) – f) Megaesporinita, (Crasiesporinita) se observan como cuerpos elongados filiformes gruesos de color gris y pardo oscuro a negro en luz blanca.

Aranzazu, Caldas. Formación Volcanoclástica de Aranzazu (Terciario Plioceno Tardío- Pleistoceno) Ambiente fluvial de ríos meandriiformes



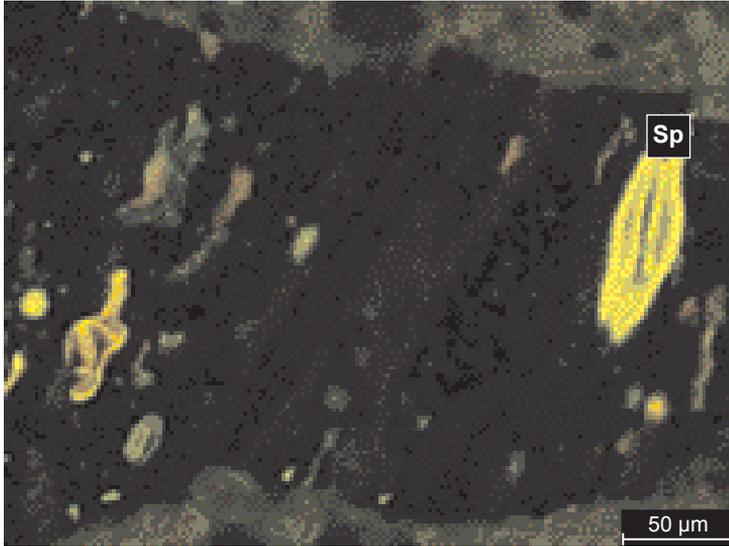
a)

Aranzazu, Caldas. Formación Volcanoclástica de Aranzazu (Terciario Plioceno Tardío- Pleistoceno) Ambiente fluvial de ríos meandriiformes



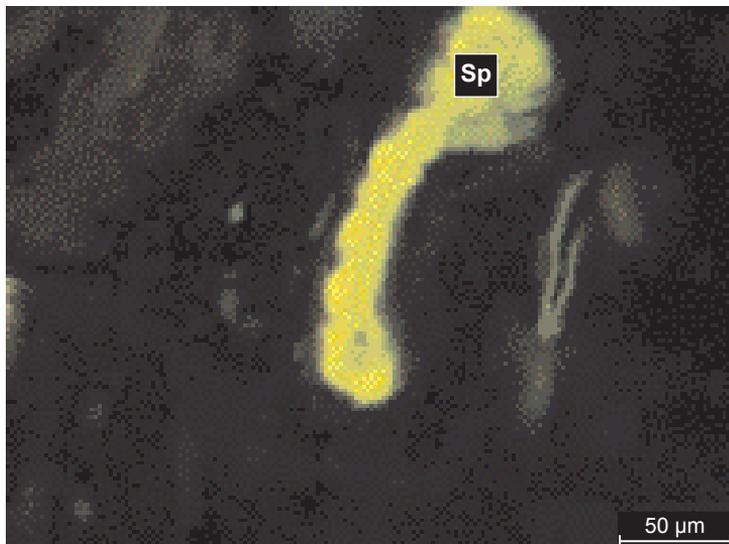
b)

Chivatá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



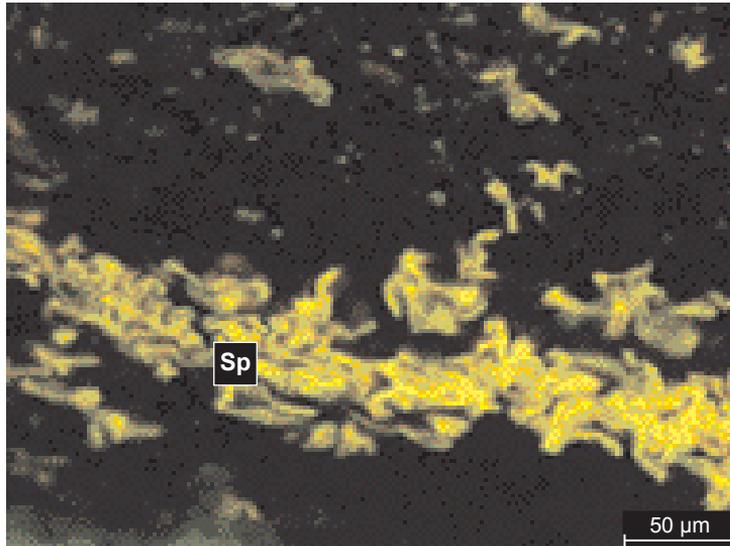
c)

Aranzazu, Caldas. Formación Volcanoclástica de Aranzazu (Terciario Plioceno
Tardío- Pleistoceno) Ambiente fluvial de ríos meandriformes



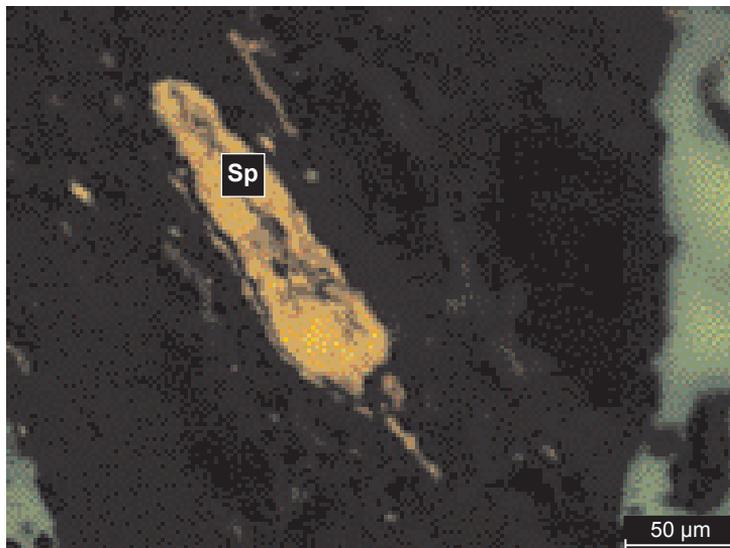
d)

Sogamoso, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



e)

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



f)

Figura 2. 15 Fotomicrografías de macerales bajo luz azul, superficie pulida, 500X: a) - f): Microesporinita y Megaesporinita (Sp) se observa como cuerpos filiformes, fuerte relieve y color amarillo, naranja - pardo y pardo.

- **Cutinita.** Este término fue introducido por Stopes en 1935 (ICCP, 1963), para un maceral del grupo de la liptinita que proviene de las cutículas de hojas y tallos, los cuales son formados en las paredes externas de la epidermis de hojas, tallos y de otras partes de las hojas.

Propiedades físicas. Las cutinitas aparecen en forma de bandas más o menos estrechas (Figura 2.16); pueden presentarse con bordes que a menudo son aserrados (Figuras 2.16 a, c y d). El color varía con el rango, pardo en carbones de bajo rango, gris oscuro a negro, un poco menos que la esporinita; cuando se incrementa el rango, su color varía hasta confundirse con la vitrinita.

Dureza. Blanda.

Fluorescencia. Varía ampliamente según su rango. En rango fuerte es de color amarillo; en carbones de bajo rango, naranja a pardo (Figura 2.17); con el incremento del rango presenta esta variación.

Propiedades químicas. Kolattukudy (1980, Taylor et al., 1998) encontró que la cutina es un biopolíester compuesto de hidróxido y ácidos grasos epóxicos.

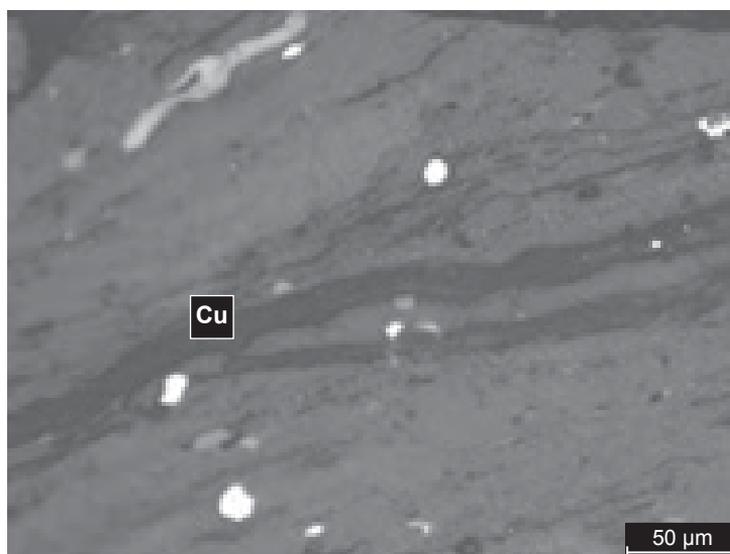
Origen. Formada a partir de cutículas y capas cuticulares de plantas, dentro de las paredes externas de la epidermis de hojas, tallos y otras partes de las plantas. Consiste en celulosa, cutinas, ceras y pectinas. Es resistente al agua. Kolattukudy, (1980, citado por Taylor et al., 1998) encontró que este componente es rico en un biopolíester y en ácido graso.

Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriiformes



a)

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parállico



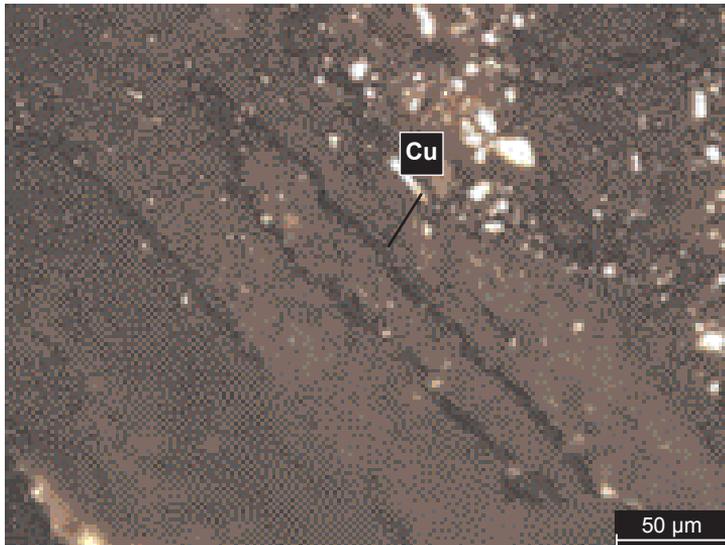
b)

Chivatá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



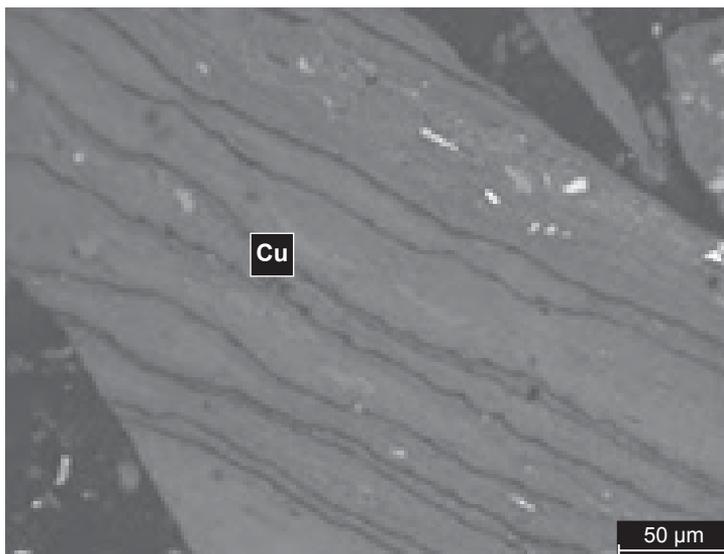
c)

Aranzazu, Caldas. Formación Volcanoclástica de Aranzazu (Terciario Plioceno
Tardío- Pleistoceno) Ambiente fluvial de ríos meandriiformes



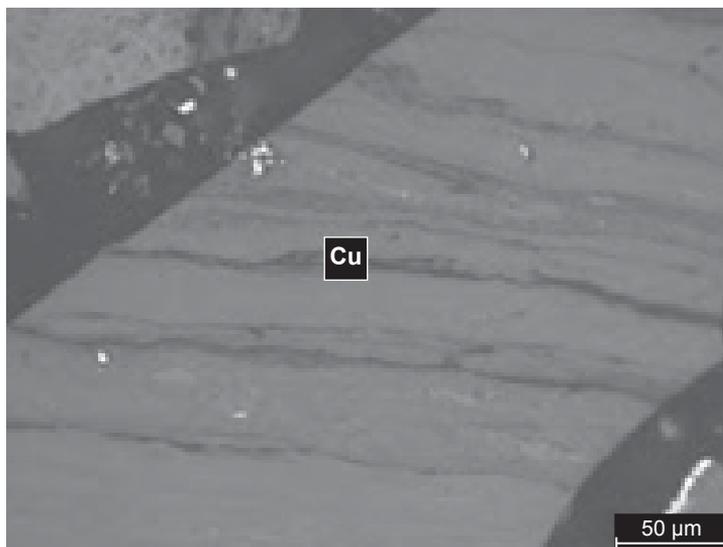
d)

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Paráfico



e)

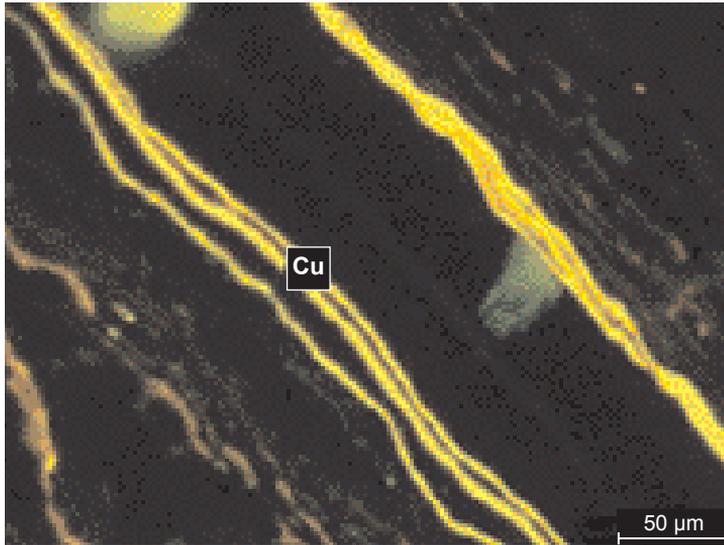
Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Paráfico



f)

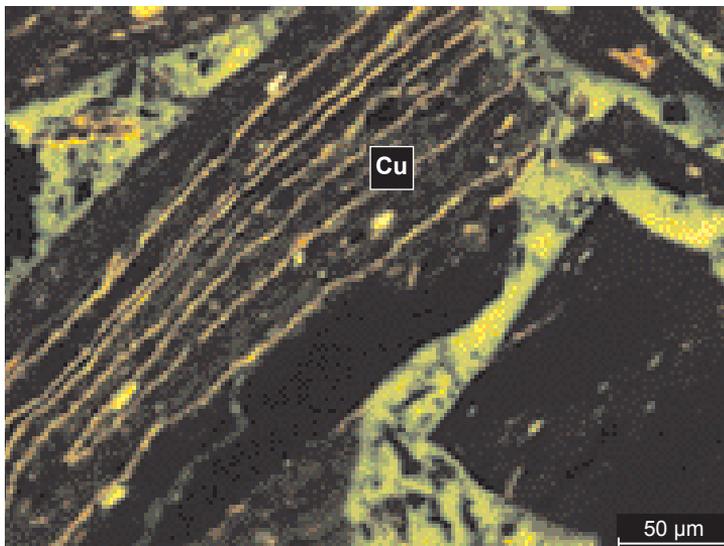
Figura 2. 16 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X:(a -f): Cutinita se observan sus dos variedades, Tenuicutinitas (a, c, e y f) y Crassicutinita (b) como cuerpos filiformes de color gris y pardo oscuro a negro en luz blanca, relieve fuerte; (a y c) se puede ver su típica forma serrada (bordes cuticulares).

La Loma, Cesar. Formación Los Cuervos (Paleoceno - Eoceno temprano)
Ambiente Parálítico



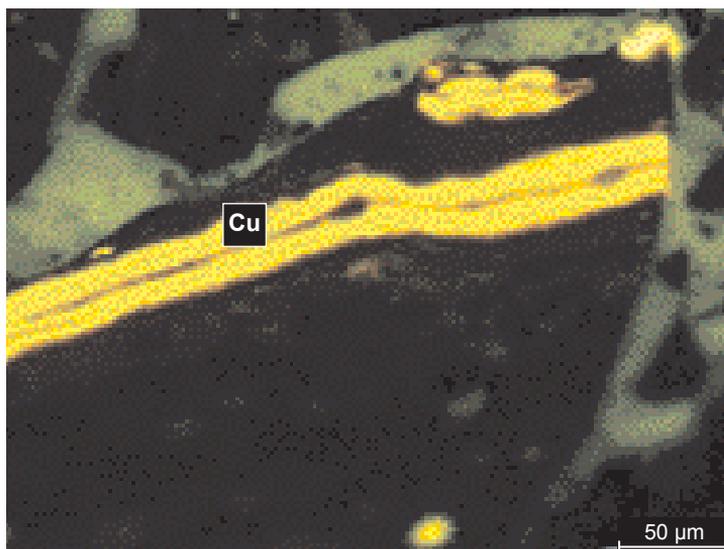
a)

Sogamoso, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálítico



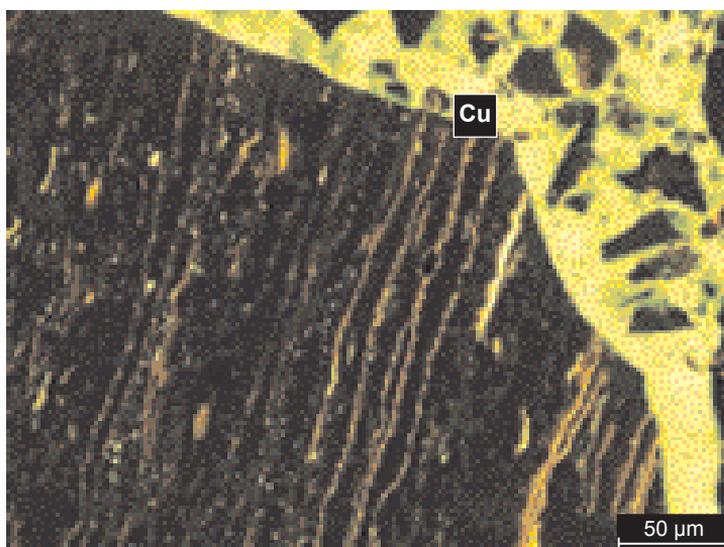
b)

Sogamoso, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



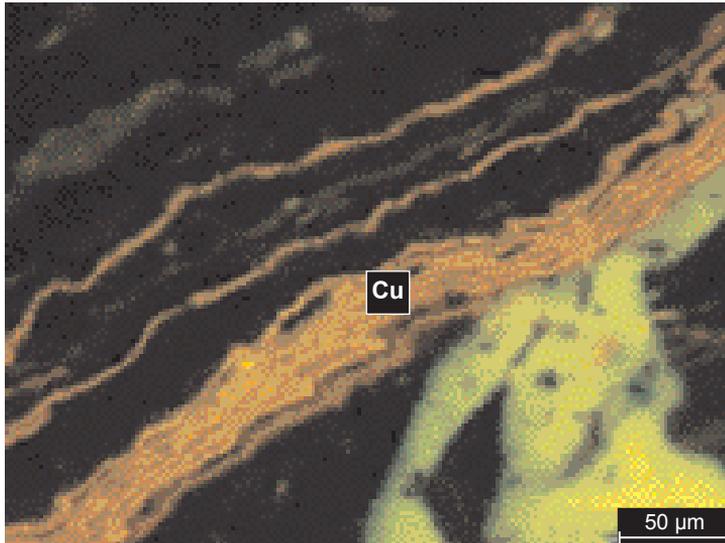
c)

Tunja, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



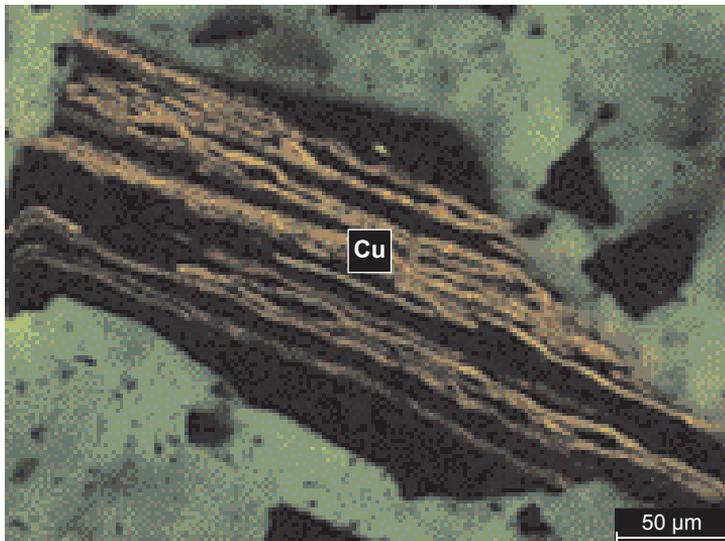
d)

Tunja, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



e)

Alta Guajira. Formación Cerrejón (Paleoceno Tardío)
Ambiente Parálico



f)

Figura 2. 17 Fotomicrografías de macerales, microlitotipos y minerales en luz azul superficie pulida; 500X: (a -f): Cutinitas se observan sus dos variedades, Tenuicutinitas (a, b, d y f) y Crassicutinitas (c y e) como cuerpos filiformes de color amarillo y naranja, algunas veces deformadas, relieve fuerte.

- **Resinita.** Este término fue introducido por Stopes en 1935 (ICCP, 1963), para un maceral del grupo de la liptinita que proviene de las resinas. Muchas resinitas se encuentran relleno de cavidades o en cuerpos aislados con formas y tamaños variados, ovaladas o redondas. Las resinitas se caracterizan por tener diferentes orígenes, pero principalmente provienen de resinas y grasas, aunque también pueden proceder de bálsamos, látex, aceites y grasas.

Propiedades físicas. Color negro a gris (Figura 2.18 a - d). Reflectancia baja, se incrementa en carbones de alto rango.

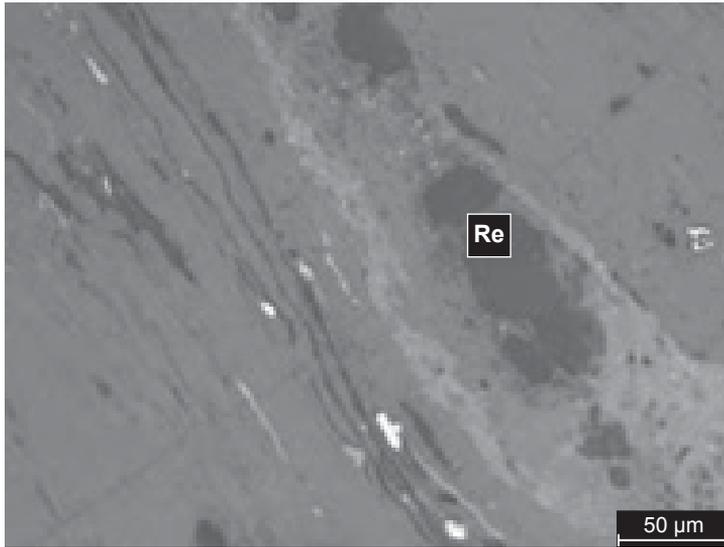
Fluorescencia. Presenta fluorescencia amarilla a naranja (Figura 2.18 e y f) y rojiza, esta propiedad disminuye con el rango del carbón.

Dureza. No se conoce.

Propiedades químicas. Las resinas, principalmente las que provienen de aceites; los bálsamos, que pertenecen a los terpenos; las grasas y ceras extraídos de lípidos. Esta característica de tener varios orígenes determina la variedad de formas, colores, reflectancia y fluorescencia.

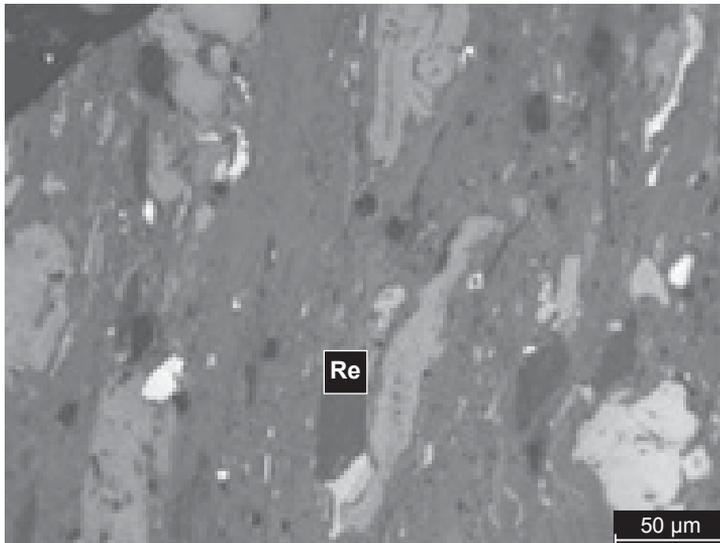
Origen. Las resinitas provienen de las secreciones de plantas y se encuentran en coníferas.

Cucaita, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



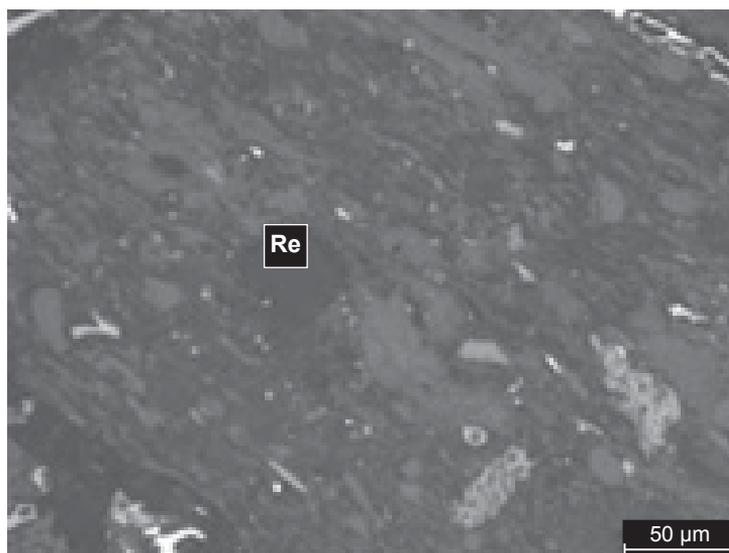
a)

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



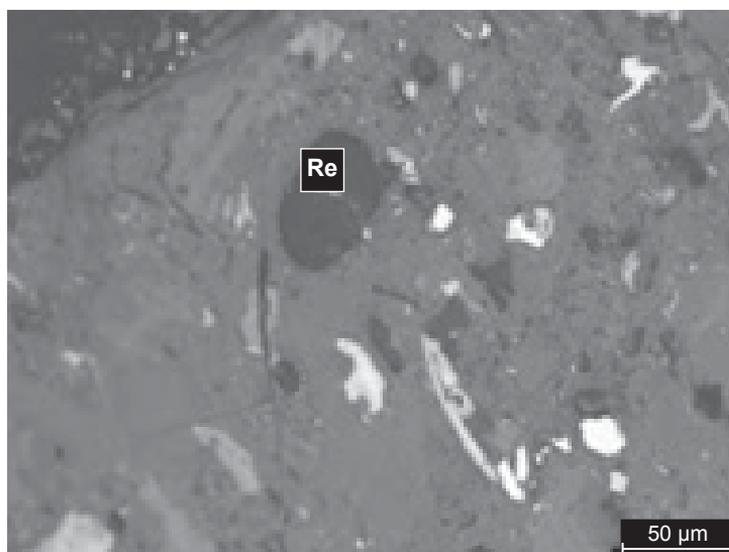
b)

Chivatá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Paráfico



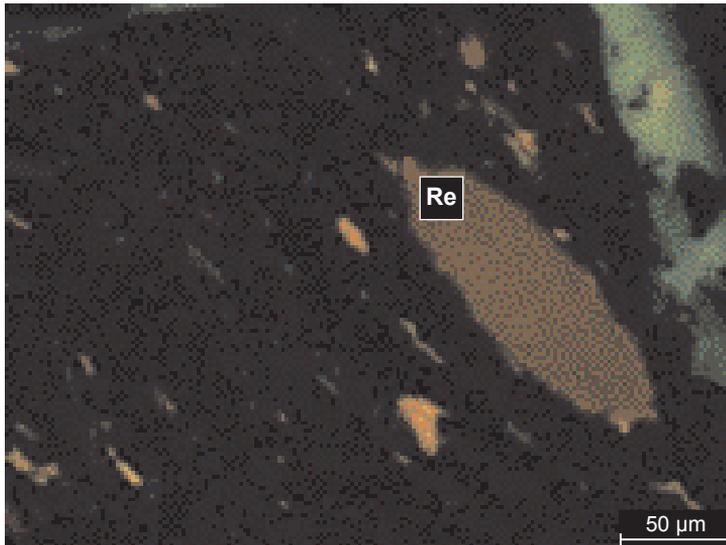
c)

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Paráfico



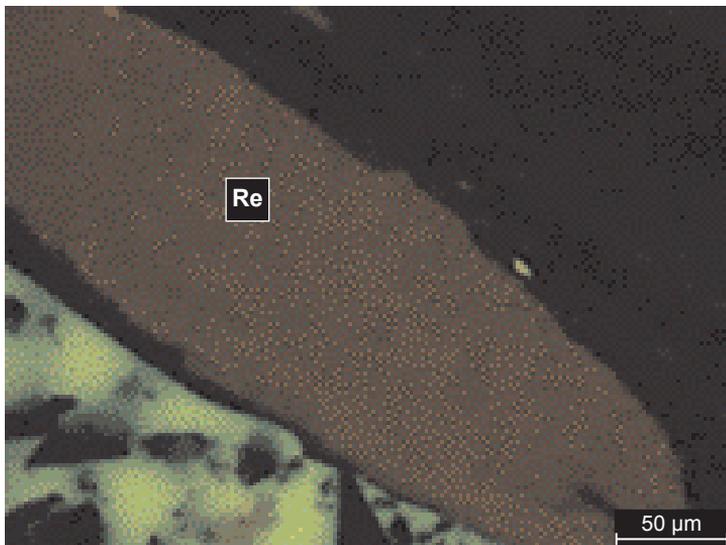
d)

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálítico



e)

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálítico



f)

Figura 2. 18 Fotomicrografías de macerales bajo luz azul superficie pulida; 500X: (a -f): Resinita (Re) se presenta de forma circular a elíptica, con tamaños variables dependiendo de la dimensión de las cavidades celulares que se encuentra rellenando; se observa como cuerpos aislados; bajo luz blanca reflejada su color es negro a gris oscuro y en fluorescencia muestra un color amarillo a naranja o pardo amarillento y un relieve fuerte.

- **Fluorinita.** Teichmüller (1974, citado por Taylor et al., 1998) introduce este término para denominar a un maceral del grupo de la liptinita que no puede ser fácilmente reconocido en luz blanca de otros componentes presentes en el carbón, como por ejemplo los minerales. La fluorinita comúnmente se encuentra asociada a la cutinita y dentro de restos de hojas de vegetación antigua, su precursor es considerado aceite esencial. Por ejemplo, se la ha encontrado en carbones pardos blandos del Terciario de restos de hojas de *Myricas*. Este maceral es considerado como una variedad de la resinita.

Propiedades físicas. Este maceral se caracteriza por su forma granular, tamaño grueso, reflectancia baja de color gris oscuro (Figura 2.19 a y c).

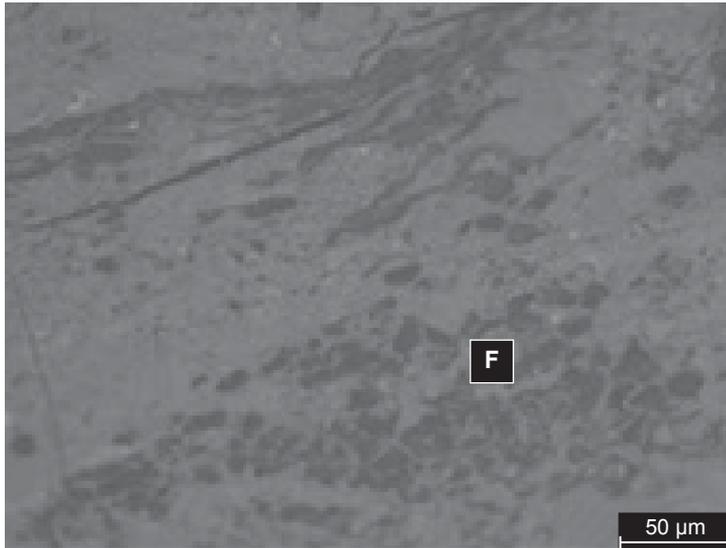
Dureza. Blanda.

Fluorescencia. Presenta una fuerte fluorescencia de color amarillo a amarillo verdosa (Figura 2.19 b, d, e y f) en carbones de bajo rango.

Propiedades químicas. Sus características químicas no han sido estudiadas.

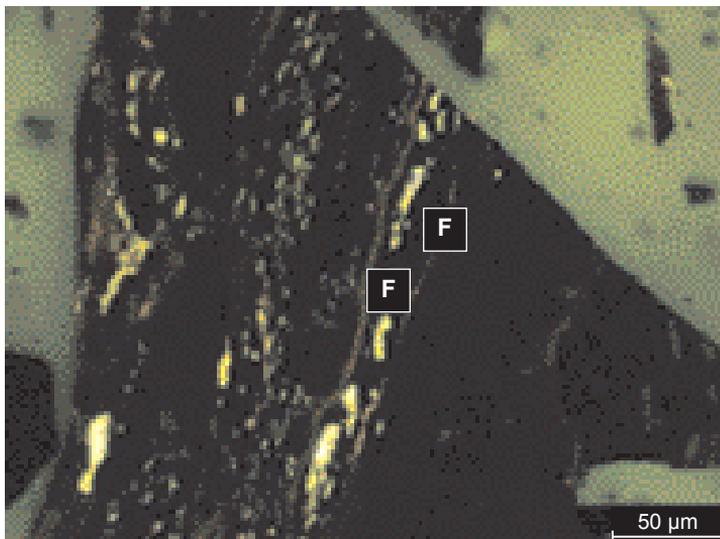
Origen. Se pueden encontrar en coníferas de edad Cretácica y en carbones pardos blandos Terciarios.

Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriiformes



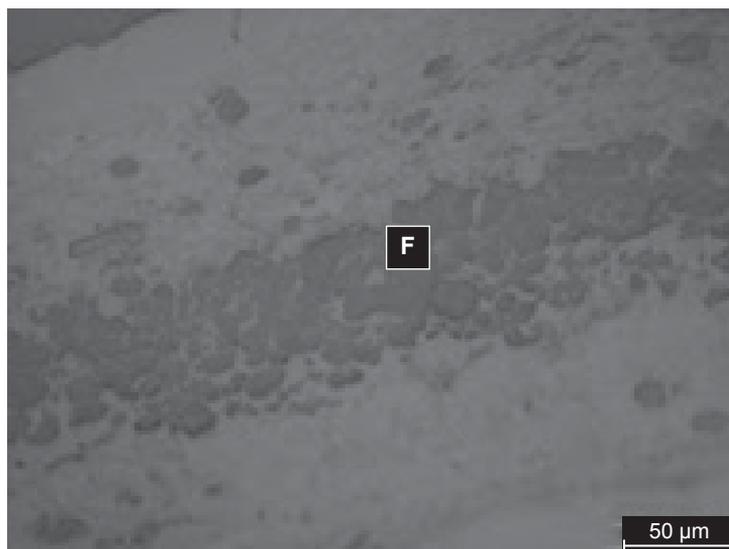
a)

Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriiformes



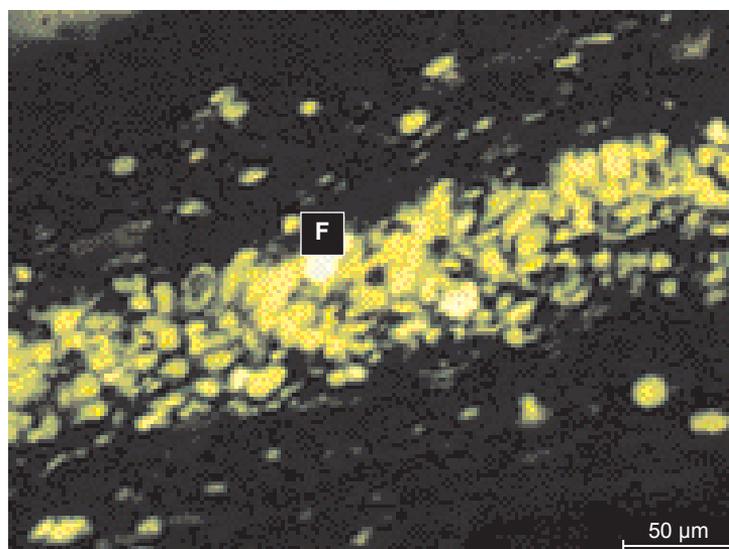
b)

La Loma, Cesar. Formación Los Cuervos (Paleoceno-Eoceno temprano)
Ambiente Paráfico



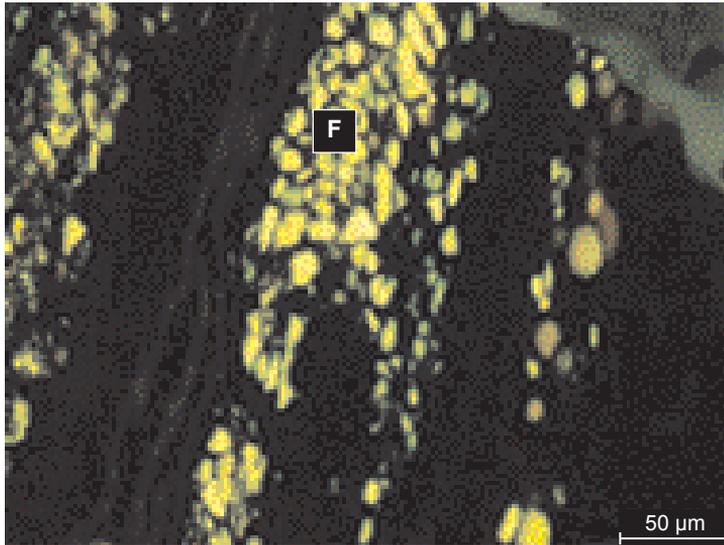
c)

La Loma, Cesar. Formación Los Cuervos (Paleoceno-Eoceno temprano)
Ambiente Paráfico



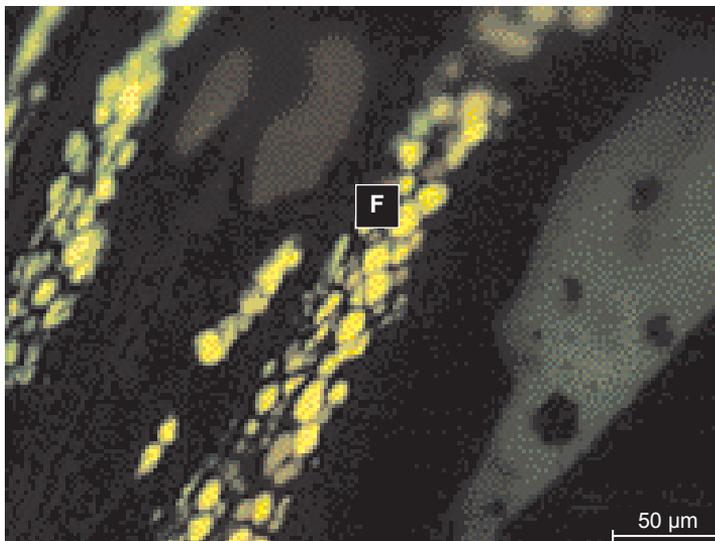
d)

Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriiformes



e)

Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriiformes



f)

Figura 2. 19 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a - f) Fluorinita (F) fragmento muy finos de color gris oscuro a negro (a) en luz fluorescente de color amarillo - amarillo verdoso fuerte, este maceral es una variedad de resinita.

- **Alginita.** El término fue introducido en 1953 por Hevia (ICCP, 1971) para designar los remanentes de algas. Este maceral se encuentra principalmente en carbones sapropélicos tipo *boghead*.

Propiedades físicas. Color negro a gris en luz blanca (Figura 2.20 a). Reflectancia baja, se incrementa en carbones de alto rango.

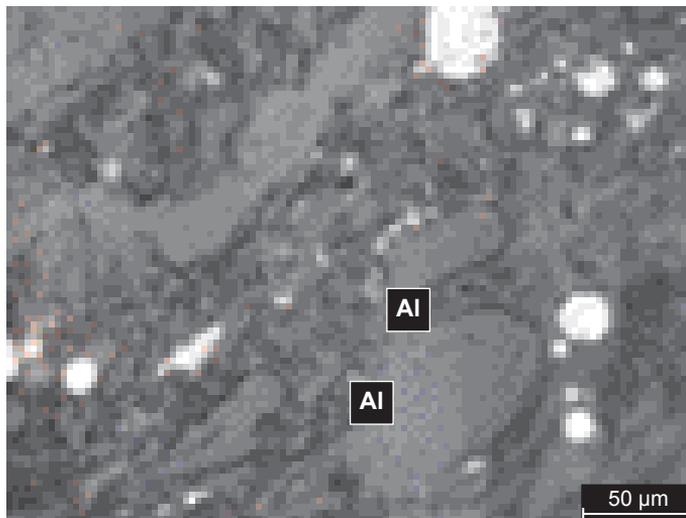
Fluorescencia. Presenta fuerte fluorescencia amarilla a naranja (Figura 2.20 b), disminuye con el rango del carbón.

Dureza. No se conoce.

Propiedades químicas. Las alginitas principalmente se distinguen por su alto contenido en grasas y sustancias proteínicas, las algas también contienen muchos ácidos olefínicos, presentan la menor aromaticidad de todos los macerales bituminosos (Taylor et al., 1998)

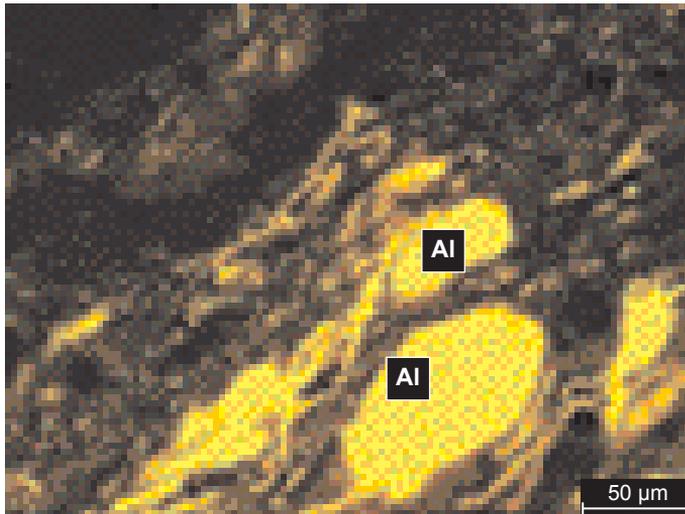
Origen. Este maceral proviene de las algas, se presenta en mantos de carbón sapropélico, que son raros. Dos formas son conocidas: pila y reinschia de carbones del Carbonífero.

Lebrija, Santander. Formación Los Cuervos (Paleoceno-Eoceno temprano)
Ambiente Parálico



a)

Lebrija, Santander. Formación Los Cuervos (Paleoceno-Eoceno temprano)
Ambiente Parálico



b)

Figura 2.20 Fotomicrografías de macerales bajo luz blanca reflejada, objetivo de aire, superficie pulida, $n=1.5$; 500X y luz azul: (a-b) Alginita (Al) son pequeños cuerpos redondeados, alto relieve de color gris oscuro. En (a) fotomicrografía con poco contraste debido a que el objetivo utilizado no es de inmersión, y fuerte fluorescencia de color amarillo en (b). **Fuente:** donación de la doctora Astrid Blandón Montes.

- **Suberinita.** El término suberinita fue introducido en 1935 por Stopes (ICCP, 1971) para denominar la parte de la peridermis carbonificada. En 1975, el ICCP (Taylor et al., 1998), designa con este término a un maceral del grupo de la liptinita que tiene su origen en paredes celulares suberizadas. Etimológicamente, *suber* (latín) significa corcho. En secciones pulidas, sus tejidos suberiniticos, particularmente tejidos de corcho, muestran una sucesión parecida a unos ladrillos (Figura 2.21 e y f) más o menos rectangulares o irregulares. Este maceral siempre ocurre con la flobafinita, la cual se encuentra dentro del tejido de corcho; cuando las células están vacías y son comprimidas, la suberinita se observa como una masa laminar, su tamaño es variado.

Propiedades físicas. La reflectancia de este maceral es baja, de color gris pardo en carbones de bajo rango y gris oscuro a negro en carbones de mayor rango.

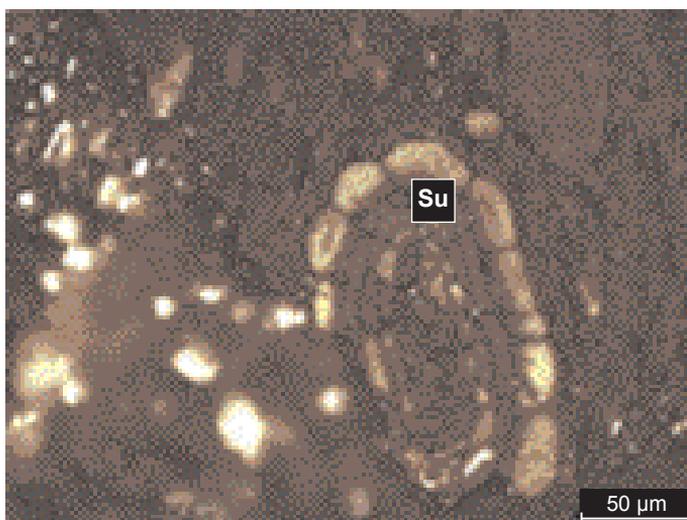
Dureza. Desconocida.

Fluorescencia. Verde amarillento, amarillo, naranja o pardo (Figura 2. 21 d, e, f y h), cambia con el grado de carbonificación.

Propiedades químicas. Se origina en los tejidos de corcho suberiniticos (Figura 2.21 a, b, c y h), formada a base de largas cadenas de ácidos grasos saturados o insaturados de alto peso molecular.

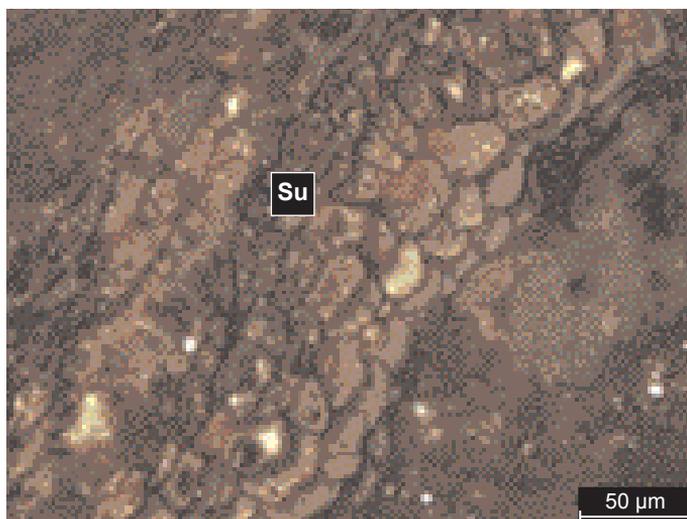
Origen. La suberinita se presenta principalmente en carbones terciarios comunes, derivados de turbas forestales. Es formada por la cavidad de un específico meristemo secundario, llamado corcho, que se desarrolla cerca de la periferia de la planta.

Aranzazu, Caldas



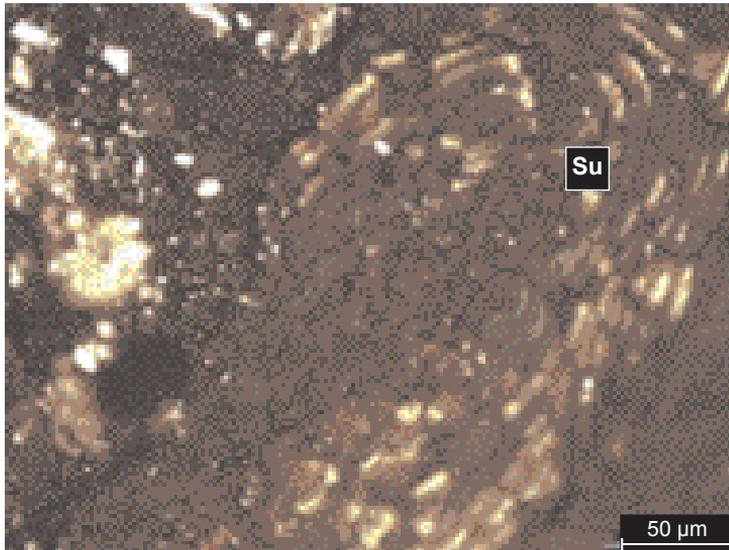
a)

Aranzazu, Caldas



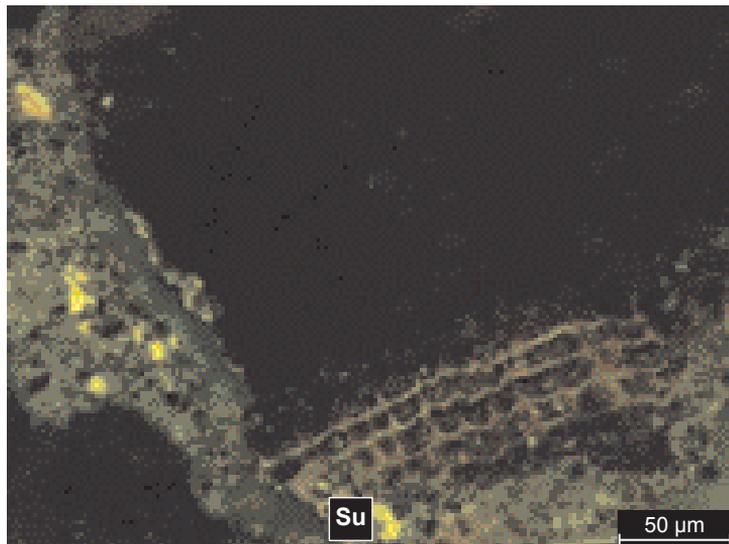
b)

Aranzazu, Caldas



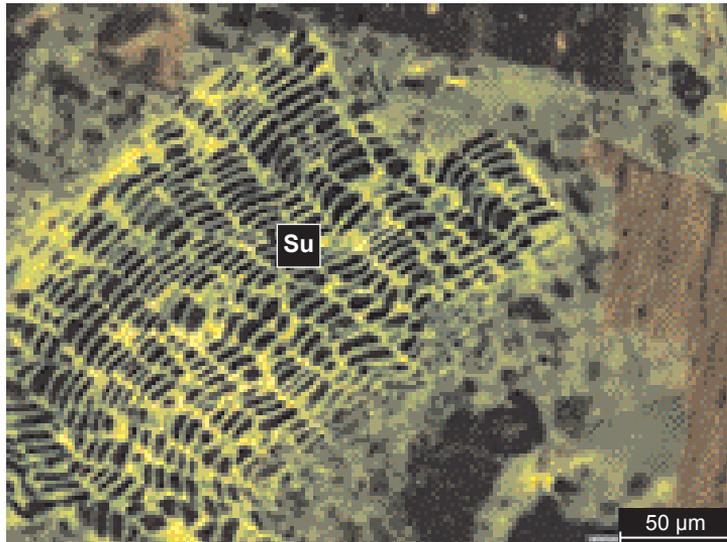
c)

Aranzazu, Caldas



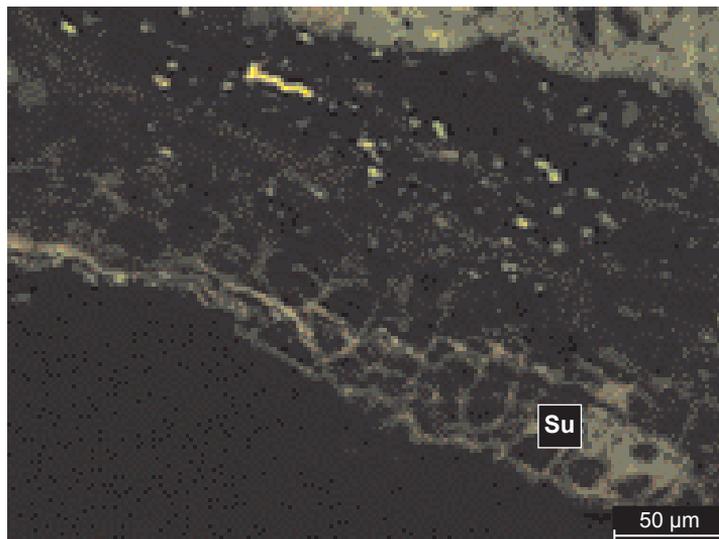
d)

Aranzazu, Caldas



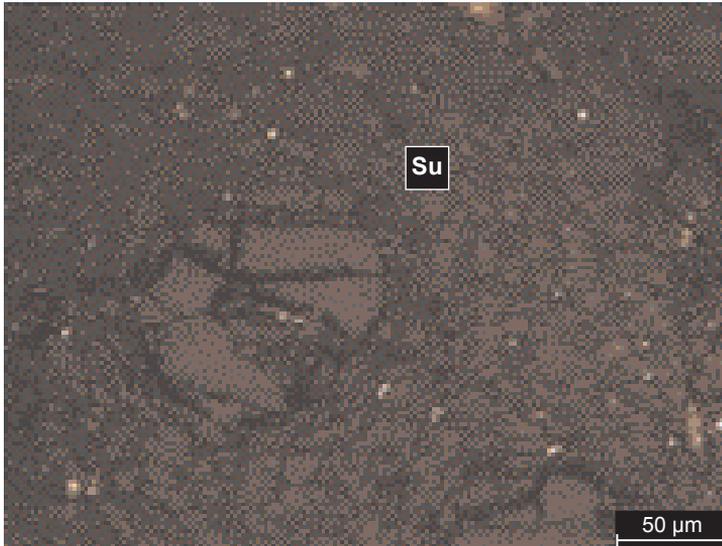
e)

Aranzazu, Caldas



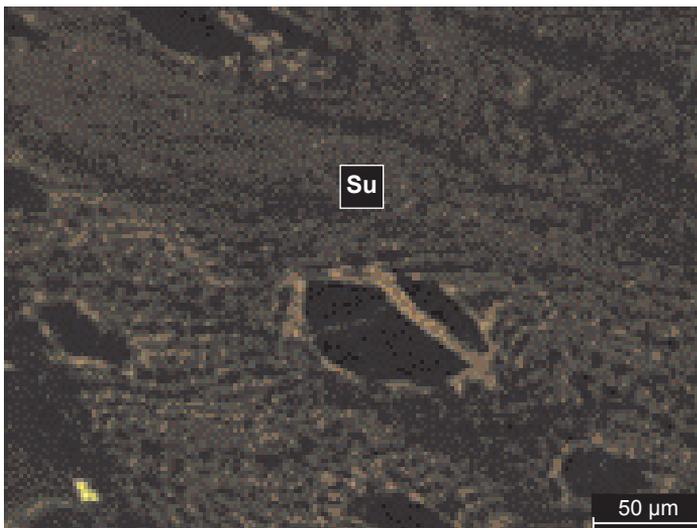
f)

Aranzazu, Caldas



g)

Aranzazu, Caldas



h)

Figura 2.21 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X y luz azul: (a-h) Suberinita (Su) considerada como el maceral característico de los carbones del Terciario, exhibe el típico tejido de corcho; se presenta generalmente en bandas y eventualmente en forma ovalada y plegada, sus lúmenes celulares normalmente se encuentran rellenos por flobafinita; en fluorescencia muestra color naranja a pardo y relieve suave. Formación volcanoclástica de Aranzazu, Caldas (Terciario Plioceno Tardío- Pleistoceno). Ambiente fluvial de ríos meandriformes.

- **Liptodetrinita.** Término introducido en 1970 (Taylor et al., 1998) por la nomenclatura de la Subcomisión de Petrografía del Carbón, para referirse a un maceral del grupo de la liptinita de tamaño muy fino, que no puede ser identificado con certeza de otro del grupo de la liptinita. Este maceral puede ser un fragmento relicto de una esporinita, cutinita, resinita, suberinita o alginita; sin embargo, su tamaño no permite establecer el maceral original del cual proviene. Su tamaño y forma son variados.

Propiedades físicas. Las propiedades de la liptodetrinita varían debido a su gran variedad de precursores. Su reflectancia es baja, de color gris o pardo oscuro (Figura 2.22 a).

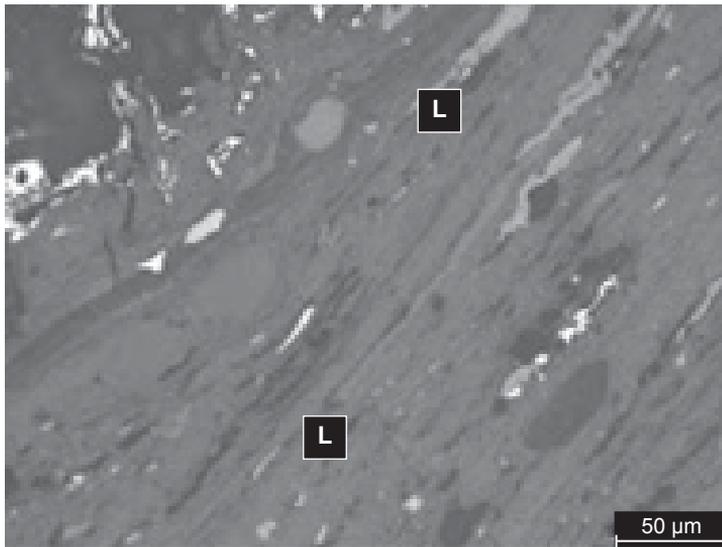
Dureza. Mayor que huminita.

Fluorescencia. Amarilla, naranja o rojiza (Figura 2.22 b), dependiendo del maceral del que provenga y del rango.

Propiedades químicas. Sus características químicas no han sido estudiadas, pero debido a que pueden provenir de esporinita, cutinita, resinita, suberinita o alginita, este maceral tiene gran contenido de hidrógeno y materia volátil.

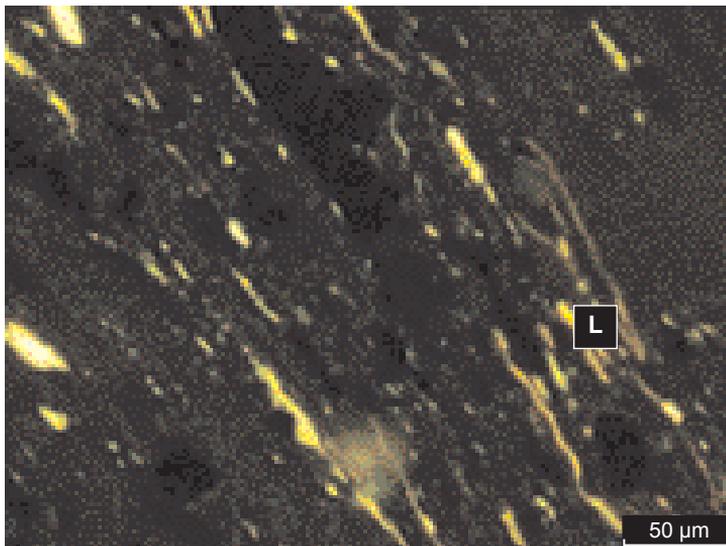
Origen. Parte de la liptodetrinita consiste en esporas, polen, cutículas, resinas, ceras, algas, que han sufrido desintegración mecánica o fracturación después de la descomposición química microbiológica.

Cucaita, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



a)

Chivatá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



b)

Figura 2.22. Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X y luz azul: (a-b) Liptodetrinita (L) son pequeños fragmentos finos alargados de color pardo oscuro a negro en luz blanca; este fragmento liptinitico muestra en fluorescencia colores amarillos brillantes similares al de las cutinitas.

- **Bituminita.** Este maceral del grupo de la liptinita fue introducido por Teichmüller en 1974 (Taylor et al., 1998); posteriormente, el ICCP, en 1985 y 1993, lo utilizó para carbones pardos blandos y otras rocas sedimentarias. Cuando este maceral se presenta en carbones subbituminosos y bituminosos de bajo rango se asocia a menudo con la micrinita; en carbones de alto rango está ausente, ya que es transformado parcialmente en una sustancia que se asemeja al petróleo y es adsorbido por otros macerales y minerales (Taylor et al., 1998).

Propiedades físicas. Este maceral se caracteriza por su falta de forma y estructura y por presentar baja reflectancia (Figura 2.23 a).

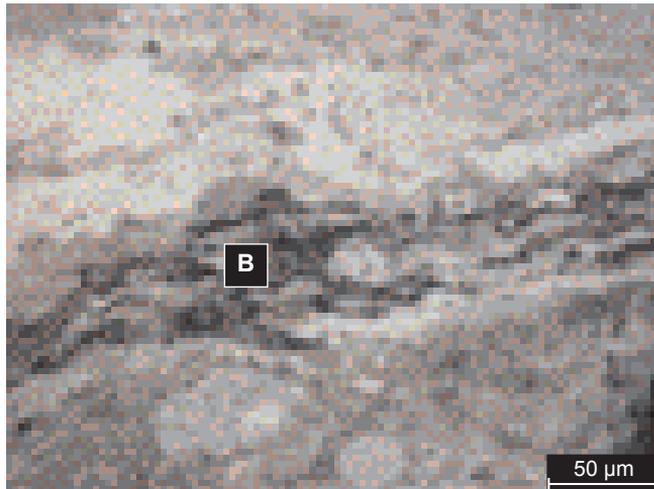
Dureza. Muy blando.

Fluorescencia. De color pardo claro, amarillo (Figura 2.23 b) o inexistente.

Propiedades químicas. Sus características químicas no han sido estudiadas, su forma sugiere que el origen está relacionado probablemente con algas.

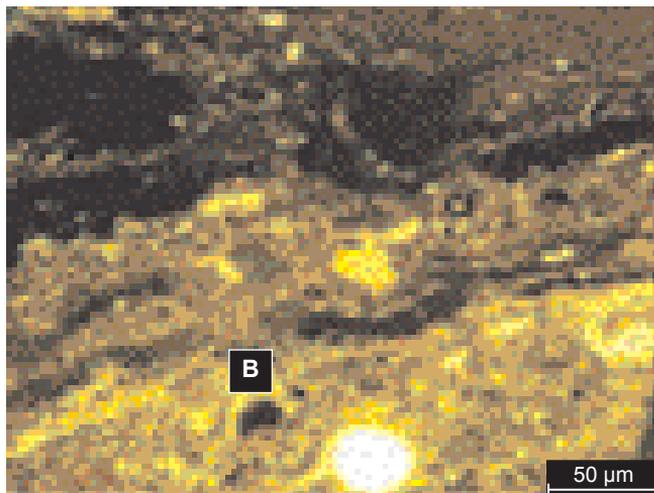
Origen. Se origina probablemente de la descomposición bacteriana de algas y plancton. Cuando se presenta en porcentajes mayores al 10 %, indica un alto potencial de roca fuente de hidrocarburo.

Amagá, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriformes



a)

Amagá, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriformes



b)

Figura 2.23 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, objetivo de aire, $n=1.5$; 500X y luz azul: (a-b) Bituminita (B) matriz de color café grisáceo embebida en vitrinita (a), nótese poco contraste debido al objetivo de aires utilizado y de color fluorescente (b) sin forma ni estructura. **Fuente:** donación de Blandón, M.A.

- **Exudatinita.** Este maceral, al igual que la bituminita y la fluorinita, fue reconocido posteriormente con el uso de luz fluorescente, por Teichmüller en 1974 (Taylor et al., 1998). Es de origen secundario, generado durante el proceso de carbonificación al inicio de la bituminización, cuando los materiales lipoides presentes en vitrinitas y liptinitas se transforman en sustancias similares al petróleo.

Propiedades físicas. Este maceral se caracteriza por su falta de forma y de estructura y por presentar baja reflectancia, normalmente se encuentra rellenando cavidades como lúmenes de paredes celulares (Figura 2.24 a), grietas, fisuras, entre otros.

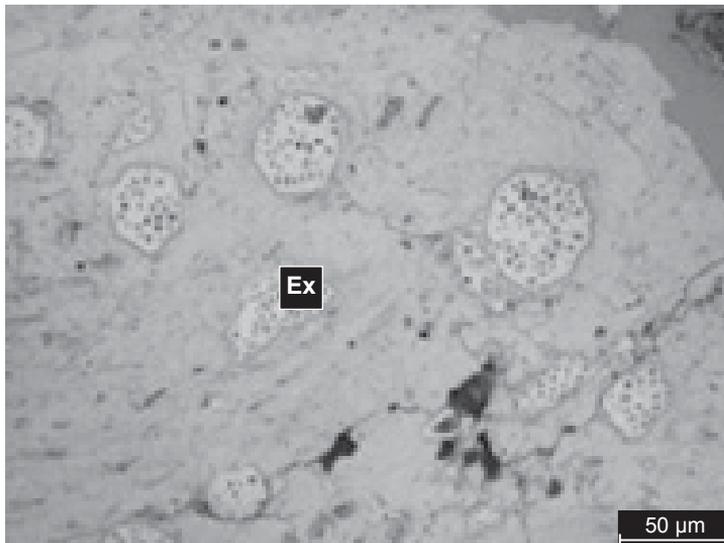
Dureza. Blanda.

Fluorescencia. Amarilla a pardo claro (Figura 2.24 b y c), varía con el rango, disminuye.

Propiedades químicas. Para Hunt (1979, Taylor et al., 1998), este maceral es un bitumen sólido, probablemente asfalto natural.

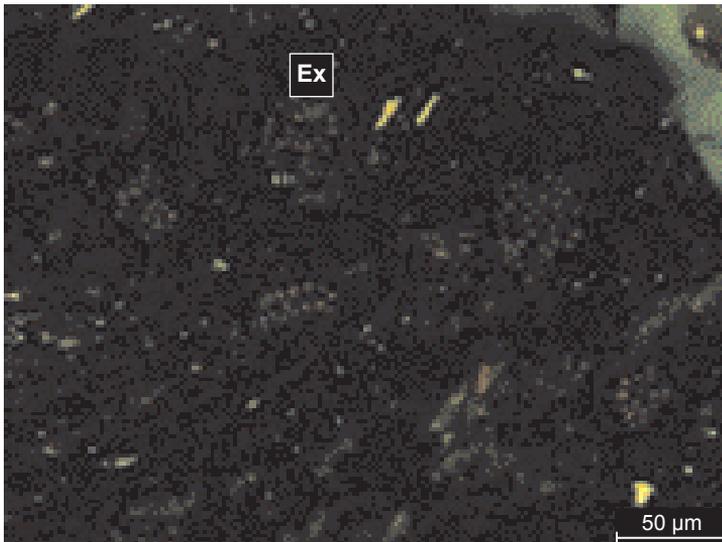
Origen. Se origina posiblemente de la transformación de materiales lipoides presentes en vitrinitas y liptinitas.

Venecia, Antioquia



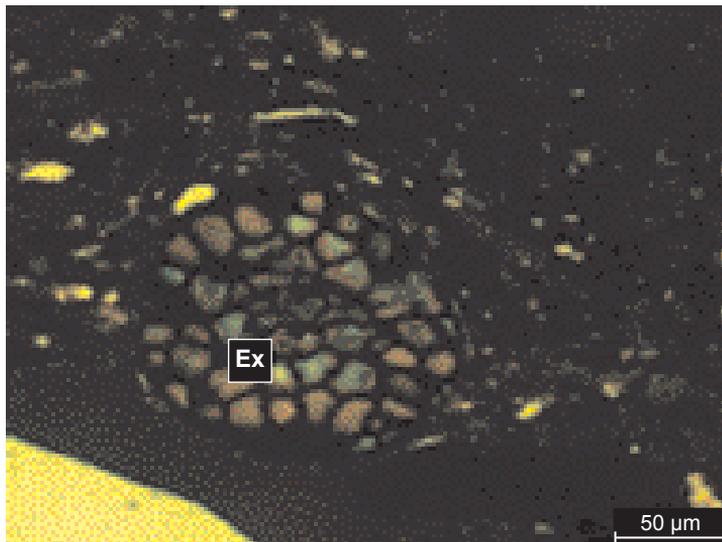
a)

Venecia, Antioquia



b)

Venecia, Antioquia



c)

Figura 2.24 Fotomicrografías de macerales, en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X y luz azul: (a) Exudatinita (Ex) de color gris oscuro relleno de cavidades de funginitas; (b y c) bajo luz fluorescente la exudatinita (Ex) se observa de color amarillo relleno de cavidades celulares (Funginita). Formación Amagá (Oligoceno Superior – Mioceno) Ambiente fluvial de ríos meandriformes

2.4 GRUPO MACERAL INERTINITA

El término inertinita se debe a que los constituyentes son más inertes que los de los grupos de la vitrinita y liptinita, particularmente en procesos de carbonificación; sin embargo, en los últimos años se ha logrado comprobar que no todos los macerales de este grupo son totalmente inertes ya que algunos contribuyen significativamente a la fusión del carbón (ICCP, 2001).

A diferencia de los macerales del grupo de la vitrinita, los de este grupo pueden ser definidos utilizando la misma nomenclatura durante todo el proceso de carbonificación, desde turba hasta meta antracita (Taylor et al., 1998).

Propiedades físicas. La inertinita es un grupo maceral que se caracteriza por presentar una reflectancia mayor en carbones de rango bajo y medio en comparación con los otros dos grupos del carbón; no obstante, el grupo de la vitrinita puede llegar a excederlo cuando se alcanza una reflectancia máxima cercana a 5 %. Los colores de este grupo maceral van desde gris, blanco grisáceo a amarillo blancuzco en los más altamente reflectantes (> 6 %). Los niveles de grises mostrados por los macerales de la inertinitas son más una expresión de las condiciones de depositación que del grado de carbonificación. La reflectancia depende primero de la composición química de sus diferentes componentes (ICCP, 2001).

Los intervalos de densidad para este grupo, según Cloke et al. (1997), se ubican entre 1.40 y 1.55 g cm⁻³.

Fluorescencia. Respecto a la fluorescencia, la inertinita también se caracteriza por una baja o ausencia total de esta propiedad. La forma y el grado de preservación de la estructura celular varían con el origen y con su historia posdeposicional (ICCP, 2001).

Propiedades químicas. En relación con los otros grupos de macerales, la inertinita se caracteriza por un alto contenido de carbono y un bajo contenido de hidrógeno y oxígeno (Van Krevelen, 1993, citado por ICCP, 2001). El contenido de carbono depende del origen del maceral específico o de los procesos de disecación u oxidorreducción que los macerales sufren durante la turbificación.

Origen. Su origen ha sido controversial, se cree que sus precursores químicos y botánicos son los mismos que originaron el grupo de la vitrinita –lignina y celulosa de los tejidos de las plantas–; sin embargo, estos constituyentes experimentaron una historia diferente, denominada fusinitización, lo cual se define como el proceso de producción de sustancias con alto contenido de carbono y bajo hidrógeno (ICCP, 2001).

A partir del estudio de estos componentes se han dado importantes debates en los últimos años (Scout, 1989, Jones et al., 1991; citados por Taylor et al., 1998) para tratar de comprender el papel que realiza el fuego sobre los tejidos de las plantas.

Scoutt (1989, citado por Scott, 2002) señala que el litotipo fuseno (rico en inertinita) de los carbones, probablemente representa el carbón de leña fósil formado por la quema de los tejidos de la planta durante incendios forestales.

Por otro lado, Jones et al. (1991, citados por Taylor et al., 1998) demuestran que el aumento de la temperatura causa un incremento en los resultados de la lecturas de reflectancia; mientras que otros estudios han propuesto que la diferencia de las características de este grupo maceral se debe a que los tejidos sufren ataque de fuego, ataque bacterial y desecación antes de su depositación o sobre la superficie de la turbaoxidación. Otra fuente de inertinita, reconocida por Taylor et al. (1998), son las paredes celulares de hongos y de sus productos de degradación.

La inertinita es común en muchos carbones, aunque algunos son muy pobres en este componente; una proporción alta puede promover la formación de polvo durante la minería (ICCP, 2001).

Durante la coquización, la inertinita reactiva depende de las características de los diferentes macerales y del rango. La heterogeneidad de los diferentes macerales, el tamaño de grano e intercrecimiento influyen sobre la reactividad (Rentel, 1987; Varma, 1996; citados por ICCP, 2001).

La baja reflectividad y fluorescencia la hace parcial o totalmente fusible durante la carbonificación, mientras la ausencia de fluorescencia la hace infusible (Diessel, 1987; Kruszewska, 1989; citados por ICCP, 2001). Por otra parte, la inertinita parcialmente fusible e infusible ayuda en las mezclas de carbón mejorando la coquización cuando son finamente dispersados (ICCP, 2001).

Un óptimo contenido de inertinita es benéfico en la obtención de un coque resistente y estable (ICCP, 2001). La resistencia mecánica del coque es también afectada por el tamaño de la inertinita en la mezcla. El coque generado a partir de carbones con alta proporción de inertinita da alto índice de reactividad (ICCP, 2001). Contrario a lo anterior, Shu et al. (2002; citados por ICCP, 2001) concluyen que un alto contenido de inertinita puede disminuir el poder de aglutinación de los carbones, generando una gran limitación en la utilización del carbón en el mercado del coque.

Los macerales que conforman este grupo se diferencian por su forma y color, e incluyen los macerales listados en la Tabla 2.4. El grupo comprende macerales de diverso origen,

un primer grupo contiene los macerales que presentan tejidos en varios estados de preservación (hongos y plantas superiores); un segundo grupo está conformado por fragmentos detríticos; el tercer grupo está representado por material amorfo, y un cuarto grupo presenta secreciones celulares alteradas por procesos de oxidorreducción y bioquímicos durante la turbificación.

Tabla 2.4 Subdivisión de los macerales del grupo de la inertinita

GRUPO MACERAL	MACERAL
INERTINITA	Fusinita
	Semifusinita
	Funginita
	Secretinita
	Macrinita
	Micrinita
	Inertodetrinita

Fuente: adaptada de ICCP (1994)

- **Fusinita.** El término fue introducido por Stopes (1935, citado por (ICCP, 1963), para un constituyente opaco del carbón, el cual conserva estructuras celulares. La fusinita presenta alta reflectancia, las paredes celulares se observan bien preservadas, al menos una cavidad celular de parénquima, esclerénquima, colénquima está presente.

Solamente las paredes celulares de tejidos con alta reflectancia son llamados y contados como fusinita. Estas paredes celulares son más delgadas que las de la humotelinita/ telovitrinita y semifusinita. Este maceral presenta tejidos bien preservados (parecido a un tamiz) o con fragmentos en forma de arco que crean tejidos celulares dependiendo de la fuente, el grado de destrucción microbiano y la orientación de la sección pulida. Las cavidades celulares pueden tener variedad de forma y tamaño, pueden estar vacías, rellenas con gelinita, exudatinita o materia mineral (por ejemplo, arcillas o piritita).

Propiedades físicas. Color blanco grisáceo o blanco amarillento (Figura 2.25). Reflectancia alta, usualmente sin birrefringencia, pero ocasionalmente puede presentarla en los bordes de las paredes.

Fluorescencia. No presenta fluorescencia.

Dureza. Usualmente alta, presenta relieve alto en secciones pulidas.

Propiedades químicas. La fusinita tiene altos contenidos de estructuras aromáticas condensadas y anillos hidroaromáticos, alto contenido en carbono y bajo contenido en hidrógeno, oxígeno y otros componentes volátiles.

Origen. Se origina de las paredes ligno-celulosas de paredes celulares. Algunas fusinitas, particularmente las que están presentes en horizontes de litotipo fuseno, se derivan de incendios forestales los cuales generan carbón vegetal fósil (pirofusinita) (ICCP, 2001). El ICCP propone que la fusinita pueda ser generada por la descarboxilación de tejidos de plantas con la ayuda de bacterias y hongos o la deshidratación/meteorización (degradofusinita). En contraste, Guo y Bustin (1998, citados por ICCP, 2001) consideran todas la fusinita como producto de la incompleta combustión.

- **Semifusinita.** El término es usado por primera vez por Jongmans et al., (1938; citados por ICCP, 2001) para referirse a un maceral intermedio entre la fusinita y la telinita. Es un maceral del grupo de la inertinita que presenta reflectancia intermedia, las cavidades celulares (lúmenes) están (parcialmente preservadas) vagas o parcialmente visibles (Figura 2.26). Los lúmenes varían de tamaño y forma. La semifusinita derivada de la madera está mejor preservada que la que proviene de la hoja. Al igual que la fusinita, la semifusinita puede presentar las cavidades vacías o rellenas por macerales y materia mineral.

Propiedades físicas. Color gris a blanco. Reflectancia entre la telohuminita/vitrinita y la fusinita del mismo carbón. La reflectancia de la semifusinita incrementa con el grado de deshidratación y oxidación de sus precursores antes y durante el estado de turba y con el rango, puede mostrar anisotropía.

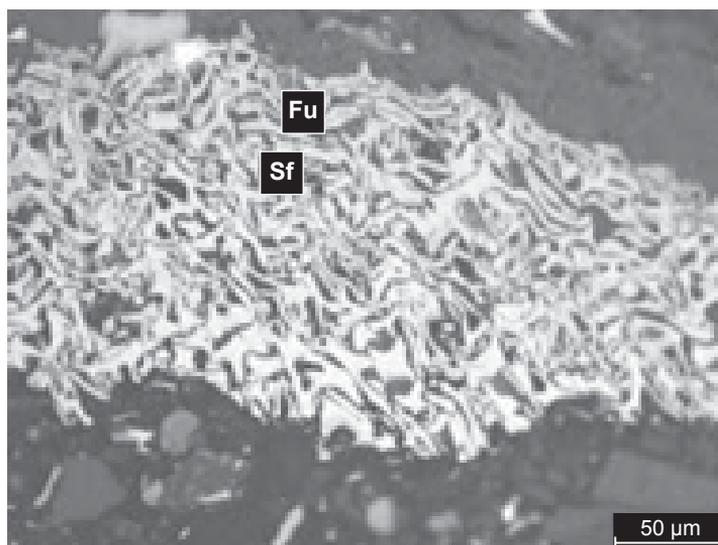
Fluorescencia. No presenta fluorescencia.

Dureza. De débil a fuerte, entre más alta reflectancia, más alto el relieve.

Propiedades químicas. Su composición química cambia con el rango, entre más alto sea el valor de la reflectancia, más bajo el contenido en hidrógeno y más alto en carbono.

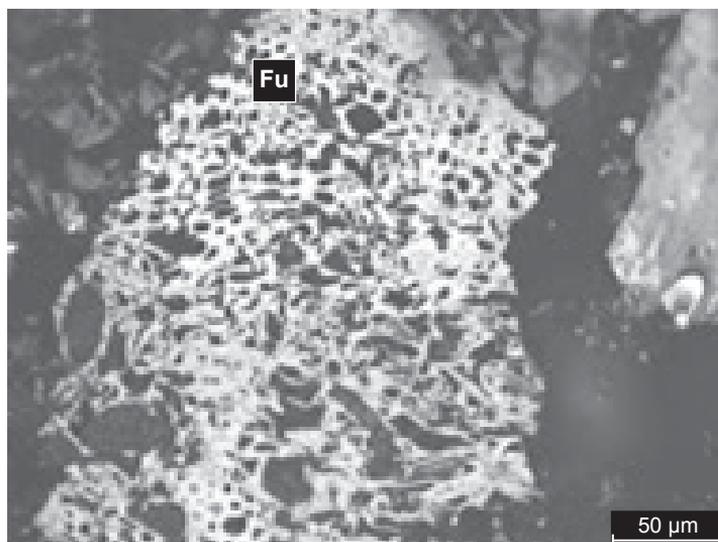
Origen. La semifusinita se deriva de la parenquimatosa y de tejidos de xilema de tallos, plantas herbáceas y hojas, los cuales están compuestos de celulosa y lignina. Esta es formada durante el estado de turba por una débil humificación, deshidratación y procesos de oxidorreducción. Además, el tipo del tejido y el grado de humificación determinan la preservación de la estructura celular. Los incendios forestales pueden generar este tipo de maceral.

Sogamoso, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Paráfico



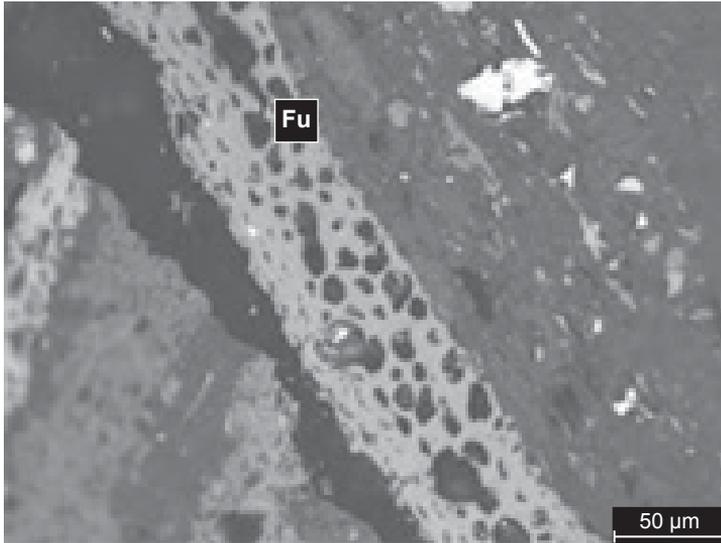
a)

Samacá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Paráfico



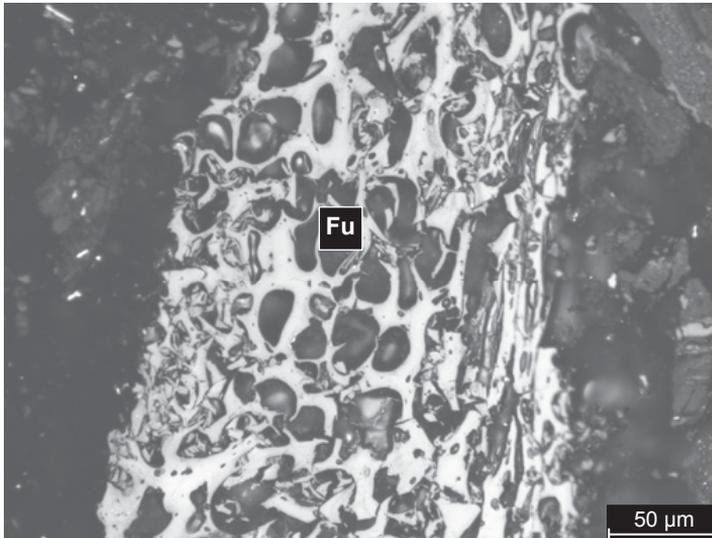
b)

Barrancas, Guajira. Formación Cerrejón (Paleoceno Tardío)
Ambiente Parálico



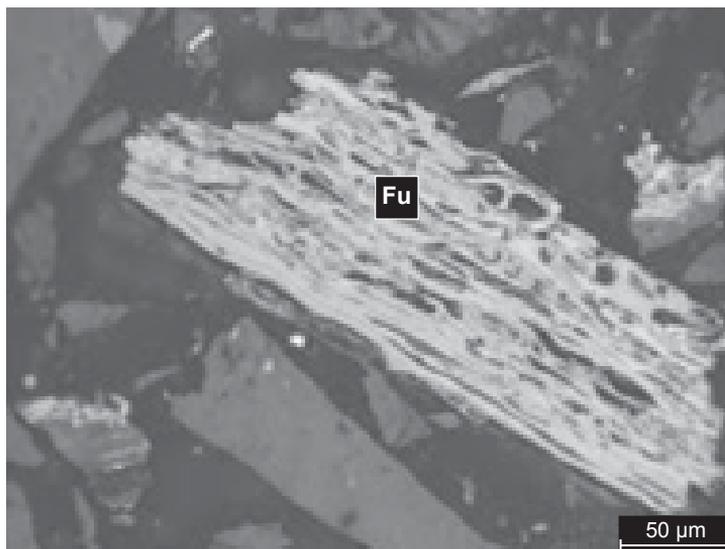
c)

Aranzazu, Caldas. Formación volcanoclástica de Aranzazu,
(Terciario Plioceno Tardío-Pleistoceno)



d)

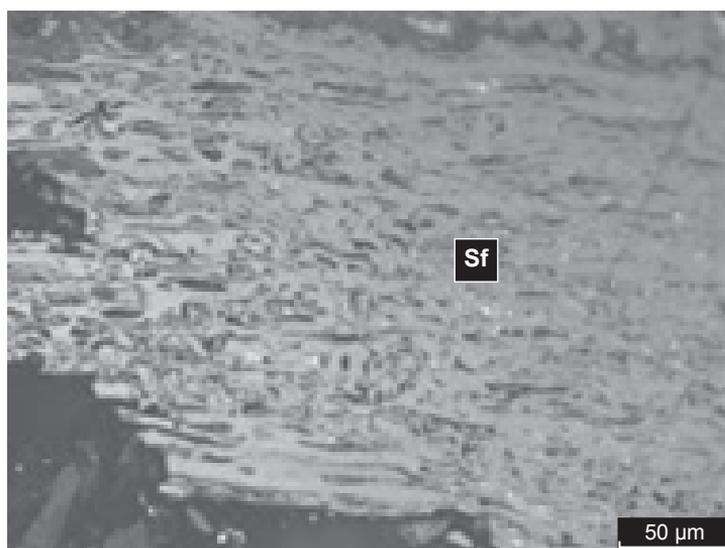
Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Paráfico



e)

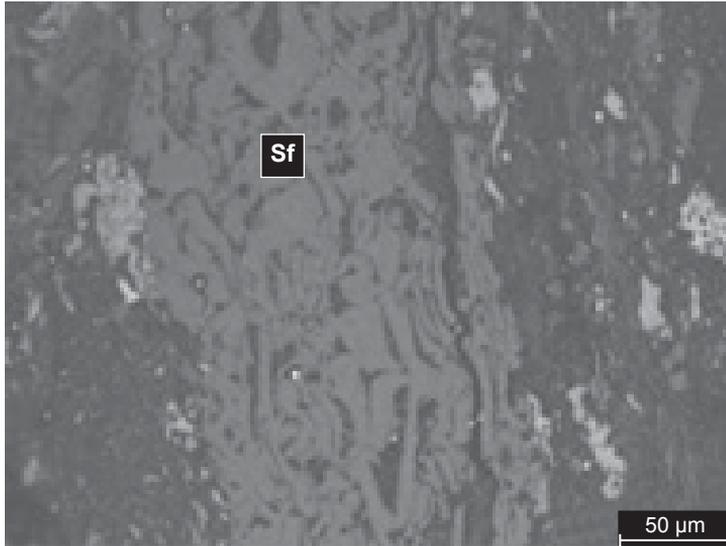
Figura 2.25 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a – e) Fusinita (Fu) Estructuras celulares preservadas, sus cavidades de diferentes formas (redondeadas, ovaladas o elongadas), tamaños variados, reflectancia y relieve alto.

Chivatá, Boyacá. Formación Guaduas
(Maestrichtiano Superior) Ambiente Paráfico



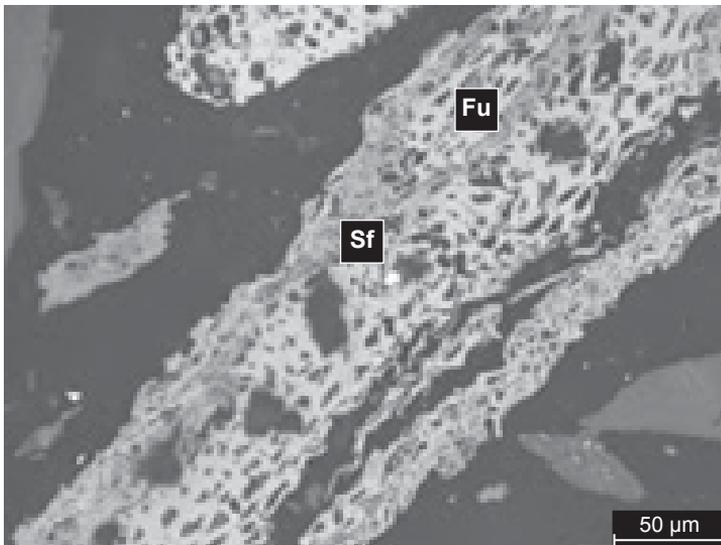
a)

Albania, Guajira. Formación Cerrejón (Paleoceno Tardío)
Ambiente Parálico



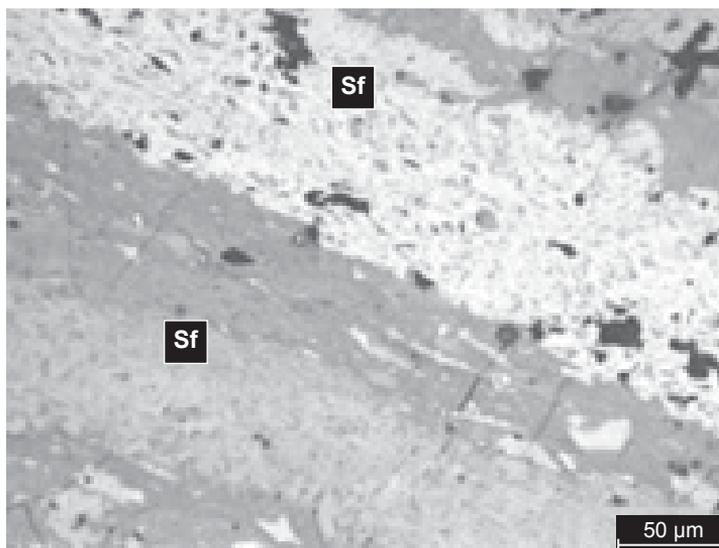
b)

Chivatá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



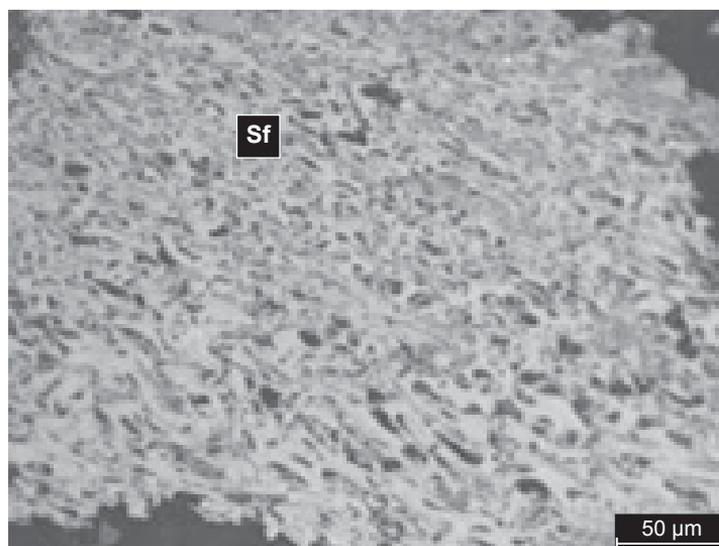
c)

Samacá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



d)

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



e)

Figura 2.26 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: a) - e) Semifusinita (Sf) Estructuras celulares poco o nada preservadas, sus cavidades de diferentes formas (cerradas total o parcialmente), tamaños variados, reflectancia (media a alta) y relieve de alto a bajo.

- **Funginita.** El término fue propuesto por Benes (1958) y retomado por ICCP en 1996 (ICCP, 2001) para los remanentes fungales en carbones y rocas sedimentarias.

La funginita es un maceral del grupo de la inertinita que consiste principalmente en una o múltiples celdillas de esporas fungales (Figura 2.27), esclerocios, hifas y micela (estromas) micorriza y otros remanentes fungales. Este maceral consta principalmente de formas redondeadas unicelulares o formas ovaladas multicelulares.

Dependiendo del número de celdas, es posible distinguir entre esporas de celdillas únicas, parejas y múltiples, fusiformes (teleutospores), y formas redondeadas multicelulares (esclerotia); la funginita también ocurre en forma tabular (hifas).

Los tamaños de las esporas de hongos pueden variar 10 a 30 micras y de la esclerotia y otros tejidos fungales entre 10 y 80 micras.

Propiedades físicas. Color gris pálido a blanco, rara vez blanco amarillento. Reflectancia más alta que la de la telohuminita, los valores oscilan entre 0.4 a 1 %, pueden ocurrir variaciones en un mismo manto de carbón.

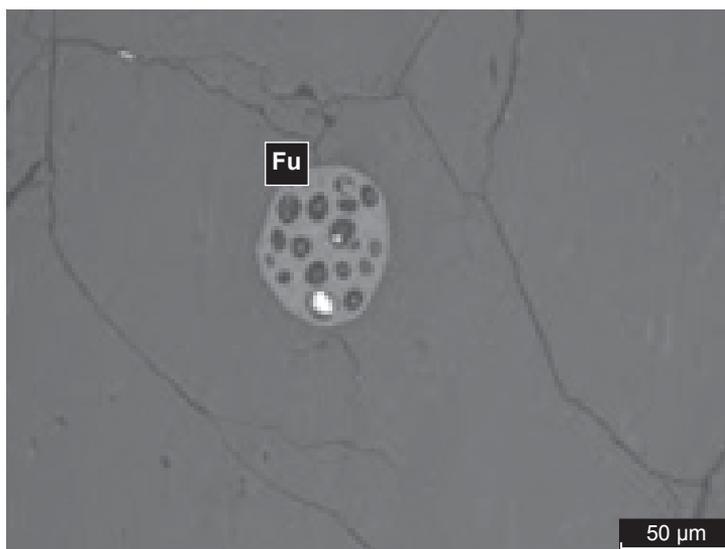
Fluorescencia. No presenta fluorescencia.

Dureza. Baja a moderada.

Propiedades químicas. La funginita está formada principalmente por quitina, polisacáridos nitrogenados insolubles en agua, ácidos y bases débiles; es insoluble y resistente a la degradación.

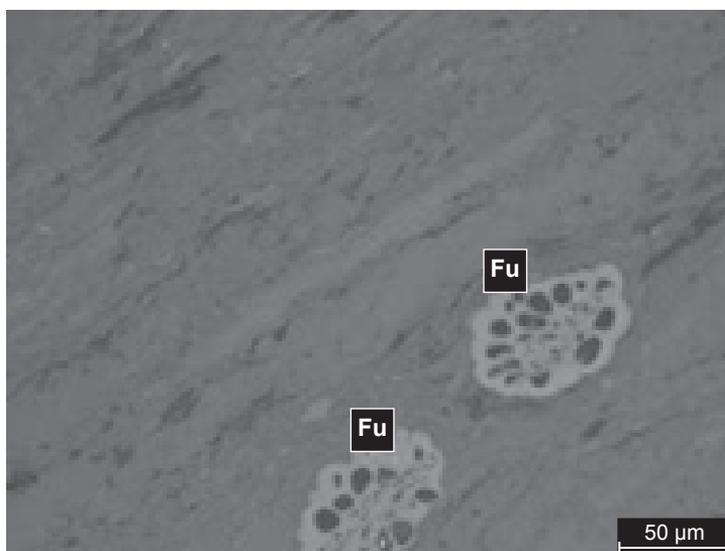
Origen. Se origina de esporas fungales, escleróticas, micela y otros tejidos fungales.

Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriformes



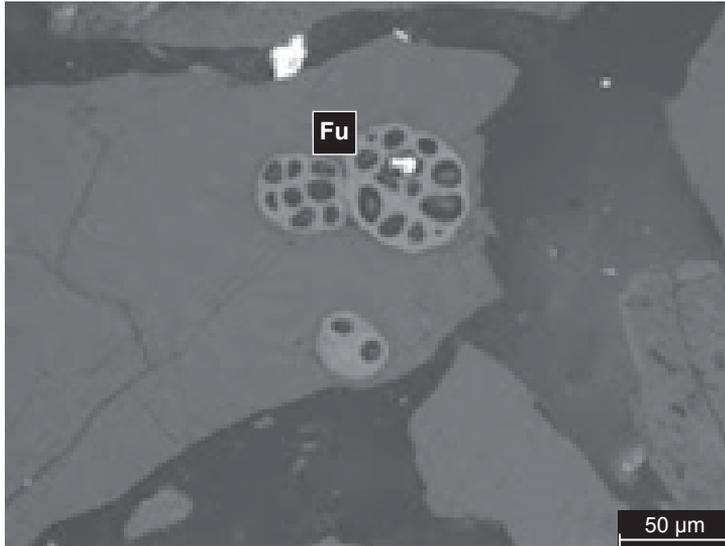
a)

Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriformes



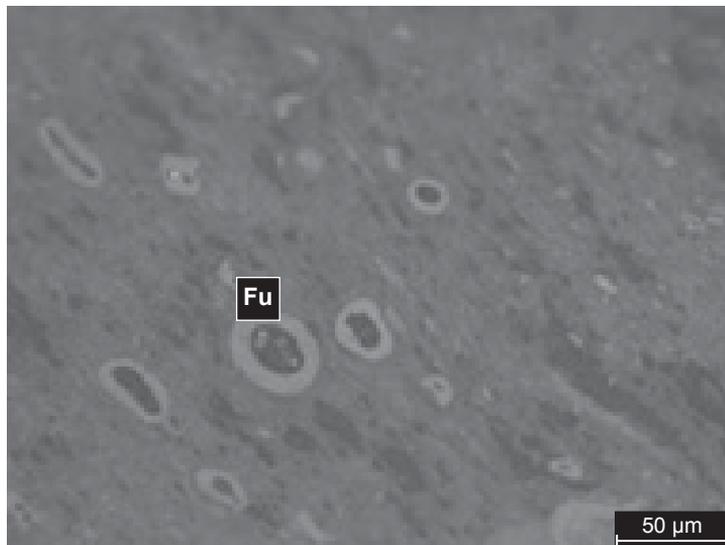
b)

Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriiformes



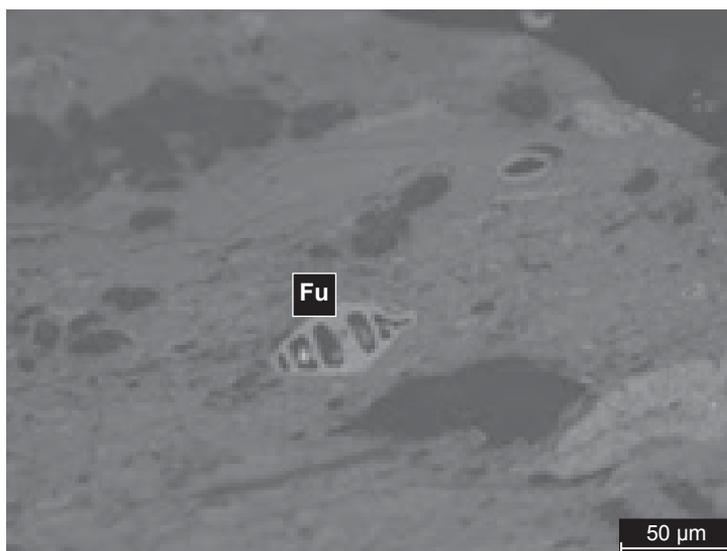
c)

Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriiformes



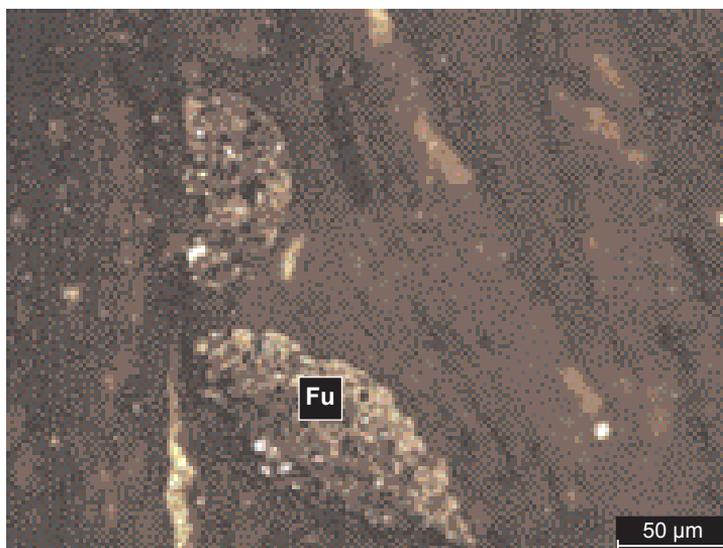
d)

Venecia, Antioquia. Formación Amagá (Oligoceno Superior-Mioceno)
Ambiente fluvial de ríos meandriformes



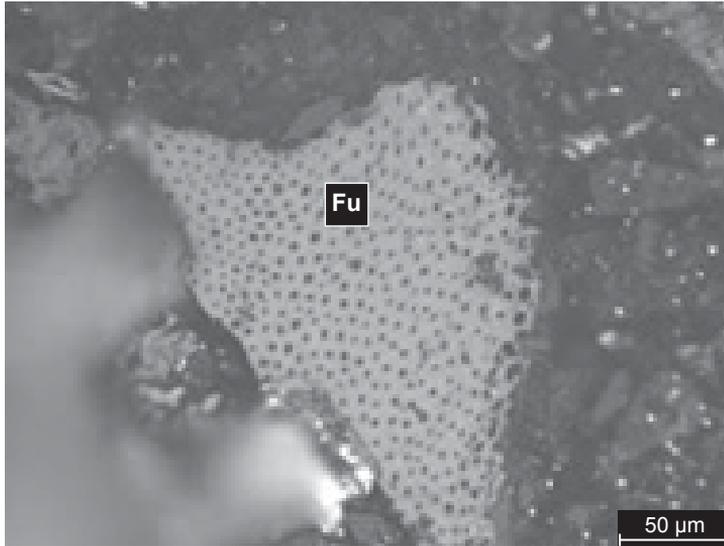
e)

Aranzazu, Caldas. Formación volcanoclástica de Aranzazu
(Terciario Plioceno Tardío- Pleistoceno)



f)

Chivatá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente parálico



g)

Figura 2.27. Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a – g) Funginita (Fu) Típicas funginitas con una o más celdillas, aisladas y agrupadas, de forma ovalada y alargadas, rellenas de exudatinitas o materia mineral.

- **Secretinita.** El término fue propuesto por Lyons et al. (1986, citados por ICCP, 2001) para hacer referencia a un maceral del grupo de la inertinita redondo, sin estructuras celulares. La secretinita puede también aparecer en forma poligonal o vesicular, y los tamaños pueden ser desde 10 a 400 micras. Puede diferenciarse de la macrinita por su forma redondeada y generalmente relieve más alto y de la corpogelinita por su reflectancia mayor (Figura 2.28).

Propiedades físicas. Color gris pálido a blanco amarillento. La reflectancia puede tener todas las transiciones entre bajos y altos valores.

Fluorescencia. No presenta fluorescencia.

Dureza. Baja a alta, fuerte relieve.

Propiedades químicas. Desconocidas.

Origen. El origen de este maceral aún no es muy claro, comúnmente se cree que surge como un producto de oxidación de la resina (Kosanke et al., 1957; citados por (ICCP, 2001), o a partir de geles húmicos (Lyons et al., 1986; citados por (ICCP, 2001).

- **Macrinita.** Stach y Alpern, en 1963 (citados por ICCP, 2001), denominan macrinita a un maceral compacto y de gran tamaño del grupo de la inertinita, sin estructura celular visible, que puede ocurrir de variada forma.

La macrinita puede aparecer como grandes masas en formas de bandas o lentes cuando son vistos perpendiculares a la estratificación.

Propiedades físicas. Color gris claro a blanco (Figura 2.29). La reflectancia puede variar en amplio rango, pero mayor al de la vitrinita.

Fluorescencia. No presenta fluorescencia.

Dureza. Variable, mayor que la vitrinita.

Propiedades químicas. Se desconocen.

Origen. Se origina de sustancias húmicas floculadas, también puede ser producto metabólico de bacterias y hongos. Común en la durita, puede ser kerogeno tipo III o tipo IV.

- **Micrinita.** Término derivado de micronita, de Stopes (1935) y adoptado por Heerlen Congress en 1935 (ICCP, 2001). Seyler (1935, citado por (ICCP, 2001) sugiere que sea utilizado para caracterizar pequeños granos de inertinita. Estos granos pueden ser redondeados. Se diferencian de la inertodetrinita por tener un tamaño máximo de 2 micras (Figura 2.30). Los agregados de este maceral se diferencian de la macrinita por su granularidad.

Propiedades físicas. Color gris pálido a blanco. Reflectancia más alta que la vitrinita, pero del grupo de la inertinita es el de menor valor en un mismo carbón.

Fluorescencia. No presenta fluorescencia.

Dureza. Menor y sin relieve.

Propiedades químicas. Por su tamaño no se conocen.

Origen. Es diverso, puede originarse de forma secundaria durante la etapa de carbonificación, ocasionalmente durante la turbificación; este maceral también puede haber sido formado por fuerte fragmentación de otros macerales del grupo de la inertinita.

- ***Inertodetrinita.*** El término fue introducido por ICCP en 1964 (ICCP, 1971), para denominar fragmentos de inertinita sin estructura reconocible microscópicamente. Este maceral puede tener variaciones en forma y tamaño (Figura 2.31).

Propiedades físicas. El color puede variar dependiendo del precursor y del rango del carbón.

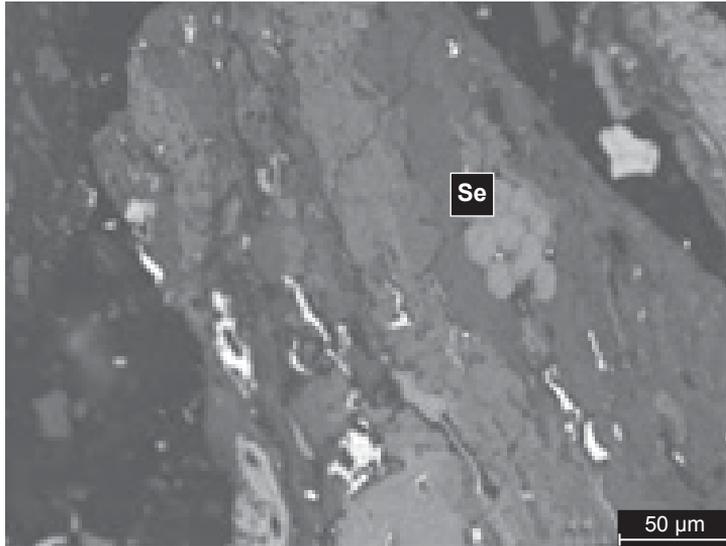
Fluorescencia. No presenta fluorescencia.

Dureza. Variable, mayor que la vitrinita.

Propiedades químicas. Variable dependiendo de su precursor.

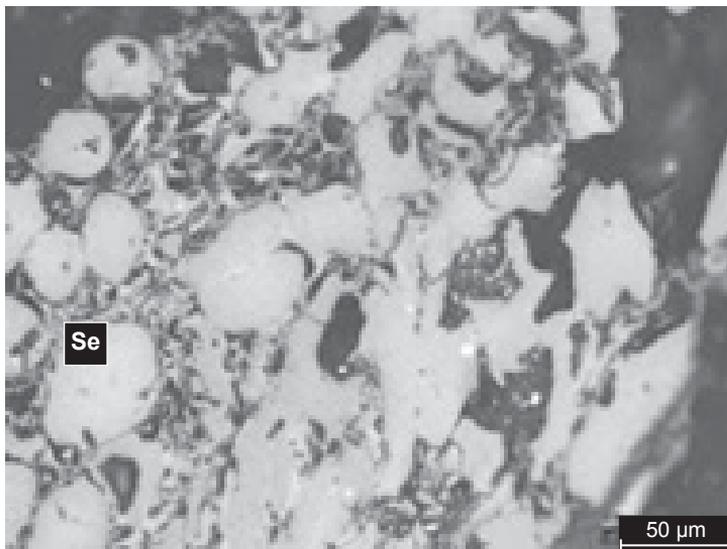
Origen. Diverso, se origina a partir de los macerales del grupo de la inertinita.

Chivatá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Paráfico



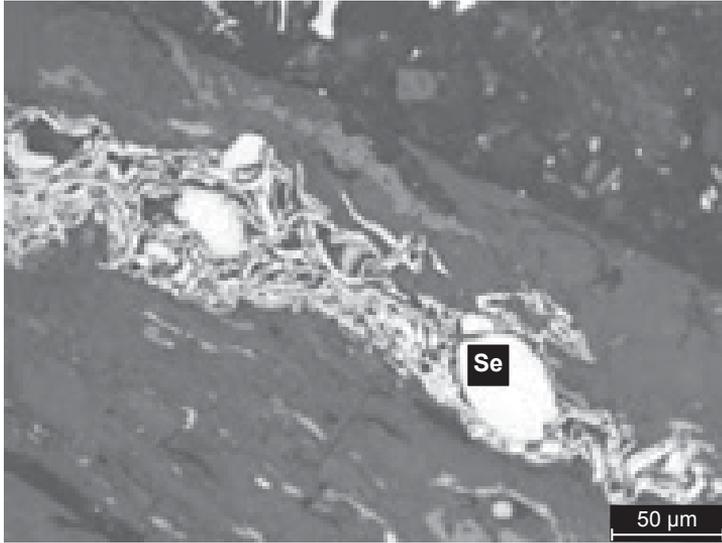
a)

Oreganal, Guajira. Formación Cerrejón (Paleoceno Tardío)
Ambiente Paráfico



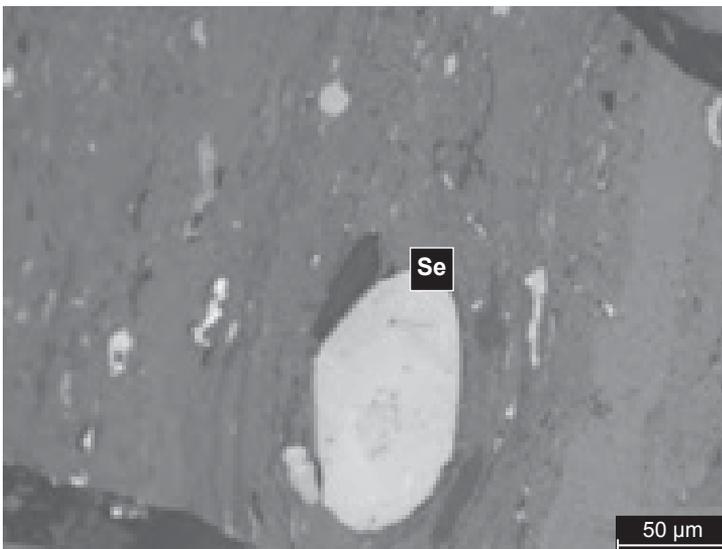
b)

Sogamoso, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



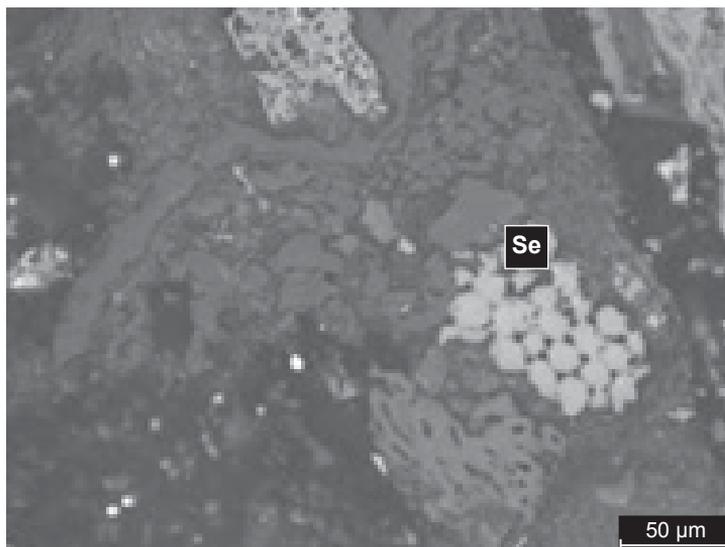
c)

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



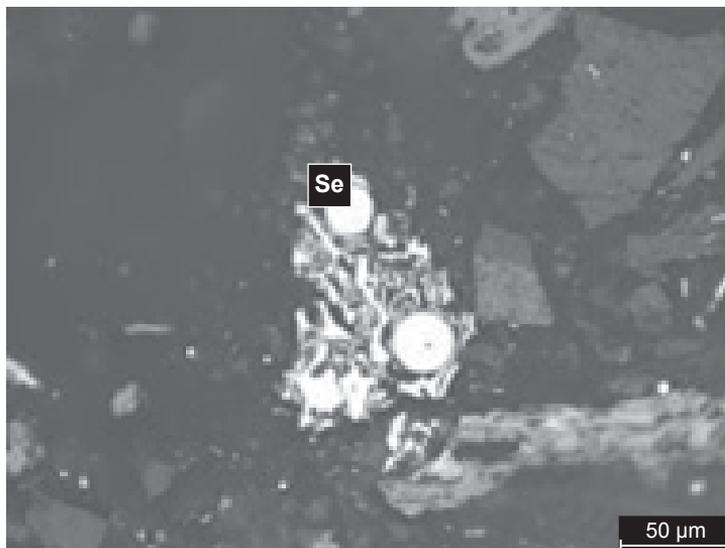
d)

Chivatá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



e)

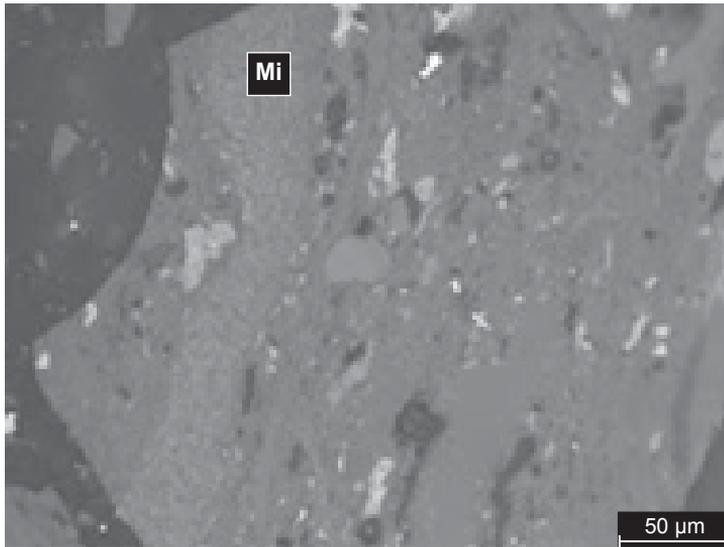
Sogamoso, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



f)

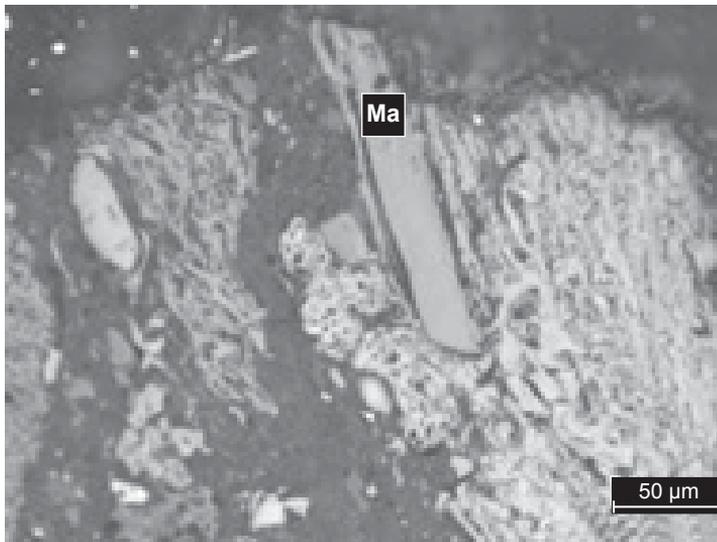
Figura 2.28 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a - f) Secretinita (Se) Se observa de forma redondeada, de alta a media reflectancia, fuerte relieve, frecuentemente relleno de celdillas celulares.

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



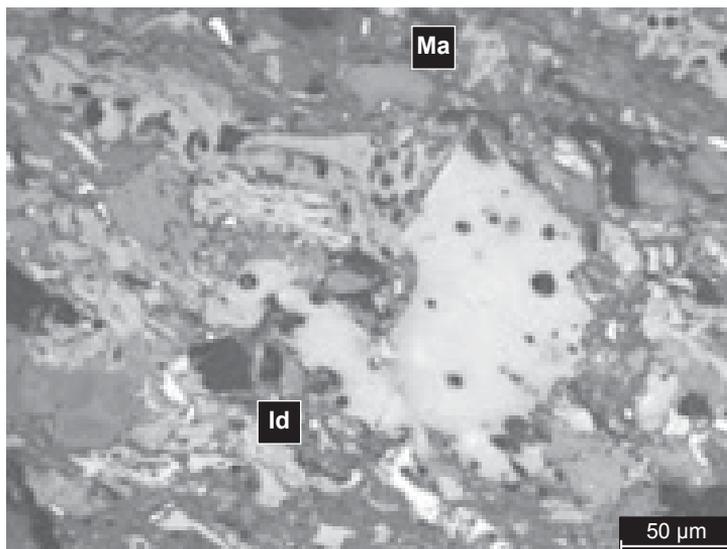
a)

Barrancas, Guajira Formación Cerrejón (Paleoceno Tardío)
Ambiente Parálico



b)

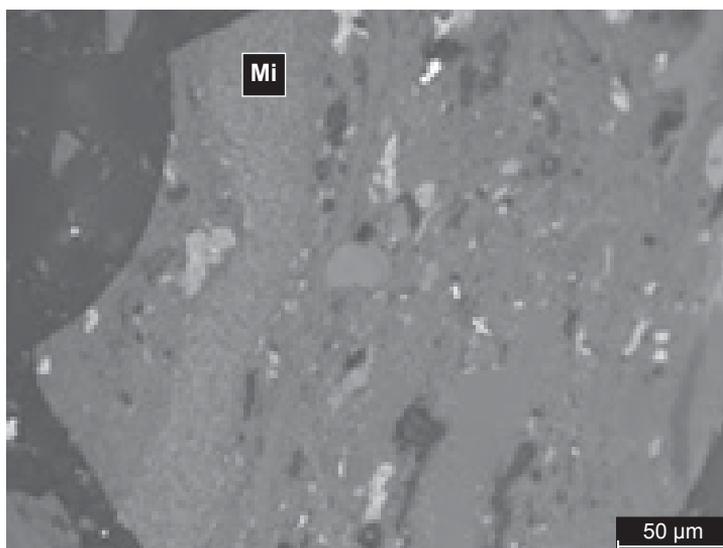
Cucaita, Boyacá. Formación Guaduas (Cretácica)
Ambiente Parálico



c)

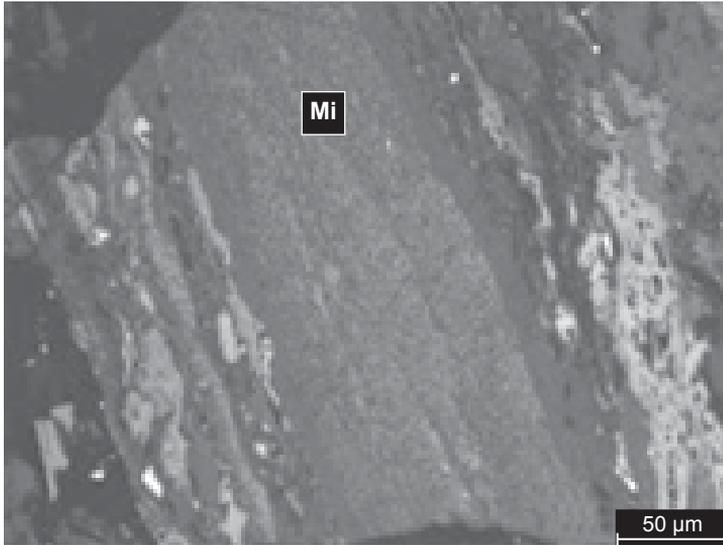
Figura 2.29 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a - c) Macrinita (Ma) Se observa gran masa masiva de color gris claro a blanco.

Cucunubá, Cundinamarca. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



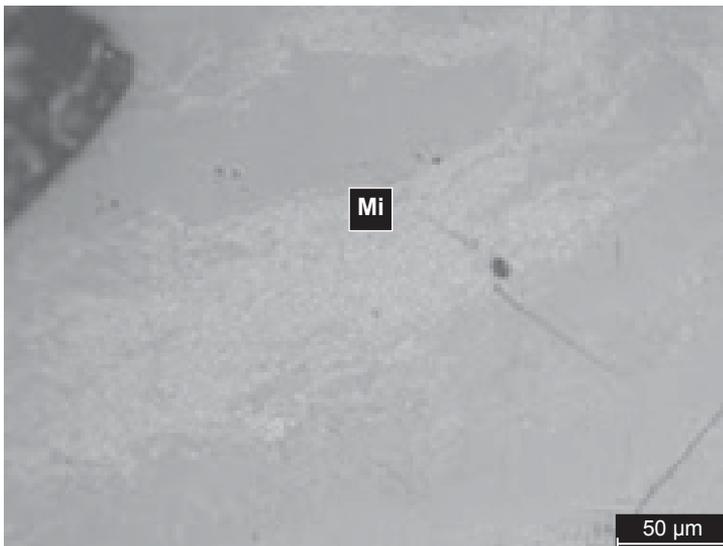
a)

Chivatá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálítico



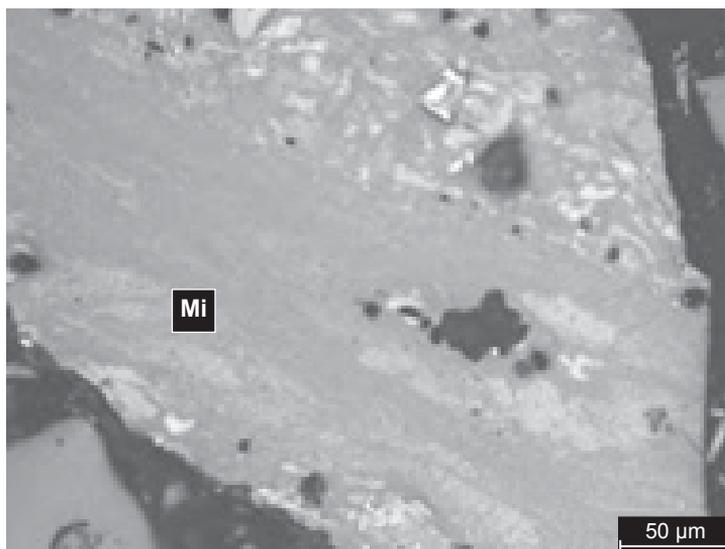
b)

Samacá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálítico



c)

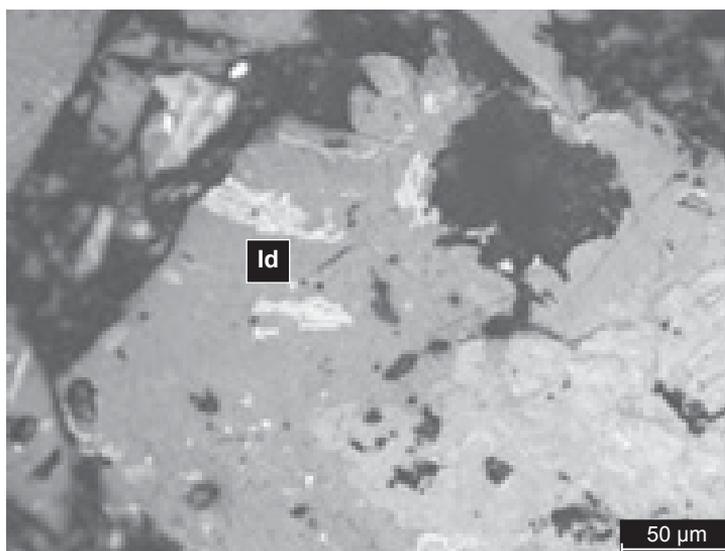
Samacá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



d)

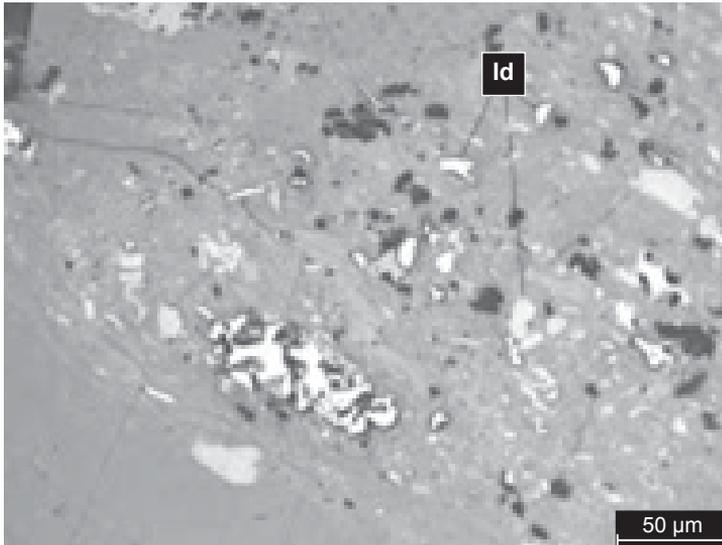
Figura 2.30 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a - d) Micrinita (Mi) fragmentos muy finos de color gris claro a blanco, sin relieve.

Samacá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



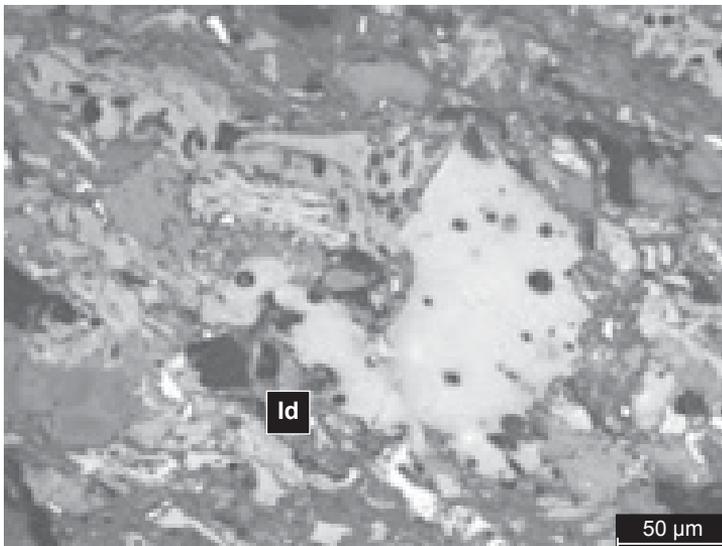
a)

Samacá, Boyacá. Formación Guaduas (Maestrichtiano Superior)
Ambiente Parálico



b)

Cucaita, Boyacá. Formación Guaduas (Cretácica)
Ambiente Parálico



c)

Figura 2.31 Fotomicrografías de macerales en luz blanca reflejada, superficie pulida, aceite de inmersión, $n=1.5$; 500X: (a - c) Inertodetrinita (Id) fragmentos finos y forma variada de color gris claro a blanco, fuerte relieve.

REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH. (2008). *Levantamiento de columnas estratigráficas y realización de análisis petrográficos, petrofísicos, bioestratigráficos y geoquímicos en las áreas de Pasto-El Bordo, Cali-Buga y Buga-Cartago (cuenca Cauca-Patía)*. Bogotá, D.C.: ANH.
- Blandón, M. A. (2007). *Contribución de la materia orgánica sedimentaria a la determinación del paleoambiente y potencial de generación de hidrocarburos en los carbones de la Formación Amagá (Colombia)*. Tesis doctoral, Université de Genève. (67)
- Castaño, L. M. & Gómez, O. P. (2001). *Caracterización, origen, evolución y potencial de utilización de los carbones de la "Secuencia Volcanoclástica de Aranzazu" (Caldas)*. Pregrado, Universidad de Caldas.
- Cloke, M., Gilfillan, A. & Lester, E. (1997). The characterization of coals and density separated coal fractions using FTIR and manual and automated petrographic analysis. *Fuel*, 76(13), 1289-1296. doi: 10.1016/s0016-2361(97)00160-9
- Dai, S., Jiang, Y., Ward, C. R., Gu, L., Seredin, V. V., Liu, H. & Ren, D. (2012). Mineralogical and geochemical compositions of the coal in the Guanbanwusu Mine, Inner Mongolia, China: Further evidence for the existence of an Al (Ga and REE) ore deposit in the Jungar Coalfield. *International Journal of Coal Geology*, 98(0) 10-40.
- Dyrkacz, G. R., Bloomquist, C. A. A. & Ruscic, L. (1984). High-resolution density variations of coal macerals. *Fuel*, 63(10), 1367-1373. doi: 10.1016/0016-2361(84)90339-9
- Dyrkacz, G. R., & Horwitz, E. P. (1982). Separation of coal macerals. *Fuel*, 61(1), 3-12. doi: 10.1016/0016-2361(82)90285-x
- Gómez, R. O. P. (2006). *Separación de los grupos macerales del carbón el uso de flotación en columna*. Magister, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- ICCP. (1963). *International Handbook of coal petrography*. (Second edition). París: Centre National de la Recherche Scientifique.
- ICCP. (1971). *International Handbook of Coal Petrography*. (Second edition). París: Centre National de la Recherche Scientifique.
- ICCP. (1998). The new vitrinite classification (ICCP System 1994). *Fuel*, 77(5), 349-358. doi: 10.1016/s0016-2361(98)80024-0
- ICCP. (2001). The new inertinite classification (ICCP System 1994). *Fuel*, 80(4), 459-471. doi: 10.1016/s0016-2361(00)00102-2

- Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. (2004). *El carbón colombiano. Recursos, reservas y calidad*. Bogotá: INGEOMINAS.
- Li, X., Dai, S., Zhang, W., Li, T., Zheng, X. & Chen, W. (2014). Determination of As and Se in coal and coal combustion products using closed vessel microwave digestion and collision/reaction cell technology (CCT) of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). *International Journal of Coal Geology*, 124(0), 1-4. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.coal.2014.01.002>
- Morales Y., W. & Carmona L., I. (2007). Estudio de algunos elementos traza en carbones de la cuenca Cesar-Rancheria, Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 20, 75-88.
- Morón, S., Montes, C., Jaramillo, C., Bayona, G. & Sánchez, C. (2007). Ciclicidad en la formación cerrejón. *Boletín de geología* 29(1).
- Reyes, I. (1984). *Geología de la región de Duitama-Sogamoso-Paz del Río. Departamento de Boyacá*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Salazar, F. N. & González, M. C. (2014). *Definición y análisis de alternativas para desarrollar un plan de choque en el sector productor de carbón al interior del país*". Bogotá, D.C.: FEDESARROLLO.
- Scott, A. C. (2002). Coal petrology and the origin of coal macerals: a way ahead? *International Journal of Coal Geology*, 50(1-4), 119-134. doi: 10.1016/s0166-5162(02)00116-7
- Steller, M., Arendt, P., & Kühl, H. (2006). Development of coal petrography applied in technical processes at the Bergbau-Forschung/DMT during the last 50 years. *International Journal of Coal Geology*, 67(3), 158-170. doi: 10.1016/j.coal.2005.11.006
- Sýkorová, I., Pickel, W., Christanis, K., Wolf, M., Taylor, G. H. & Flores, D. (2005). Classification of huminite-ICCP System 1994. *International Journal of Coal Geology*, 62(1-2), 85-106. doi: 10.1016/j.coal.2004.06.006
- Taylor, G., Techmüller, M., Davis, A., Diessel, C., Littke, R. & Robert, P. (1998). *Organic Petrology: The Origin of Organic Matter in Sedimentary Rocks, the Nature of Organic Matter - Macerals and Associated Minerals, Lithotypes and Microlithotypes*. Berlin - Stuttgart: Gebrüder Borntraeger. 704 pp.
- Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2005). *La cadena del carbón. El carbón colombiano, fuente de energía para el mundo*. Bogotá, D.C.: UPME.

Este libro se terminó de imprimir en agosto de 2015,
en el Grupo Imprenta y Publicaciones de la Universidad
Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
con una edición de 200 ejemplares.

Tunja - Boyacá - Colombia