

## Los Cuervos formation's proximate analysis and coal's organic petrography in the Chucarima sector (Chitagá, Norte de Santander), Colombia

Jairo Alonso Paredes-C.<sup>a</sup>, Luís Miguel Romero-R.<sup>a</sup>, Julián David De Bedout-O.<sup>b</sup> & Carlos Mauricio Bernal-R.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Programa de Geología, Universidad de Pamplona, Villa del Rosario, Colombia. [jairo.paredes@unipamplona.edu.co](mailto:jairo.paredes@unipamplona.edu.co), [miguel.romero@unipamplona.edu.co](mailto:miguel.romero@unipamplona.edu.co), [carlos.bernal@unipamplona.edu.co](mailto:carlos.bernal@unipamplona.edu.co)

<sup>b</sup> Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. [julian2188574@correo.uis.edu.co](mailto:julian2188574@correo.uis.edu.co)

Received: November 12<sup>th</sup>, de 2018. Received in revised form: January 15<sup>th</sup>, 2019. Accepted: January 31<sup>th</sup>, 2019

### Abstract

In this study Los Cuervos formation's coals' macerals and proximate analysis were analyzed, those belonging to La lomita mine located in the San Luis of Chucarima village of Chitagá's Town (Norte de Santander) which is located in the Catatumbo basin. Initially, the samples were analyzed in order to determine their calorific value, moisture content, ash, fixed carbon, sulfur, coking properties. Giving as a result a very good quality of the coal, mainly due to the low sulfur content (0.59% in dry basis according to the ASTM D4239-14 standard), with free swelling index of 5.0 air drying according to ASTM-D720M15 standard), which gives it a strong binder character making it a caking coal. In addition, based on the petrographic analysis, initially a summary of the nomenclatures and visual characteristics of all macerals was performed, then it was possible to analyze the samples obtained in the sector. In which, a predominance of the vitrinite was observed, making this a vitric highly composed of type III kerogen present in four layers of approximately 30cm thick in the study area.

**Keywords:** Los Cuervos formation; macerals; La Lomita Mine; caking coal; proximate analysis.

## Análisis próximos y petrografía orgánica del carbón de la formación Los Cuervos en el sector de Chucarima (Chitagá, Norte de Santander) Colombia

### Resumen

En este estudio se analizaron los macerales y análisis próximos de los carbones de la formación Cuervos perteneciente a la mina La Lomita ubicada en la vereda de San Luis de Chucarima del Municipio de Chitagá (Norte de Santander), la cual está localizada en la cuenca del Catatumbo. Inicialmente, se analizaron las muestras para determinar su poder calorífico, contenido de humedad, cenizas, carbono fijo, azufre y propiedades coquizables. Dando como resultado una muy buena calidad del carbón principalmente por los bajos contenidos de azufre (0.59% en base seca según la normal ASTM D4239-14), con índice de hinchamiento libre de 5.0 secado al aire según la norma ASTM-720M15, lo que le da un fuerte carácter aglomerante haciéndolo un carbón coquizable. Además, a partir del análisis petrográfico, inicialmente se realizó un resumen de las nomenclaturas y características visuales de todos los macerales y después fue posible analizar las muestras obtenidas en el sector. En el cuál, se observó un predominio de la vitrinita haciendo este un carbón vítrico altamente compuesto por kerógeno tipo III presente en cuatro mantos de aproximadamente 30cm de espesor en la zona de estudio.

**Palabras clave:** formación los Cuervos; macerales; Mina la Lomita; carbón coquizable; análisis próximos.

### 1. Introducción

Ubicada en la margen noroccidental de la cordillera oriental (Ver Fig. 1). La cuenca del Catatumbo es de tipo

Antepaís (Foreland), limitada al Oeste por el Macizo de Santander y la Serranía del Perijá y al Suroeste por los Andes de Mérida [3], además según [13] su desarrollo tectónico está ligado al de la Cuenca de Maracaibo y en términos generales

**How to cite:** Paredes-C., J.A., Romero-R., L.M., De Bedout-O., J.D. and Bernal-R., C.M., Análisis próximos y petrografía orgánica del carbón de la formación Los Cuervos en el sector de Chucarima (Chitagá, Norte de Santander), Colombia. Boletín de Ciencias de la Tierra, 45, pp. 34-40, Agosto 2018 - Enero 2019.

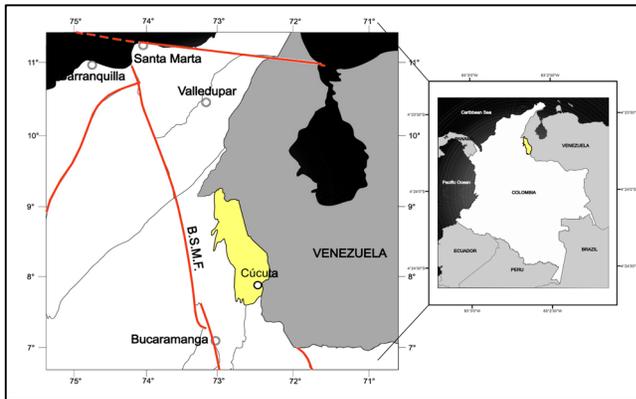


Figura 1. Localización de la cuenca del Catatumbo en la cordillera oriental con incidencia del sistema de fallas de Bucaramanga-Santa Marta (B.S.M.F) Fuente: Modificado de [3]

a la evolución de los Andes del Norte y se pueden resumir en 4 eventos principales según [1]. i) A una etapa del desarrollo de tipo rift en el Jurásico -Triásico ii) Etapa del margen pasivo (Aptiano - Campaniano), iii) Etapa de transición hacia una cuenca Antepaís (Maastrichtiano-Paleoceno), iv) La formación de la cuenca foreland (Thanetiano-Priaboniano). La formación Cuervos (Tplc) de edad Paleógeno tardío (Thanetiano 58.2Ma) de ambiente continental con un dominio transicional y pantanos marginales marinos [10] en contacto suprayacente gradacional con la formación Barco [3]; con predominancia de litologías lodosas intercaladas con arenitas líticas acumuladas en ambientes continentales que evidencia la exhumación de la cordillera oriental [12] con capas de arenisca delgada, limolitas y algunos mantos de Carbón. La formación Cuervos (Tplc) infrayace en forma concordante a la formación Mirador. El espesor a escala regional varía entre 182 metros aproximadamente, hacia el este de la cuenca del Catatumbo, a 1.100 hacia el occidente, en el sector de Santa Helena de acuerdo con [4].

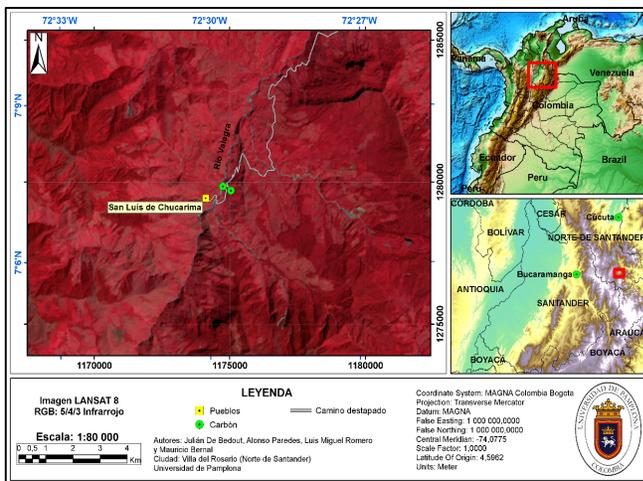


Figura 2. Ubicación del área de estudio, vista desde el cruce de bandas Landsat 8 en donde los colores marrones a morados representan bajo índice de vegetación y los colores rojos en intensidad representan un índice de vegetación alto. Fuente: Autores

La formación Cuervos en el sector del corregimiento de San Bernardo de Bata es de 340m el cual es donde se localiza el área de estudio (Ver Fig. 2). Esta unidad se correlaciona con las partes superiores de las formaciones Lisama del Valle Medio del Magdalena y Angostura, Marcelina y Trujillo, en Venezuela [18].

La implicación de este estudio es documentar los diferentes macerales y análisis próximos presentes en los carbones que fueron recolectados en la mina la Lomita

## 2. Marco geológico

El bloque Maracaibo es una zona que se encuentra limitada por tres grandes sistemas de fallas La cuenca del Catatumbo es el nombre dado en Colombia al extremo sur de la cuenca de Maracaibo ubicada en Venezuela (Ver Fig. 1) el cual es una cuenca Antepaís (Foreland) la cual ha tenido depositación de sedimentos a partir del cretácico. Tales como el grupo Uribante. La cuenca Maracaibo Catatumbo hacia el oeste limitada por la serranía del Perija y el sistema de fallas Bucaramanga Santa Marta y al este por la cuenca Maracaibo y los andes de Merida [5].

El registro estratigráfico reportado en los piedemontes de la cuenca del Catatumbo indica una acumulación relativamente continua durante el Cenozoico [11,23] caracterizada por condiciones marginales a continentales [22,6]. En la cuenca del Catatumbo el dominio de los sedimentos son de carácter siliciclástico. [2]

Definida por [11] en la Concesión Barco para denominar una alternancia de arcillolitas y lodolitas, capas de areniscas y de carbón. En el área aflora en casi la totalidad del área Compuesta por arcillolitas y shale con escasas capas de arenitas y de ocho a diez manifestaciones de carbón cuyos espesores oscilan entre 0.10 m. hasta 2,5 m., localizadas hacia la parte inferior y media de la formación. La parte inferior de la formación está constituida por shale gris oscuro, shale carbonoso, con capas de arena y carbón. Hacia la parte superior consta principalmente de arcillolitas usualmente sideríticas, parcialmente limosas, gris y gris verdoso con escasas capas de arenita arcillosa [11].

En la formación Cuervos se pueden identificar tres miembros uno superior que se compone de intercalaciones de Lodolitas y arcillolitas y arcosas, el miembro intermedio caracterizado intercalaciones de lodolitas, lutitas y algunos mantos de carbón y un miembro inferior por arcillolitas, lodolitas, lutitas y algunos mantos de carbón; con procesos de sedimentación relacionados a ambientes deltaicos y corrientes fluviales, particularmente llanuras de inundación. El espesor estimado de la formación variable y puede alcanzar los 200 metros. Los estudios han permitido asignarle una edad que va desde mediados del Paleoceno hasta comienzos del Eoceno. El contacto inferior, normalmente se marca en el techo de la primera arenita prominente, inmediatamente bajo los mantos de carbón. El contacto superior es concordante y se marca donde las arcillolitas de la Formación Los Cuervos dan paso a las arenitas de grano grueso de la Formación Mirador. [13]

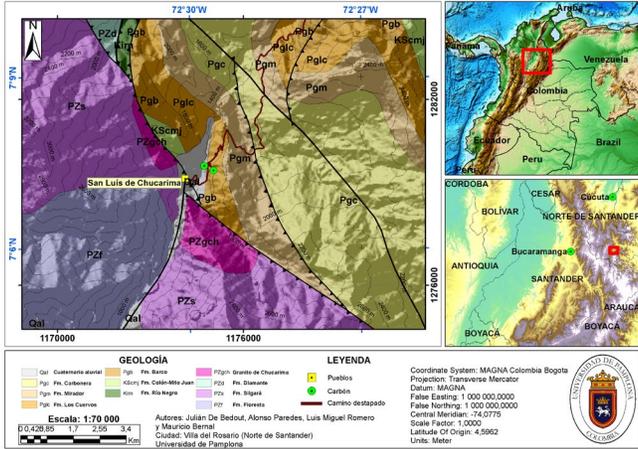


Figura 3. Geología regional de la zona de estudio en donde el muestreo se ubica en la Formación Cuervos.  
Fuente: Autores.

Los mantos y cintas de carbón se localizan en los niveles inferiores y medios de la formación donde se identificaron 13 manifestaciones con espesores que oscilan entre 0.12 y 1.5 metros, distribuidos en una secuencia estratigráfica que oscila entre 152 m y 222 m, iniciando a los 50 m por encima del contacto con la infrayacente Formación Barco.

El contacto inferior es gradacional, mientras el superior es neto y concordante marcado por un cambio brusco de pendiente; Se presenta en una franja longitudinal con dirección Sur – Norte (Ver Fig.3) y su expresión morfológica está determinada por una topografía ondulada entre las encajantes rocas duras de las Formaciones Barco y Mirador. [11]

### 3. Materiales y métodos

Se realizó un muestreo de canal en 2 frentes de explotación activos, las muestras distribuidas aleatoriamente, fueron almacenadas en bolsas plásticas inmediatamente para evitar contaminación y oxidación; además de una descripción estratigráfica de la sección mediante la descripción de [7] y el levamiento en campo de una columna estratigráfica. Posteriormente según la norma [16] en laboratorio las muestras se prepararon y caracterizaron mediante análisis próximos realizados para determinar: humedad residual (ASTM D3173); cenizas (ASTM D3174); materia volátil (ISO 562); carbono fijo (ASTM D 3172); azufre total (ASTM D4239); poder calorífico (ASTMD 5865) y FSI ASTM D720.

Se realizó la caracterización petrográfica, que permite identificar los componentes orgánicos e inorgánicos del carbón (macerales y minerales respectivamente). Los análisis petrográficos los cuales consisten en el conteo de macerales de acuerdo a [19], el análisis se realizó en los laboratorios de la universidad de Pamplona, usando un microscopio petrográfico NIKON-BX-51 con una cama NIKON C-30 que cuenta con un sistema integrado de luz reflejada normal y fluorescente y un fottomultiplicador para estudios cuantitativos de reflectancia media de la vitrinita. La

fluorescencia en carbones se utiliza para complementar el análisis de maduración térmica. La clasificación del carbón, se realizó utilizando la norma [16].

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Estratigrafía

En el sector San Bernardo de Bata – Vereda Chucarima se describe la formación los cuervos como una secuencia sedimentaria constituida en su parte inferior por niveles gruesos y medios de cuarzoareniscas varicoloreadas de tonos grises, rosa y café que se presentan generalmente con una granulometría de grano fino a medio con alta esfericidad y una buena selección, intercaladas con niveles finos de lutitas carbonosas grises. La parte media está compuesta por areniscas líticas de color negro de grano medio con esfericidad alta, bien seleccionadas, intercaladas con niveles gruesos de cuarzoareniscas y estratos esporádicos finos de carbón (0.15 a 0.2m) (Ver Fig. 4). La parte superior está constituida por niveles medios de shales carbonosos negros intercalados con areniscas negras y estratos esporádicos finos de carbón (0.2m a 0.3m) (Ver Fig. 5). Los sedimentos de esta unidad se depositaron predominantemente en un ambiente transicional (deltaico), evidenciado por la presencia de mantos de carbón.



Figura 4. Manto de carbón de la Mina la Lomita de San Bernardo de Bata con un espesor de 0,15m en contacto con arenitas de grano medio.  
Fuente: Autores

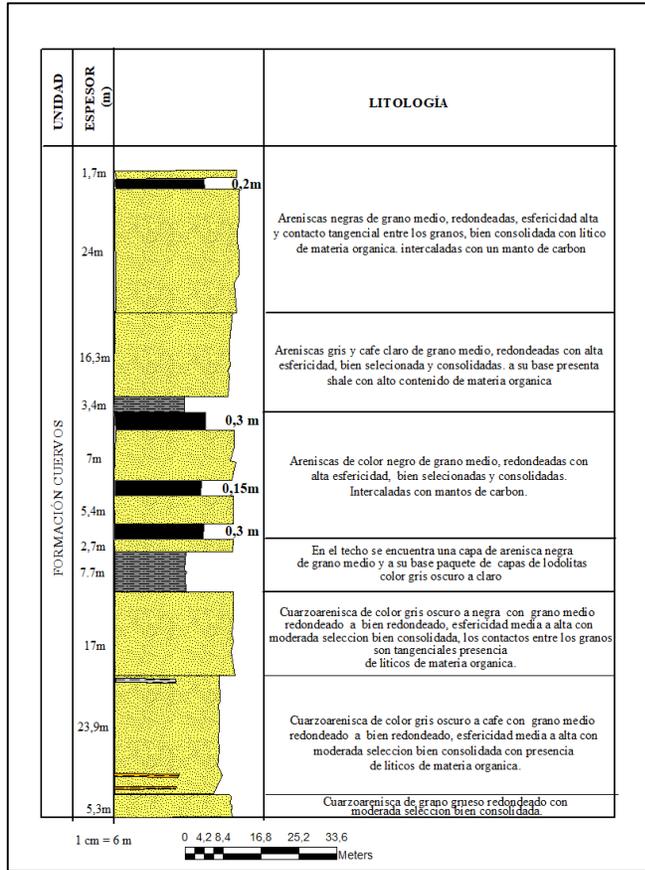


Figura 5. Columna estratigráfica detallada de la formación Cuervos en la mina la Lomita. Nótese la presencia de los cuatro mantos de carbón.  
Fuente: Autores

#### 4.2. Características petrográficas

Los carbones de la mina la lomita en el análisis petrográfico teniendo en cuenta la técnica de descripción de [19]. Fueron analizados con luz reflejada y fluorescencia, esto con el fin de identificar los macerales que lo componen. Para esto se partió de la creación de un resumen que se muestra en la Fig. 6, el cual trata de simplificar los tipos de nomenclaturas que se usan en el análisis visual del kerógeno ya que en ocasiones hay distintos términos para el mismo maceral según el tipo de origen que produce cada uno. Además, se muestra en la Fig. 7 las diferencias de nomenclaturas cuando se analizan carbones de baja madures termal (menores a 0.5%Ro) donde se resaltan las variedades de huminita las cuales se correlacionan con los tipos de vitrinita. Finalmente, se desea hacer una contribución con la identificación de los tipos de macerales, es por esto que en la Fig. 8 se muestra un resumen visual de los submacerales que componen los grupos de la vitrinita, liptinita e inertinita. [20, 8]

En la microfotografía en la sección A se logra apreciar un fragmento considerable de Inertinita de variedad Fusinita 3% el cual se reconoce por su textura y color blanco en luz reflejada, además de no poseer fluorescencia debido a su bajo contenido de Hidrógeno (Ver Fig. 9 apartado B).

GRUPO	MACERAL	DESCRIPCIÓN
VITRINITA	•Telinita	Paredes celulares de los tejidos vegetales algo deformados (hojas, tallos, etc.)
	•Colotelinita	(Telocolinita/Colinita) hojas, tallos, cortezas, raíces gelificadas, masivas
	•Vitrodetrinita	(Detrovitrinita) Fragmentos muy pequeños de vitrinita (menos 10 micras)
	•Corpogelinita	(Corpocolinita/Gelinita) Rellenos gelificados homogéneos (esféricos u ovoides)
LIPTINITA	•Colodetrinita	(Desmocolinita) Matriz (Cemento) de restos triturados que une otros macerales
	•Esporinita	Paredes celulares de las esporas y el polen
	•Cutinita	Paredes externas alargadas (cutículas) de las hojas y tallos
	•Resinita	Resinas, aceites y grasas de los tejidos celulares de las plantas
	•Alginita	Restos de algas ricas en lípidos. (Tiene forma de "nube o algodón")
	•Exudatinita	Maceral secundario (formado de otros lípidos) que rellena cavidades celulares
	•Suberinita	Red de paredes celulares de plantas como el corcho (Asociada a corpogelinita)
INERTINITA	•Liptodetrinita	Partículas detriticas muy pequeñas (menos 10 micras) de lípidos
	•Bituminita	Matriz orgánica irreconocible (Groundmass) poco fluorescente
	•Fusinita	Estructuras vegetales conservadas sin hidrógeno (hojas, tallos, raíces, cortezas)
	•Semifusinita	Estructura vegetal preservada pero de menor reflectancia que la fusinita
	•Funginita	Esporas de hongos con forma esférica o alargada (Asociada a la exudatinita)
	•Macrinita	Restos homogéneos y gelificados de forma ovalada y alargada
	•Micrinita	Maceral secundario (menor de 2 micras) con forma de partículas redondeadas
	•Inertodetrinita	Fragmentos muy pequeños (menores a 10 micras) aislados de forma variada
	•Secretinita	(Esclerotinita) Resinas oxidadas ovaladas que presentan fisuras

Figura 6. Comparación del origen de los tres principales tipos de Macerales y grupos Sub-Macerales

Fuente: Modificado de [19, 20, 8]

VITRINITA (>0,5% Reflectancia)	HUMINITA (<0,5% Reflectancia)
•TELOVITRINITA	•TELOHUMINITA
•Telinita	•Textinita
•Colotelinita (Telocolinita/Colinita)	•Ulminita
•DETROVITRINITA	•DETROHUMINITA
•Vitrodetrinita (Detrovitrinita)	•Atrinita
•Colodetrinita (Desmocolinita)	•Densinita
•GEOLOVITRINITA	•GEOLOHUMINITA
•Corpogelinita (Corpocolinita/Gelinita)	•Corpohuminita
INERTINITA	LIPTINITA
•Fusinita	•Esporinita
•Semifusinita	•Cutinita
•Funginita	•Resinita
•Macrinita	•Alginita
•Micrinita	•Exudatinita
•Inertodetrinita	•Suberinita
•Secretinita (Esclerotinita)	•Liptodetrinita
	•Bituminita

Figura 7. Tipos de Macerales y grupos Sub-Macerales donde se detalla la diferencia termal entre la Vitrinita y la Huminita.

Fuente: Modificado de [19, 20, 8]

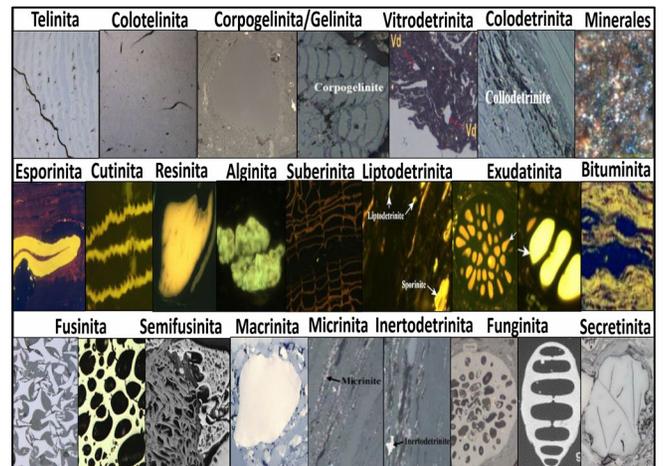


Figura 8. Diferencias visuales de los tipos de Sub-Macerales. Nótese en la parte superior los tipos de vitrinita, seguido de las variaciones fluorescentes de liptinita y la manera de diferenciar las inertinitas.

Fuente: Modificado de [19, 20, 8]

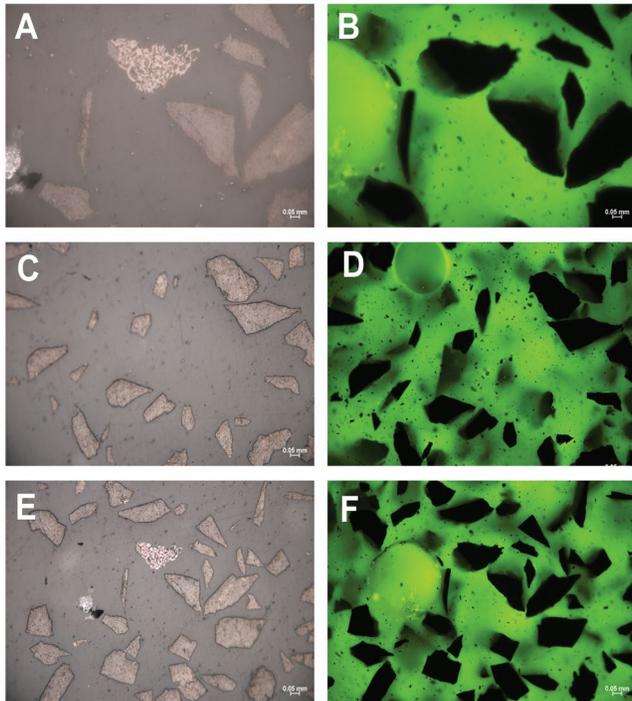


Figura 9. Microfotografías de muestras de Carbón de la formación Cuervos en la parte izquierda se aprecian bajo luz reflejada y en la parte derecha en luz de fluorescencia. Nótese la gran abundancia de Vitrinita en tonos grises y en menor medida Inertinita de coloración más clara.  
Fuente: Autores

En los otros apartados (Ver Fig. 9 secciones A,C,E) se visualizan fragmentos de Vitrinita 95%, la cual evidencia un color gris en luz reflejada, bordes rectos y ausencia de estructuras de tallo presentando una forma gelificada y masiva; propiedades comunes de la variedad Colotelinita dichos fragmentos no poseen fluorescencia como se muestra en los apartados B,D,F y es el maceral más abundante en la sección.

Se aprecian pequeños glóbulos redondeados de Liptinita 2% (Color amarillo) de variedad Resinita la cual presenta una alta fluorescencia debido a su mayor contenido de Hidrógeno como logra ser evidenciado en los en la Fig. 8 apartados B y F de la microfotografía. Finalmente, como se muestra en la Fig. 10, basado en los valores de los macerales se procedió a clasificar el carbón de la formación cuervos siendo este de tipo Vitrico según la clasificación de [17].

#### 4.3. Análisis próximos

En el lugar del muestreo realizado en campo, los dirigentes de la mina La Lomita contrataron el servicio de análisis de características fisicoquímicas de carbón, para el cual se trasladaron muestras de carbón hasta los laboratorios de la S.G.S. COLOMBIA S.A, en donde utilizaron el “Método Estándar de la Preparación de Carbón para Análisis” (Norma D2013-86 de la ASTM) metodología desarrollada por el INGEOMINAS. El análisis se hace con el fin de conocer la calidad de los carbones por medio de los

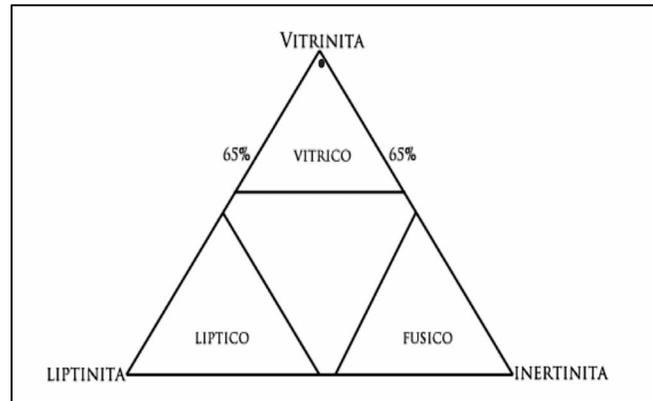


Figura 10. Diagrama triangular de predominio maceral que muestra la clasificación del carbón por tipo de carbón estudiado  
Fuente: Modificado de [17]

Tabla 1.  
Resumen características fisicoquímicas.

Análisis	Unidad	Base Húmeda	Base Seca	Secado al aire
Humedad Total	(%)	7,92	-	-
Ceniza	(%)	1,35	1,47	-
Materia Volátil	(%)	28,79	31,26	-
Carbono fijo	(%)	61,94	67,27	-
Azufre	(%)	0,54	0,59	-
Poder calorífico	(BTU/Lb)	14099	15065	-
Índice de hinchamiento libre (FSI)	-	-	-	5.0

Fuente: Autores

diferentes ensayos de caracterización sobre las muestras tomadas en los frentes de trabajo. La caracterización comprendió la realización de ensayos de: cenizas, materia volátil, carbono fijo, azufre total en carbón, poder calorífico e índice de hinchamiento. Estos parámetros y normas son seguidos en el laboratorio de carbones según las normas ASTM.

En los estudios desarrollados en la mina la Lomita los análisis fisicoquímicos realizados a los carbones y se plasman en la Tabla 1.

#### 4.4. Clasificación del carbón

##### 4.4.1. Clasificación por rango

Se ha utilizado la clasificación por rango de la American Standard For Testing and Materials (A.S.T.M), la cual se basa en parámetros como el carbono fijo, materia volátil y poder calorífico. Los carbones de alto rango, son aquellos que presentan un poder calorífico superior a 14000 Btu/Lb. en base húmeda y libre de materia mineral, y más del 67% del carbono fijo en base seca libre de materia mineral.

Tabla 2.  
Parámetros físicoquímicos de los carbones coquizables.

Parámetro	Cenizas	Materia volátil	Carbono fijo	F.S.I.	Azufre
Porcentaje	<10	18 y 35	50 y 70	>3.5	<1

Fuente: Autores

Con los resultados obtenidos en laboratorio se puede observar que estos carbones se catalogan como carbones de alto rango ya que presentan poder calorífico superior a los 14099 Btu/Lb. (base húmeda y libre de materia mineral) y más del 67% del carbono fijo (base seca libre de materia mineral).

#### 4.4.2. Clasificación gráfica

En la clasificación gráfica de carbones se tienen en cuenta distintos parámetros tales como, materia volátil, carbono fijo, F.S.I entre otros.

Conforme a los resultados obtenidos de Materia volátil= 28.79% y Poder calorífico= 14099 (Btu/Lb) (Base húmeda) y los valores de Materia volátil= 31,26% y Poder calorífico= 15065 (Btu/Lb) en Base Seca, se determina que los carbones de la mina La Lomita son de tipo bituminosos, pertenecientes al grupo alto en volátiles A y con propiedades físicas aglomerantes. Por su parte el FSI de 5.0 indica que estos carbones son fuertemente aglomerantes.

Respecto a los usos del carbón de la mina se deben tener en cuenta distintos parámetros tales como cenizas, materia volátil, carbono fijo, F.S.I y azufre. La Tabla 2 muestra los valores tomados como ideales para definir un carbón como coquizable.

De acuerdo a los valores adquiridos en laboratorio de los carbones: Ceniza: 1.35%, Materia volátil: 28.79%, Carbono fijo: 61.94% y Azufre: 0.54% (base húmeda) y Ceniza: 1.47%, Materia volátil: 31.26%, Carbono fijo: 67,27% y Azufre: 0.59% (Base seca), y un F.S.I de 5.0 (base seca al aire), se estiman que estos carbones cumplen con los parámetros establecidos para ser denominado como carbones coquizables.

## 6. Conclusiones

Los carbones presentes en la mina La Lomita presentan unas excelentes propiedades medidas en los análisis próximos, las cuales le dan un carácter económico muy favorable debido a su alto contenido de vitrinita, bajo contenido de azufre, alto poder calorífico y fuerte carácter aglomerante dándole una clasificación de carbón coquizable que incluso puede ser considerado para exportación debido a su alta calidad.

A partir de la petrografía orgánica se pudo identificar un claro predominio del maceral vitrinita (variedad colotelinita) muy angulosa con presencia menor de fusinita (inertinita) y liptinita fluorescente de la variedad resinita, dándole una clasificación según el diagrama de (Stach, 1975) de carbón Vítico, lo cual se debe a un ambiente pantanoso favorable para la depositación de grandes cantidades de kerógeno de tipo III presentes en este tipo de carbón húmico.

## Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Giovanni Avendaños Chavez de Carbones Carinco LTDA por permitir el ingreso y recolección de muestras en la mina La Lomita. Además, se desea expresar agradecimiento a Carlos Augusto Celis del laboratorio de preparación de muestras de la Universidad de Pamplona por su ayuda en el proceso.

## Referencias

- [1] Alfonso, C.A., and Mondragón J.C., Nuevos conceptos exploratorios en la cuenca de Catatumbo, Colombia: VII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuenas Subandinas, Caracas. 2000.
- [2] Ayala, R., Análisis tectonoestratigráfico y de procedencia en la subcuenca del Cesar: relación con los sistemas petroleros. Tesis de grado MSc., Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, 2009, 183 P.
- [3] Barrero, D., Perdo, A., Vargas, C. and Martínez, J., Colombian sedimentary basins: Nomenclature, boundaries, and petroleum geology, a new proposal, ANH, 2007, 91 P.
- [4] Bouman, Q. and Gibson, G., A geological review of the barco area. Reporte interno colpet, isn, 1964, 426 P.
- [5] Comet, J.N. and Martínez, A.A., Cretaceous and Tertiary petroleum systems in the Catatumbo basin (Colombia), CEPESA E.P., S.A., c/ Ribera del Loira, 50, 28042, Madrid, Spain, 2006.
- [6] Cooper, M.A., Addison, F.T., Alvarez, R., Coral, M., Graham, R.H., Hayward, A.B., Howe, S., Martínez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A.B., and Taborda, A., Basin development and tectonic history of the Llanos basin, Eastern Cordillera, and middle Magdalena Valley, Colombia. AAPG Bulletin, 79(10), pp.1421-1443, 1995.
- [7] Folk, R.L., Petrology of Sedimentary rocks, Hamphill, Austin, Texas, 1974, 182 P.
- [8] Flores, R., Coal and coalbed gas. Fueling the Future, Elsevier, 2014, 705 P.
- [9] Jiménez A., Martínez-Tarazona R. and Suárez-Ruiz I., Paleoenvironmental conditions of Puertollano coals (Spain): petrological and geochemical study. International Journal of Coal Geology, 41(3), pp. 189-211, 1999. DOI: 10.1016/S0166-5162(99)00016-6
- [10] Llerena, J. and Marcano, F., El sistema petrolífero en la subcuenca de Catatumbo, cuenca de Maracaibo, Venezuela. VI Simposio Bolivariano, Tomo I, 1997, 540 P.
- [11] Notestein, F.B., Hubman, C.W. and Bowler, J.W., Geology of the Barco concession, Republic of Colombia, South America. Geological Society of America Bulletin, 55(9), pp. 1165-1216, 1944. DOI:10.1130/GSAB-55-1165
- [12] PDVSA, Léxico Estratigráfico Venezolano, PDVSAINTEVEP2008. [en línea]. 2008. Disponible en: [www.pdvs.com/lexico/lexicoh.htm](http://www.pdvs.com/lexico/lexicoh.htm)
- [13] Rangel, A. and Hernández, R., Thermal maturity history and implications for hydrocarbon exploration in the Catatumbo Basin, Colombia. 2007, pp. 7-24.
- [14] Rodríguez, C.G. y Báez, H.A., Cuenas sedimentarias de Colombia [paper in spanish] sedimentary basins of Colombia, 1985.
- [15] Sarmiento, G., Estratigrafía y medios de depósito de la formación guadas, Boletín Geológico, 32(1), pp. 1-44, 1992.
- [16] Standard, A.S.T.M., Annual Book of ASTM Standards. Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke, 2011.
- [17] Stach, E., Textbook of coal petrology. Gebruder Berlin, Gebruder Borntraeger. 1975.
- [18] Sutton, F.A., Geology of Maracaibo basin, Venezuela: part 1. AAPG Bulletin, 30(10), pp. 1621-1741, 1946.
- [19] Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R. and Robert, P., Organic petrology. A new Handbook incorporating some revised parts of Stach's textbook of coal petrology, 1998, 704 P.
- [20] Thomas, L., Coal Geology, Wiley-Blackwell, Second Edition, 2013, 456 P.
- [21] Vessey S.J. and Bustin, R.M., Sedimentology of the-coalbearing mist mountain formation, line creek, Southern Canadian cordillera:

relationships to coal quality. *International Journal of Coal Geology*, 42(2-3), pp. 129-158, 2000. DOI: 10.1016/S0166-5162(99)00037-3

- [22] Villamil, T., Campanian-Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and Basin development of Colombia and Western Venezuela. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 153, pp. 239-275, 1999. DOI: 10.1016/S00310182(99)00075-9
- [23] Ward, D., Goldsmith, R. y Restrepo, H., Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, Departamento de Santander. *Boletín del Ingeominas*, 1973, pp.77-84.

**J.D. De Bedout-Ordóñez**, es Geólogo egresado de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Colombia, ha trabajado en geoquímica orgánica de crudos y SIG de 7 cuencas colombianas, geofísica de varios campos de diversas regiones del país, haciendo interpretación estructural e inversión sísmica. Trabaja en la exploración de yacimientos offshore de gas biogénico del Caribe colombiano. Además, ha sido docente de la Universidad de Pamplona, Colombia en asignaturas de geología del petróleo, geología de hidrocarburos, prospección geoquímica de yacimientos minerales, yacimientos industriales, metamorfismo, mineralogía física, mineralogía óptica y sensores remotos. Finalmente ha dirigido trabajos de investigación de prospección y teledetección de placeres de oro y platino en el Chocó, prospección geoquímica de oro en Santander y geología estructural aplicada a la exploración de carbón de Norte de Santander, sedimentología y petrofísica en Colombia y el mar del norte de Noruega.  
ORCID: 0000-0001-8718-9392

**L.M. Romero-Rincón**, es candidato a BSc. de la Universidad de Pamplona, Colombia, se desempeña como presidente del capítulo estudiantil SEG (Society of Economic Geologist) de la Universidad de Pamplona. Actualmente inicia en la investigación de minerales estratégicos para la caracterización de posibles yacimientos minerales y su proyecto de grado se encontrará enfocado en la prospección y búsqueda yacimientos polimetálicos.  
ORCID: 0000-0002-7630-4284

**J.A. Paredes-Celi**, es Candidato a BSc. en Geología de la Universidad de Pamplona, Colombia, miembro actual del capítulo estudiantil SEG (Society of Economic Geologists) de la Universidad de Pamplona. Actualmente investigador en líneas de estratigrafía, sedimentología, geología de hidrocarburos (petróleo, carbón y gas), su proyecto de grado aborda la temática de integración de datos de núcleos de perforación, modelos sedimentológicos y mapeo de depósitos aplicados a la definición de áreas de interés en la prospección de petróleo.  
ORCID: 0000-0002-4206-8228

**C.M. Bernal-Ruiz**, es Candidato a BSc. de la Universidad de Pamplona, Colombia, tesorero del capítulo estudiantil de la Asociación Americana de Geólogos del Petróleo (AAPG) de la Universidad de Pamplona. Actualmente realizando una prospección geoquímica en el área de la Playa de Belén, Norte de Santander y el enfoque del trabajo de grado es llevar a cabo un análisis geomorfológico de Norte de Santander.  
ORCID: 0000-0002-3432-1561



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN  
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Ingeniería  
Geológica e Ingeniería de Minas y Metalurgia

Oferta de Posgrados

Especialización en Materiales y Procesos  
Maestría en Ingeniería - Materiales y Procesos  
Maestría en Ingeniería - Recursos Minerales  
Doctorado en Ingeniería - Ciencia y Tecnología de  
Materiales

Mayor información:

E-mail: [acgeomin\\_med@unal.edu.co](mailto:acgeomin_med@unal.edu.co)  
Teléfono: (57-4) 425 53 68