

# El carbón y la turba de la cuenca de Limón, Costa Rica

## The coal and peat of Limón Basin, Costa Rica

Kenneth Bolaños<sup>1\*</sup> y Percy Denyer<sup>2, 3</sup>

<sup>1</sup>Consultor independiente, Geología Aplicaciones S.A., San José, Costa Rica

<sup>2</sup>Universidad de Costa Rica (UCR), Centro de Investigación en Ciencias Geológicas (CICG),  
San José, Costa Rica

<sup>3</sup>Universidad de Costa Rica (UCR), Escuela Centroamericana de Geología (ECG),  
San José, Costa Rica

\*Autor para contacto: [keboir@gmail.com](mailto:keboir@gmail.com)

(Recibido: 13/01/2021; aceptado: 29/03/2021)

**ABSTRACT:** The South Limón basin, located in the Caribbean region of Costa Rica, was investigated in the 1980's for its coal resources. A detailed geological description and interpretation was made, which included a large number of drilling, with average depths of 200 m. Coal is found in metric layers interbedded in the lower part of the middle member of the geological unit which is known as the Río Banano Formation, whose age varies from the Upper Miocene to the Pliocene. It is a sedimentary sequence deposited in a predominantly deltaic environment. From a lithological point of view, it corresponds to claystones, siltstones and sandstones, up to conglomerates. Coal exploration was mainly concentrated in the areas of Zent and Uatsi. Peat deposits were also mapped and described at various locations of Limón basin. In total, around 47 million metric tons of subbituminous coal B and C were evaluated, with a caloric value between 4500 and 5500 kcal / kg, which was estimated to be mined in a combination of underground and open-pit mining. The environmental impact and the coverage of sterile material are two of the most negative characteristics for an eventual exploitation of this resource.

**Keywords:** Mineral Exploration; Non-Metallic Mineral Deposit; Energy Material; Peat; Uatsi; Zent.

**RESUMEN:** La cuenca de Limón Sur, en la región Caribe de Costa Rica, fue investigada en los años ochenta por sus recursos carboníferos. Se hizo una descripción e interpretación geológica a escala detallada, que incluyó gran cantidad de perforaciones, con profundidades promedio de 200 m. El carbón se encuentra en capas métricas intercaladas en la parte inferior del miembro medio de la unidad geológica conocida como Formación Río Banano, cuya edad varía desde el Mioceno Superior hasta el Plioceno. Se trata de una secuencia sedimentaria, depositada en un ambiente predominantemente deltaico. Desde un punto de vista litológico, corresponde con arcillolitas, limolitas y areniscas, hasta conglomerados. La exploración de carbón, se concentró principalmente las áreas de Zent y Uatsi. También se cartografiaron y describieron los depósitos de turba en varias localidades de la cuenca de Limón. En total, se evaluaron alrededor de 47 millones de toneladas métricas de carbón subbituminoso B y C, con un poder calórico entre 4500 y 5500 kcal/kg, que se estimó mineable en una combinación de minería subterránea y a cielo abierto. El impacto ambiental y la cobertura de material estéril son dos de las características más negativas para una eventual explotación de este recurso.

**Palabras clave:** Exploración minera; yacimiento no metálico; material energético; turba; Uatsi; Zent.



## INTRODUCCIÓN

El carbón, es un nombre genérico, que se usa para definir un material rocoso compuesto principalmente por el elemento carbono, Miller (2005) define el carbón como una roca sedimentaria, combustible, química y físicamente heterogénea, con componentes orgánicos e inorgánicos. Es uno de los materiales naturales más complejos de analizar y de entender, pues consiste de una mezcla amorfa, producto de la degradación de plantas (Orem y Finkelman, 2003). Desde un punto de vista orgánico, el carbón consiste fundamentalmente de carbono, hidrógeno y oxígeno con cantidades menores de azufre y nitrógeno; los componentes inorgánicos corresponden con diversos compuestos presentes en la ceniza (Miller, 2005).

Los depósitos de carbón se han originado por la acumulación de materia vegetal, que ha sufrido cambios físicos y químicos, producidos por la descomposición de la materia orgánica, enterramiento por sedimentación, compactación y la transformación de los restos de plantas en la roca sedimentaria llamada carbón, donde intervienen activamente dos elementos que son: presión y temperatura (World Coal Association, 2020). El proceso geoquímico que transforma la materia vegetal en carbón es denominado carbonización, que incluye un proceso que pasa de vegetación a turba, lignito, carbón subbituminoso, carbón bituminoso y por último antracita (Miller, 2005).

Dentro del proceso de formación del carbón mineral natural, la turba es la primera etapa de la transformación de la materia vegetal en zonas pantanosas, en un ambiente pobre de oxígeno y tienen poco poder calorífico en la combustión, alrededor de 3500 kcal/kg. En la categoría de los carbones (Cuadro 1), el lignito y el carbón subbituminoso poseen un mayor poder calorífico que la turba, tienen color negro o pardo, estructura fibrosa, fractura concoidea y un poder calórico mayor que 3500 kcal/kg; el carbón sub-bituminoso, con un valor calórico entre 4600 y 6400 kcal/kg; el carbón bituminoso o hulla tiene más que 5800 kcal/kg; y finalmente la antracita es un carbón duro y evolucionado, que representa el último paso en la cadena del carbón, con baja concentración de elementos volátiles y un alto poder calórico, de unos 8000 cal/kg (Smith, Smoot, Fletcher y Pugmire (1994).

Las primeras evidencias sobre el uso del carbón como fuente de energía, lo que implica su minería, provienen de China, aproximadamente 1000 A. C. Su uso en la civilización occidental es dado por Aristóteles. Theophrastus (371-287 A. C.) describe una sustancia fósil usada como combustible. Llegó a ser de primordial importancia a partir de la Revolución Industrial en Europa y Estados Unidos (1750-1850), que se inicia con la invención de la máquina a vapor inventada por James Watt y patentada en 1769. En los siglos XIX y XX, el carbón fue utilizado en maquinaria a vapor, calefacción doméstica y como generador de electricidad. La primera guerra mundial consolidó al carbón como principal fuente de energía. A mediados del siglo XX comienza a ser reemplazado, en el uso doméstico, industrial y el transporte, por petróleo y gas natural (Miller, 2005).

Desde 1890, el carbón ha sido problemático, desde el punto de vista político y social (SEYGAL, 2009). Enerdata (2020), muestra que, según los datos del año 2019, los principales países consumidores y productores son China, India y Estados Unidos. La producción mundial, según datos del año 2018, es alrededor de 4000 millones de toneladas (Statista, 2020).

Dentro de un panorama mundial convulso, confuso y cambiante alrededor del tema energético, en Costa Rica se han hecho algunos intentos de prospección y exploración del carbón y sus elementos asociados como la turba (Obando y Bolaños, 2007); sin llegar nunca a la explotación.

Desde el punto de vista geológico, las capas de carbón existentes en la cuenca de Limón, tienen una edad del Mioceno Superior, como parte de la unidad geológica conocida como Formación Río Banano (Mioceno Superior-Plioceno), definida por Taylor (1975), cuyo ambiente de sedimentación predominante corresponde con deltas (Bottazzi, 2016). Valga decir que esta unidad se correlaciona con la Formación Gatún en la estratigrafía de Panamá (Bolaños, 1983; Malavassi, 1985; JICA, 1985).

Este trabajo pretende, dentro del marco del 30 aniversario de la ocurrencia del terremoto de Limón del 22 de abril de 1991, hacer una síntesis histórica, usando la literatura existente, que pueda usar el lector primerizo para enterarse de lo que significó la exploración carbonífera y de la turba, en la cuenca de Limón. La literatura publicada sobre este tema es escasa, viéndose en los diferentes trabajos la citación de informes internos de Recope, a los cuales no se tuvo acceso. Esto hizo que, por ejemplo, el desarrollo del tema de la exploración en la región de Zent sea muy reducida, pues casi no se encontró información al respecto. Las referencias citadas en este trabajo, sobre el carbón de la cuenca de Limón, son accesibles en la biblioteca de la Escuela Centroamericana de Geología.

Esta recopilación se hace dentro de un marco conceptual geológico, que considera que el estudio de las ocurrencias de los depósitos y yacimientos minerales debe hacerse teniendo en mente su interrelación con los fenómenos sísmicos, geológicos, sedimentarios e ígneos, dentro de una intrincada maraña de acontecimientos que componen la historia geológica de una región.

Cuadro 1

Clasificación del carbón  
American Society for Testing and Materials (ASTM Designación: D 388-99)

Carbón	Material volátil (%) (Smith et al., 1994)	Hidrógeno (% por peso) (Smith et al., 1994)	Carbón (% por peso) (Smith et al., 1994)	Oxígeno (% por peso) (Smith et al., 1994)	Valor calórico kcal/kg (ASTM)
Antracita	1,8-9,9	2,0-3,9	91,0-94,0	2,0-2,8	-
Bituminoso	19,1-44,6	4,4-5,6	77,7-89,9	2,6-3,5	5800-7800
Sub-bituminoso A	44,7	5,3	76,0	16,4	5800-6400
Sub-bituminoso B	42,7	5,2	76,1	16,6	5300-5800
Sub-bituminoso C	44,2	5,1	73,9	19,2	4600-5300
Lignito	46,7	4,9	71,2	21,9	3500-4600

Basado en Wood, Kehn, Carter y Culbertson (1983)

## ASPECTOS HISTÓRICOS

En Costa Rica, se tienen diferentes referencias de recursos carboníferos; en la primera mitad del siglo XIX se promueve la colonización de Costa Rica, con comentarios en diarios europeos con transcripciones como las publicadas en el diario francés *Le Pays*, que fue reproducida por *La Gaceta* del 12 de julio de 1851: “Este país, escondido hasta hoy, ofrece las mayores ventajas a la inmigración extranjera [sic], su riqueza vegetal i [sic] mineral, y particularmente las minas de carbón nuevamente descubiertas...” (Denyer, 2001). En otro diario europeo *Le Courier de Nantes*, y también reproducido por *La Gaceta* del 12 de julio de 1851 se expresa: “... encontraron minas de carbón en [Costa Rica]... dispuesta a recibir con los brazos abiertos, á [sic] todos los extranjeros que quieran ir á [sic] explotar su inmensa riqueza...” (Denyer, 2001).

Otras referencias sobre la existencia de carbón en la zona de Limón son enumeradas por Ramírez (1985a y Recope, 1988), que se refieren a una expedición estadounidense que llegó a la provincia de Limón en 1850, con el fin de explorar el río Coén y dos años después el alemán Wilhen Witting visitó la zona de Hone Creek. En 1880 C. T. Jackson informa de muestras de carbón en la zona fronteriza entre Costa Rica y Panamá (Recope, 1988; Denyer y Soto, 1999).

Gabb (1895) indicó que existe una faja de carbón continua desde la desembocadura del río Changuinola hasta Matina y específicamente menciona las localidades de Watsi, un tributario del río Telire y la cara norte de las montañas negro, cerca de Hone Creek (Gabb, 2007; Denyer y Soto, 2000). La conclusión de William M. Gabb se puede resumir en su frase: “Este carbón se averiguó ser de tan mala calidad como el de la Carpintera y absolutamente impropio para combustible” (Gabb, 1895, p. 69).

En la segunda mitad del siglo XX se realizaron estudios y trabajos de exploración. La Universidad de Costa Rica hizo un estudio de los lignitos (Bravo, 1966). La Dirección de Geología, Minas y Petróleo del Ministerio de Industria y Comercio reportó, en 1964, la presencia de capas de carbón, localizadas unos 8 km al sureste del pueblo de Zent (Ramírez, 1985a; Recope, 1988).

A principios de 1979, la Oficina de Geofísica Aplicada del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) inició un reconocimiento regional de la zona de la Baja Talamanca, con el fin de conocer el potencial de los depósitos carboníferos y la factibilidad económica de su explotación (Recope, 1988). Esta campaña culminó con un informe interno en el año 1978 (Malavassi, 1985). Con base en estos estudios, Costa Rica buscó ayuda internacional y se realizaron algunas giras con la Agencia para el desarrollo (AID) y la Agencia Internacional de Cooperación de Japón (JICA). El 10 de marzo de 1981 se firmó un contrato entre los gobiernos de Costa Rica y Japón, con el fin de realizar investigaciones a nivel de prefactibilidad en Baja Talamanca (Recope, 1988). El 20 de agosto de 1982 el gobierno de Costa Rica, a través del Ministerio de Industria, Energía y Minas le confirió a Recope la responsabilidad total de la investigación y desarrollo de los recursos carboníferos del país (Recope, 1988), lo que conllevó a la continuación e intensificación de los estudios sobre carbón (Malavassi, 1985).

Una campaña de investigación con acceso muy limitado, sin caminos existentes, permitió realizar algunas pocas perforaciones en la cuenca del río Volio (Figs. 2C y 2D), donde existen capas de más de 2 metros de espesor. Se prepararon claros en el bosque para que aterrizara un helicóptero y una máquina de perforación Longyear. Se obtuvieron núcleos en diámetro BQ (36,4 mm), algunos de los cuales, por su peso, no pudieron ser sacados de la montaña.

El periódico La Prensa Libre publica varios párrafos el 4 de febrero de 1981 con el título: Carbón en Talamanca, donde se indica la existencia de yacimientos explotables de carbón en Talamanca. El 9 de diciembre de 1982, el periódico La Nación publica un reportaje con el título: Emprenden búsqueda de carbón en todo el país, en donde se indica que Recope tiene "... indicios alentadores sobre afloramientos de carbón.", con el fin de que "... en futuras décadas ese producto se convierta en el sustituto del petróleo".

JICA asesoró al Instituto Geográfico Nacional (IGN) para la confección de mapas a escala 1:5000, mediante fotogrametría y controles de campo, para un área de 150 km<sup>2</sup>, en Baja Talamanca, que comprendió desde el río Niñey, afluente del río Estrella, hasta las quebradas al este de la cuenca del río Volio, en la localidad de Volio, abarcando los ríos Sand Box, Carbón y Hone Creek, y todas las serranías en las inmediaciones de Cahuita y con la divisoria de aguas del río Estrella, como límite norte (área Uatsi en Fig. 1) (ver las hojas topográficas oficiales del IGN, escala 1:50000 Amubri, Cahuita, Estrella y Sixaola).

Para estos efectos JICA destacó, durante todo el año 1982 a dos geólogos japoneses. Costa Rica, a través del ICE proporcionó la logística de campamentos y vehículos, así como la contraparte de dos geólogos costarricenses (Bolaños, 1983 y Malavassi, 1985). Esta campaña de exploración requirió de una cuantiosa inversión, que incluyó la compra de equipo geofísico (Fig. 2B) y la realización de perforaciones (Fig. 2 C y D), así como la excavación muchos metros de trincheras. De los informes más completos y detallados está el informe de JICA (1983), sobre la exploración de Baja Talamanca, principalmente porque incluye mapas de afloramientos a escala 1:10 000, columnas estratigráficas a escala 1:1000 y correlaciones de las capas de carbón a escala 1:20.

En 1983 se inició un proyecto de exploración entre la Dirección de Recursos Carboníferos de Recope y el U.S. Geological Survey (USGS), proyecto que se llevó a cabo en la zona de Uatsi (Fig. 1). Esta fase de exploración se concentró en la obtención de información mediante perforación y correlación por geofísica (Bolaños, Landis, Roberts y Weaver, 1986).

Los logros de la investigación en Baja Talamanca también dieron pie a una investigación más comprensiva, abarcando las áreas donde existían reportes históricos, como en el área de Zent (Fig. 1). En marzo de 1984 se inició la fase de reconocimiento en un área de 268 km<sup>2</sup>, en donde se entró a una fase de prefactibilidad en agosto de ese mismo año (Recope, 1988).

En la década de los años 80's se analiza la posibilidad de usar el carbón en las fábricas de cemento, como lo evidencia la publicación el periódico La República del 31 de agosto de 1988 con el título: Solución a problema energético estudian fábricas de cemento. El 31 de diciembre de 1989, Olga Marta Cokyeeen, redactora del periódico La Nación publica un artículo con el título: A partir de enero, Recope explotará carbón mineral, yacimientos superan 50 millones de toneladas. Estas intenciones se evidencian también en la publicación de Alvarado e Yglesias (1995), donde se indica que carbón importado había sido la principal fuente de energía de la industria cementera hasta el final de 1950, en que fue sustituido por bunker.

Dentro de las investigaciones realizadas por Recope, desde 1984 también se realizaron muestreos de turba en varias partes del país, dentro de las que se incluye la zona de Limón, principalmente entre Limón y Parismina (Ramírez, 1985b).

Uno de los primeros intentos de exploración de turba se había hecho con base en la elaboración de mapas de Asociación de Sub-Grupos de Suelos de Costa Rica, alrededor de los años 80's. En el año 1984 se realizó un reconocimiento y muestreo en varias zonas del país, que incluyeron la zona de Limón, entre Limón y Parismina (Ramírez, 1985b). Esto se hizo en asocio con el Laboratorio Los Alamos de Nuevo México.

## EXPLORACIÓN DE TURBA

La turba en el Caribe costarricense se encontró principalmente en la cuenca trasarco de Limón, o bien en forma lateral a los meandros principales del sistema fluvial; este material reportó valores caloríficos entre 2975 y 4695 kcal/kg, y las reservas fueron calculadas en alrededor de 40 millones de toneladas métricas (Obando, Malavassi y Estrada, 1995). En el área muestreada, los depósitos tienen espesores mayores a 1 m (Ramírez, 1985b).

Cohen, Obando, Malavassi y Ramírez (1995) mencionan que los depósitos de turba, en el Caribe, corresponden con acumulaciones asociadas a la barrera de costa, tanto en la línea de costa actual, como en otras zonas actualmente inactivas (Obando et al., 1995).

En el Caribe costarricense destacan los depósitos de cuenca trasera, así como los de plano de cuenca, como la zona de Barra del Colorado, Tortuguero, Parismina y Moín (Fig. 1), que se localizan en una franja noroeste sureste, paralela a la línea

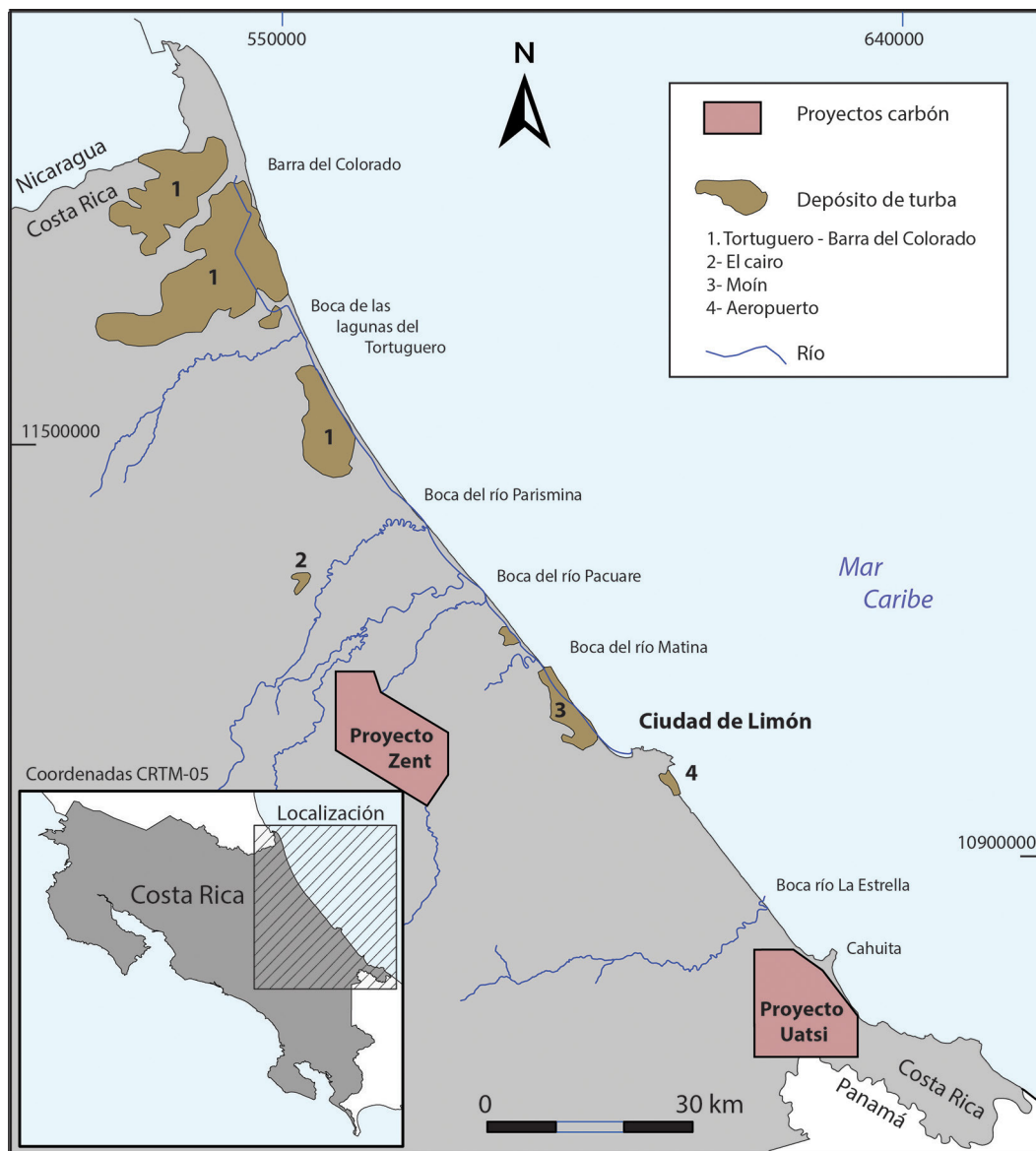


Fig. 1: Localización de los depósitos carboníferos del Caribe de Costa Rica. Basado en Recope (1988), Bolaños et al. (1986), Obando et al. (1995), Samuels y Cubilla (1995). Coordenadas CRTM-05.

de costa. Los depósitos de Tortuguero están asociados a los sistemas de barrera trasera de la costa y al carácter meándrico del sistema de drenaje en la planicie de inundación (Obando et al. (1995).

Los depósitos tienen un espesor máximo de unos 15 m y su contenido orgánico corresponde principalmente con una palma, conocida como Yolillo (*Raphia*) (Obando et al. 1995).

Según los datos de Obando et al. (1995), el depósito de Tortuguero (Fig. 1) tiene un área de más de 70 km<sup>2</sup>, un espesor promedio de 1,2 m y un contenido calorífico de alrededor de 4000 kcal/kg; Moín tiene un área de 34 km<sup>2</sup>, un espesor de 1,6 m y 4000 kcal/kg de contenido calorífico; El Cairo corresponde con 2 km<sup>2</sup>, un espesor promedio de 10 m y 2500 kcal/kg de contenido calorífico; y Aeropuerto tiene 3 km<sup>2</sup>, con 1 m de espesor y casi 5000 kcal/kg de contenido calorífico.





Fig. 2: A) Inauguración de explotación piloto en el proyecto Zent en 1985, preside el presidente de la República Luis Alberto Monge, en el centro de la foto, con camisa blanca, y atrás en el centro, el director del proyecto Pedro Afonso, y a la derecha, con anteojos oscuros, el presidente de Recope Roberto Dobles, así como varios geólogos del proyecto carbón de Recope y diputados de la provincia de Limón. B) Geólogos revisando el equipo de geofísica de pozos para potencial espontáneo, gama natural y electricidad aparente. C) Máquina perforadora B-50 para recuperación de núcleos y ripios alternadamente, Proyecto Uatsi, 1986. D) Campamento de montaña usado para la exploración y ubicación de perforadoras en el proyecto Uatsi, 1986. E) Capa de Carbón V-9, en el proyecto piloto en Uatsi.

## DEPÓSITO CARBONÍFERO DE ZENT

Este depósito se encuentra localizado en la falda norte de la cordillera de Talamaca (Fig. 1), consiste principalmente de 2 capas de carbón intercaladas en la Formación Río Banano, cada una de más de 1 m de espesor y separadas por 9 m. La estructura tectónica de la zona es compleja, con la presencia de plegamiento y fallamiento inverso. El depósito de carbón está en un homoclinal con capas de dirección estratigráfica N75°W, buzando 10° al noreste. Con base en perforaciones efectuadas en la zona, se identificaron 4 capas carboníferas, que de arriba hacia abajo son: La Primera, con 0,65 m de espesor, 15 m abajo está La Segunda con 1,17 m de espesor, seguida por el Indio, que 9 m más abajo tiene 1,8 m de espesor y finalmente 31 m más profundo una capa delgada. El plan de extracción comprendía las dos capas intermedias: La Segunda y El Indio (Samuels y Cubilla, 1995). Bohnenberger y Dengo (1976) reportan un valor calórico entre 4800 a 6050 kilocalorías por kilogramo. En los años 80's, durante la administración del presidente Luis Alberto Monge se inauguró la explotación piloto de este proyecto (Fig. 3 A). Este programa piloto tuvo como objetivo suministrar 600 toneladas métricas al sector cementero e industrial del país y se definió un diseño minero para explotación a cielo abierto (Recope, 1988).

En la planta piloto se hizo un tratamiento del carbón, con el fin de obtener las granulometrías y el porcentaje de humedad para ser utilizado en la Industria Nacional de Cemento. Se obtuvieron tamaños de 0 a 2,54 cm y la humedad se disminuyó de entre 35%-40% a alrededor de 10%, lo cual es significativo al momento de considerar el transporte desde la planta proyectada en Corina (Zent), hasta Cartago. Esta planta estaba constituida por una criba vibratoria, un quebrador tipo Bradford, horno refractario, ciclones, tornillos sinfín, la mayoría construido con material de desecho (R. Samuels, comunicación escrita, 16 de febrero de 2021). El área de Zent representa 5,4 MTM probadas y 5,4 MTM probables y 3,8 MTM posibles (Ramírez, Bolaños y Malavassi, 1995)

Valga recalcar que, como se dijo anteriormente, existen pocas referencias bibliográficas que describan la geología y los trabajos de exploración que se realizaron por Recope, lo que explica la corta descripción de este prospecto en este trabajo.

## GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO CARBONÍFERO DE UATSI

El campo carbonífero de Uatsi, fue el principal objetivo de exploración por Recope, se localiza en Baja Talamanca, al sureste de la provincia de Limón (Fig. 1). Son tres las formaciones rocosas que aparecen en el área del campo carbonífero: Uscari, Río Banano y Suretka, según la estratigrafía propuesta por Taylor (1975). Se hizo una subdivisión de la Formación Río Banano (JICA, 1983) que se puede observar en la figura 3D. La concentración carbonífera se encuentra en la parte inferior del Miembro Medio de la Formación Río Banano (Fig. 3).

El trabajo de campo que se realizó en los años 80's permitió la construcción de un detallado mapa de afloramientos a escala 1:10,000, sobre el cual se hizo una interpretación geológica de la geología superficial (Bolaños, Landis, Roberts y Weaver (1986) (Fig. 3 A y B). Los mapas en detalle se pueden apreciar en JICA (1983).

En las partes bajas de algunos ríos aledaños aparece la Formación Uscari del Mioceno Inferior, constituida principalmente por secuencias clásticas arcillosas depositadas en ambiente marino. Unidades carbonatadas, así como areniscas y lutitas con abundante cemento calcáreo aparecen en la secuencia y su parte superior tiende a ser limosa y con arenas finas. El contacto superior con la Formación Río Banano ha sido descrito tanto como una discontinuidad, como una conformidad gradacional en un contacto transicional (Bolaños, 1983; Malavassi, 1985). En toda el área esta situación no es clara, aunque considerando el contexto de la cuenca sedimentaria, los dos tipos de contactos ocurren dependiendo de la localidad donde se encuentre, sobre todo a los extremos de la subcuenca sedimentaria que corresponde con un ambiente estuarino. La Formación Uscari tiene al menos 750 m de espesor en el área del campo carbonífero de Baja Talamanca (JICA, 1983).

La Formación Río Banano, inicialmente correlacionada con la Formación Gatún de Panamá, se ubica entre el Mioceno Superior y el Plioceno inferior, está compuesta por secuencias clásticas, con granulometrías desde limolitas hasta conglomerados. El resultado geomorfológico de estos materiales se expresa en áreas topográficas de mayor elevación. La Formación Río Banano fue subdividida en tres miembros (JICA, 1983) (Fig. 3 D).



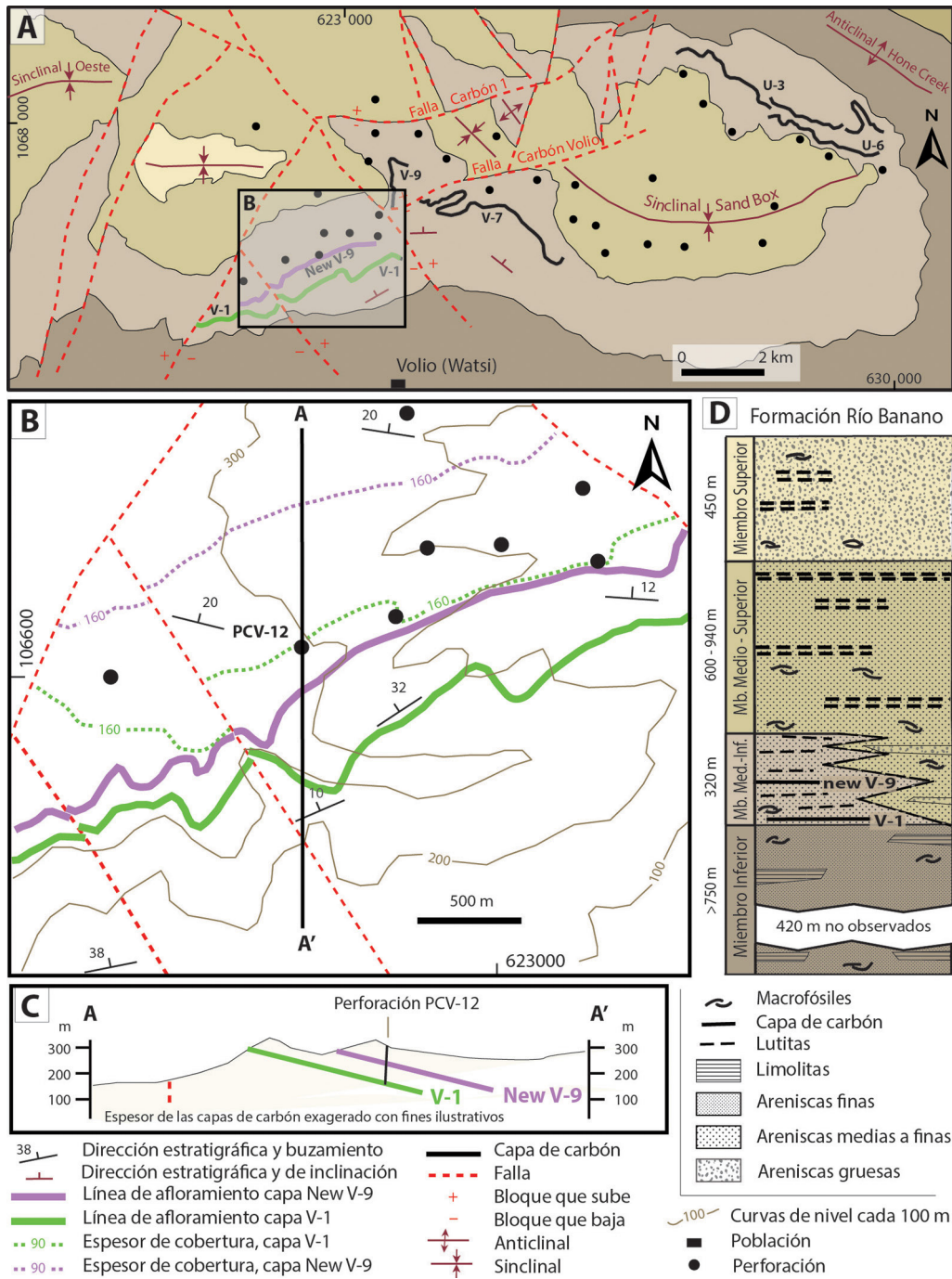


Fig. 3: Proyecto Uatsi. A) Mapa geológico del proyecto Uatsi. Modificado de Bolaños y Salas (1995). Se muestran los afloramientos de las capas de carbón U-3, U-6, V-1, V-9 y V-7. Coordenadas CRTM-05. B) Capas de carbón V-1 y V-9 en el contexto geológico del área del proyecto Uatsi. Modificado de Bolaños et al. (1986). C) Perfil A-A' mostrando las capas V-1 y New V-9. D) Columna litológica generalizada de la Formación Río Banano, en la zona de Baja Talamasca. Modificada de Malavassi (1985), Bolaños et al. (1986) y Bottazzi (2016).



El Miembro Inferior (Malavassi, 1985) está compuesto por limolitas, lutitas y lutitas arenosas de color gris sanas. Posee intercalaciones de areniscas finas con pocas concreciones calcáreas y algunos fósiles, principalmente moluscos. El Miembro Inferior tiene al menos de 270 m de espesor en el área de Uatsi (JICA, 1983).

Malavassi (1985) describe el Miembro Medio de forma que se divide en una parte carbonífera y otra parte lateral estéril. La sección carbonífera del Miembro Medio tiene al menos 320 m de espesor y en total tiene alrededor de 900 m. Litológicamente está compuesta por intercalaciones de areniscas finas, medias y gruesas con selección pobre a moderada, de color gris a gris azulado, granulométricamente hasta conglomerados. Presenta concreciones o nódulos calcáreos diseminados y de tamaños variables entre 5 y 20 cm de diámetro. Los conglomerados se observan en la parte superior e inferior; lentes de conglomerado intercalados también son frecuentes y corresponden con rellenos de canal. Destaca la presencia de carbón, plantas fósiles y frecuentes intercalaciones de materia orgánica. La presencia de moluscos puede ser abundante en algunas partes de la secuencia. Las capas de carbón potencialmente aprovechables están en la parte inferior del Miembro Medio (JICA, 1983; Bolaños, 1983; Malavassi, 1985).

El Miembro Superior se caracteriza por un aumento en la granulometría. Está compuesto, generalmente, por areniscas de grano más grueso que el Miembro Medio, contiene guijarros de 5 y hasta 15 cm de diámetro, comúnmente más resistente a la erosión que el resto de materiales de los otros miembros (Fig. 3). Los clastos son predominantemente compuestos por lavas andesítica (JICA, 1983; Bolaños, 1983; Malavassi, 1985).

Regionalmente, la Formación Suretka cubre estratigráficamente, en forma concordante y/o discordante a la Formación Río Banano, y está compuesta por conglomerados de regular selección, con una cementación de regular a mala y que corresponden con los depósitos aluviales de piedemonte, cuyo origen se atribuye al ascenso de la cordillera de Talamanca.

La Formación Suretka no aflora directamente en el área del proyecto Uatsi, sin embargo, cabe mencionar que a escasos 5 km está la sección tipo de la formación y por correlación con los levantamientos superficiales realizados por el cuerpo de geólogos de la exploración petrolera, podría discutirse si la parte superior del miembro superior de Río Banano pudiera corresponder con la base de Suretka (Bolaños, 1983; Bolaños et al., 1986)

## GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Desde un punto de vista tectónico, el área es compleja, con anticlinales y sinclinales relativamente simétricos y un fallamiento contemporáneo y posterior al plegamiento (Bolaños, 1983). Los sinclinales principales tienen una tendencia del eje con dirección este-oeste, ligeramente curvados. El anticlinal de Hone Creek, en el extremo noreste del área (Fig. 3A) tiene una tendencia noroeste, al igual que otros pliegues menores entre las fallas Carbón 1 y Carbón-Volio (Malavassi, 1985).

Algunas de las fallas tienen un componente inverso de alto ángulo, como las fallas Carbón 1 y Carbón-Volio, con una dirección WSW-ENE curvadas cóncavas hacia el norte, en que el bloque norte asciende con respecto al bloque sur. El desplazamiento de las fallas puede alcanzar varios cientos de metros (Malavassi, 1985). Las fallas noroeste tienen un movimiento vertical, en que el bloque suroeste baja con respecto al noreste, lo que da una separación sinistral (Fig. 3B).

El levantamiento detallado de los afloramientos y las perforaciones realizadas han permitido la correlación de las secuencias litológicas y principalmente de las capas de carbón potencialmente explotables (Bolaños et al., 1995).

## CALIDAD DEL CARBÓN, CARACTERÍSTICAS DE MINADO Y RESERVAS

El carbón de las principales capas es, en su mayoría subbituminoso tipo B y C (ver Cuadro 1) negro, frágil y de fractura concoidea. El poder calórico oscila entre los 5000 y 7000 kcal/kg y en este caso la humedad es de 30%, cenizas del 12% y material volátil 32%, todo esto como parámetros básicos, aunque fueron determinados todos los parámetros necesarios para el diseño de calderas y su aprovechamiento en altos hornos como las fábricas de cemento (Bolaños, 1994; Alvarado e Yglesias, 1995), pues el carbón puede tener utilidad como combustible de altos hornos, calderas y plantas de generación eléctrica.

Se realizaron, al menos 20 perforaciones exploratorias, totalizando 4000 m de perforación para agosto de 1985 m. Las perforaciones variaron entre 135 a 255 m de profundidad, con un promedio de 200 m (Bolaños et al., 1986). Las perforaciones se hicieron como un complemento del levantamiento de campo y la elaboración de trincheras en los sitios de afloramientos, para hacer las respectivas descripciones. También se realizaban trincheras en sitios teóricos proyectados geométricamente, para verificar la continuidad de las capas estudiadas.

Dentro de las capas de carbón más importantes se pueden mencionar la U-3 y U-6 en la parte oriental del área (Fig. 3A). La capa U-3 tiene un espesor de 0,9 m, con 0,8 m de carbón, 11,1 a 13,1% de ceniza y un poder calorífico de 5000 kcal/kg y se pudo seguir unos 5 km (Fig. 3A). La capa U-6 tiene un espesor de 0,9 m, de los cuales 0,75 m son de carbón de 4800 kcal/kg, con 18% de ceniza (Malavassi, 1985).

En la parte central occidental (Fig. 3B) se observan dos capas principales, la V-1 y la V-9. La capa inferior (V-1) debía ser recuperada por minería subterránea, pero alguna minería a cielo abierto podía ser hecha a lo largo del afloramiento. La capa superior, V-9 (Fig. 3B), se podía recuperar con minería a cielo abierto en un área de cerca de 0,4 km<sup>2</sup>, con un factor de cobertura (Fig. 3C) de menos que 20 a 1 (Bolaños et al., 1986). La calidad de carbón se muestra en los análisis de laboratorio presentados en el Cuadro 2.

En la parte más occidental destaca la capa V-1, que posee una mayor estabilidad estructural, con un afloramiento relativamente continuo de unos 5 km, una dirección estratigráfica casi este-oeste (Figs. 3A y 3B). Unos 60 m estratigráficamente por encima, se encuentra la capa V-9 (Fig. 2E). La capa V-1 tiene un máximo de 5400 kcal/kg y entre 11 y 27% de ceniza. La capa V-9 tiene un máximo de 5,7 kcal/kg y 9 a 11% de ceniza (datos de Malavassi, 1985).

Las rocas enriquecidas con capas de carbón y materia orgánica, en general están plegadas, deformación que dificulta una posible explotación. Cuando las capas están basculadas en una sola dirección, resulta también en dificultades por la cobertura de material estéril que habría que remover, como se observa en las capas V-1 y V-9 (Fig. 3B), por lo que minería subterránea sería necesaria para parte de la extracción de las reservas asociadas a estas estructuras.

Durante el trabajo de exploración se establecieron los parámetros complementarios para el establecimiento de una mina híbrida, en parte superficial (25-35%) y en parte subterránea (65-75%), los cuales fueron estudiados y determinados, tal es el caso de la pluviometría (estaciones de Amubri y Sixaola), hidrogeología (pruebas de bombeo: transmisividad, permeabilidad, coeficiente de almacenamiento, etc), geotecnia con ensayos practicados a cada uno de los materiales de la secuencia litológica, dirigida al establecimiento de los parámetros necesarios para diseñar taludes estables en el caso de tajos y soporte temporal en caso de túneles: Cálculo de módulos, curvas esfuerzo-deformación. Típicamente los valores de la deformación varían entre 175 y 5800 MPa, por ejemplo. También se hicieron pruebas de compresión confinada. Los métodos de clasificación rocosa analizados para la secuencia rocosa siempre correspondieron con rocas pobres o suaves de fácil extracción (Easy to moderate ripability, very easy to easy caving) (Malavassi, 1985; Bolaños, 1983).

El proyecto Uatsi representaba 19,3 MT de reservas probadas y 9,1 MT de reservas probables y 4,1 posibles (Ramírez, Bolaños y Malavassi, 1995). Según los datos de Obando y Bolaños (2007), las reservas para 1989 eran de 32,5 millones de toneladas métricas en Uatsi y 17,06 millones de toneladas métricas en el área de Zent (Cuadro 3). Se establecieron reservas mineables (Samuels y Cubilla, 1995), entendiendo por estas, aquellas que responden a las calculadas considerando parámetros tales como el stripping ratio (cantidad de cobertura que debe ser removido), cutoff térmico (mínimo grado requerido para un minado económicamente rentable), para lo cual se contó con el asesoramiento de la Empresa Española de Energía ENDESA (R. Samuels, comunicación escrita, 16 de febrero de 2021).

Dentro de los factores que dificultarían una posible explotación de este recurso sería el factor ambiental, pues varias capas tienen un denso bosque en su superficie, que habría que talar para la extracción del carbón. Además, las capas tienen buzamientos de 10° a 40°, lo que causa que haya que remover coberturas importantes, como se puede observar en el perfil A-A' para las capas V-1 y New V-9 (Fig. 3 C).

## OBSERVACIONES FINALES

Este trabajo, a pesar de ser una compilación y síntesis de anteriores publicaciones e informes internos, deja claro que la exploración de carbón realizada en la década de los años ochenta, representó una cuantiosa inversión país. Se realizaron investigaciones de campo, que incluyeron trincheras y perforaciones, en un ambiente selvático difícil.

Cuadro 2

Análisis para afloramientos de las capas V-1, V-7 y V-9 (Bolaños, 1983).

Capa	Muestra	% humedad	% cenizas	% volátiles	% carbón fijo	Calor de combustión kcal/kg	% Azufre	Gravedad específica g/cm <sup>3</sup>
V-1	T011910	10,4	15,6	38,7	35,3	4780	4,29	1,64
V-1	T011915	9,7	11,5	40,5	38,3	5440	2,7	1,5
V-7	T020447	10,9	26	35,5	26,8	4120	3,5	1,72
V-7	M012708	11	24,6	34,8	29,6	4540	2,9	1,68
V-9	T011604	11	8,8	42,9	37,3	5630	0,9	1,45
V-9	T011607	12,9	11,3	41,1	34,1	5170	1,56	1,64
V-9	T011612	15,1	9,9	40,7	34,3	5200	1,2	1,49
V-9	T011604							
superior	10,2	8,1	42,9	38,8	5670	1,4	s.d.	
V-9	T011604							
medio	10,2	10,3	42	37,5	5400	0,5	s.d.	
V-9	T011604							
inferior	10,6	10	41,9	37,5	5460	0,7	s.d.	

Análisis realizados con muestras en condiciones naturales ("as received", lo que implica valores de combustión inferiores a los usados en la clasificación de carbón, por lo que se asignó un aumento teórico de estos valores (Bolaños, 1983). Tipo de análisis: Proximate analysis (Wood et al., 1983), según JICA (1983).

s.d.: sin dato

Los informes y publicaciones disponibles sobre las exploraciones realizadas en los años ochenta son escasas.

El carbón de la zona Caribe de Costa Rica es de tipo subbituminoso B y C, con un poder calórico entre 4500 y 5500 kcal/kg, excepcionalmente llegando a 7000 kcal/kg. Carbón con una posible utilización en altos hornos, calderas y plantas térmicas de generación eléctrica.

Los depósitos de turba tienen valores caloríficos entre 2975 y 4695 kcal/kg y se extiende en varias áreas paralelas a la costa Caribe, principalmente en la parte trasera de la barra costera, con espesores máximos de 15 m.

Las reservas de carbón probables totales de la zona Caribe de Costa Rica ascienden a unos 47 millones de toneladas métricas, tomando en cuenta las zonas de Uatsi y Zent y considerando las reservas probadas, posibles y mineables.

Después de analizar todos los parámetros complementarios estratégicos para el establecimiento de una mina en el área de Uatsi, se estima que la minería responde a un 25 a 30% de reservas a un nivel que podrían ser extraídas mediante minería a cielo abierto y de un 65 a 75% de las reservas deberían extraerse mediante túneles en una minería subterránea.

Cuadro 3

Reservas y calidad del carbón promedio (datos tomados de Obando y Bolaños, 2007).  
Reservas hasta 1989, clasificación ASTM.

Proyecto	Área de interés (km <sup>2</sup> )	Tipo de carbón (ASTM)	Ceniza (%)	Material volátil (%)	Azufre (%)	Espesor máximo (m)	Reservas totales (MTM)
Uatsi	144	Subbituminoso B y C	13,9	37,71	1,7	2,1	32,5
Zent	268	Lignito A a subbituminoso B y C	12,15	27,24	0,98	2,2	17,06

MTM: Millones de toneladas métricas

Los recursos totales de los proyectos Uatsi y Zent fueron elevados al nivel de reservas desde probadas hasta posibles en un total de 47 millones de toneladas métricas.

Dentro de las dificultades que afrontaría una explotación del recurso carbonífero destaca el impacto ambiental y la cobertura de material estéril, para minería a cielo abierto.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradecen los comentarios y sugerencias de dos revisores, Rogelio Samuels y otro anónimo. Esta publicación es un aporte del proyecto 830-A0-242 de la Universidad de Costa Rica.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, F. e Yglesias, R. (1995). Utilizing coal in the cement industry in Costa Rica. En R. L. Miller, J. A. Reinemund y M. J. Bergin (eds), *Energy and Mineral Potential of the Central American-Caribbean Region. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series* (Vol. 16, pp. 174-178). Berlin: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-79476-6\_27
- Bohnenberger, O. H., y Dengo, G. (1976). Coal resources of Central America. *Geological Society of America Special Paper*, 179, 65-72.
- Bolaños, K. (1983). *Evaluación geológica de los depósitos carboníferos de Baja Talamanca para un estudio de prefactibilidad, provincia de Limón, Costa Rica* (Tesis de Licenciatura inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Bolaños, K. (1994). *Theoretical Analysis of the Technical Mine Conditions of the Extraction for the Uatsi Coal Deposit in Costa Rica* (Tesis de doctoral inédita). Technical University of Mining and Metallurgy of Ostrava Faculty of Mining and Geology, Czech Republic.
- Bolaños, K. y Salas, M. (1995). Coal Resources of the Baja Talamanca Area of Costa Rica. En R. L. Miller, J. A. Reinemund y M. J. Bergin (eds), *Energy and Mineral Potential of the Central American-Caribbean Region. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series* (Vol. 16, pp. 162-167). Berlin: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-79476-6\_27
- Bolaños, I. K., Landis, E. R., Roberts, S. B. y Weaver, J. N. (1986). *Coal exploration Stage I, Uatsi Project, Baja Talamanca, Costa Rica; results and recommendations. Open-File Report, 86-2*. U.S. Geological Survey. Recuperado de <http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr86121>
- Bottazzi, G. (2016). *Tratado de sedimentología de la cuenca Limon Sur-Costa Rica: evolución tectono-sedimentaria, secuencia y reconstrucción paleogeográfica* (Tesis de licenciatura inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Bravo, S. (1966). *Estudio sobre las características y composición de los lignitos de Zent y Venado* (Tesis de licenciatura inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Cohen A.D., R. O., Obando L., Malavassi y L., Ramirez A. (1995). Peat Deposits of Central America and the Caribbean Region. En R. L. Miller, J. A. Reinemund y M. J. Bergin (eds), *Energy and Mineral Potential of the Central American-Caribbean Region. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series* (Vol. 16, pp. 193-197). Berlin: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-79476-6\_27



- Denyer, P. (2001). Las leyendas de las minas del Tisingal y La Estrella en Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 25, 49-62.
- Denyer, P. y Soto, G. (1999). Contribución pionera de William M. Gabb a la geología y cartografía de Costa Rica. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 25(2), 103-138.
- Denyer, P. y Soto, G. (2000). Análisis de los trabajos geológicos de William M. Gabb sobre Costa Rica, a la luz del paradigma geológico del siglo XIX. *Revista Geológica de América Central*, 23, 97-118.
- Enerdata. (2020). *Anuario estadístico mundial de energía 2020*. Recuperado de <https://datos.enerdata.net/carbon-lignito/produccion-carbon.html>
- Gabb, W. M. (1895). *Informe sobre la exploración de Talamanca verificada durante los años 1873-1874 (introducción de Henri Pittier)*. San José, Costa Rica: Tipografía Nacional.
- Gabb, W. M. (2007). On the Geology of the Republic of Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 37, 103-118.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). (1983). *Predeasibility study report for the Baja Talamanca coal development project in the Republic of Costa Rica*. Japón: Japan International Cooperation Agency (JICA).
- Malavassi, L. (1985). *Geología general del área sur de Baja Talamanca en relación con los depósitos de carbón, provincia de Limón-CR* (Tesis de licenciatura inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Miller, B. G. (2005). *Coal Energy Systems*. Netherlands: Elsevier.
- Obando, L. G., y Bolaños, K. (2007). Coal and peat resources. En J. Bundschuh y G. E. Alvarado (eds), *Central America, geology, resources, hazards* (pp. 917-930). Netherlands: Taylor & Francis.
- Obando L. G., Malavassi, L. R. y Estrada, R. (1995). Deposits of Peat in Costa Rica. En R. L. Miller, J. A. Reinemund y M. J. Bergin (eds), *Energy and Mineral Potential of the Central American-Caribbean Region. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series* (Vol. 16, pp. 197-207). Berlin: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-79476-6\_27
- Orem, W. H. y Finkelman, R. B. (2003). Coal Formation and Geochemistry. *Treatise on Geochemistry*, 7, 407. doi: 10.1016/b0-08-043751-6/07097-3
- Ramírez, O. (1985a). El carbón en Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 2, 89-94.
- Ramírez, O. (1985b). La turba en Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 3, 163-168.
- Ramírez, O., Bolaños, K. y Malavassi, L. (1995). Exploration, development and utilization of coal in Costa Rica. En R. L. Miller, J. A. Reinemund y M. J. Bergin (eds), *Energy and Mineral Potential of the Central American-Caribbean Region. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series* (Vol. 16, pp. 159-161). Berlin: Springer. doi: 10.1007/978-3-642-79476-6\_27
- Recope (Refinadora Costarricense de Petróleo) (1988). *Antecedentes de la evaluación del carbón mineral en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Recope. Manuscrito inédito.

- Samuels, R. y Cubilla, G. (1995). A mining design for the Zent coal, Limon, Costa Rica. En E. G. Miller R. L., Reinemund J. A. y Bergin M. J. (ed.), *Energy and Mineral Potential of the Central American-Caribbean Region. Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series* (Vol. 16, pp. 169-173). Springer, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-79476-6\_27
- SEYGAL (Seguridad y Calidad Microambiental). (2009). El carbón en Castilla y León. Junta de Castilla y León. Recuperado el 19 de diciembre de 2020. <https://www.siemcalisa.com/images/pdf/EI%20Carbon.pdf>.
- Smith, K. L., Smoot, L. D., Fletcher, T. H. y Pugmire, R. J. (1994). *The structure and reaction processes of coal*. New York: Springer Science.
- Statista. (2020). *Producción mundial de carbón de 1998 a 2018*. Recuperado de <https://es.statista.com/estadisticas/635488/volumen-de-carbon-producido-a-nivel-mundial/>
- Taylor, G. D. (1975). *The geology of the Limón area of Costa Rica* (Tesis de doctorado inédita). Louisiana: University of Louisiana.
- Wood, G. H., Kehn, T. M., Carter, M. D. y Culbertson, W. C. (1983). *Coal Resource Classification System of the U. S. Geological Survey*. Denver: U. S. Geological Survey Circular 891.
- World Coal Association. (2020). *The coal resource: A comprehensive overview of coal*. Recuperado de [https://www.worldcoal.org/file\\_validate.php?file=coal\\_resource\\_overview\\_of\\_coal\\_report\(03\\_06\\_2009\).pdf](https://www.worldcoal.org/file_validate.php?file=coal_resource_overview_of_coal_report(03_06_2009).pdf)