

Andrés Franco-Herrera
Lyda Marcela Grijalba-Bendeck
Juan Pablo Ibáñez Reyes
José Nicolás Daza Gómez

CARBÓN, CLIMA, PLAYAS Y PECES:

EL CASO DE LA ZONA COSTERA
DEL DEPARTAMENTO
DEL MAGDALENA



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
JORGE TADEO LOZANO

CARBÓN, CLIMA, PLAYAS Y PECES
EL CASO DE LA ZONA
COSTERA DEL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA

Andrés Franco-Herrera

Lyda Marcela Grijalba-Bendeck

Juan Pablo Ibáñez Reyes

José Nicolás Daza Gómez



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
JORGE TADEO LOZANO

Carbón, clima, playas y peces. El caso de la zona costera del departamento del Magdalena / Andrés Franco Herrera ...
[et al.]. – Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2011.
186 p.; 24 cm.

ISBN: 978-958-725-068-8

1. CARBÓN – ASPECTOS AMBIENTALES – MAGDALENA (COLOMBIA) 2. CONTAMINACIÓN MARINA – MAGDALENA (COLOMBIA). I. Franco Herrera, Andrés.

CDD577.727”C264”

© Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
Carrera 4 N° 22-61 – PBX: 242 7030 – www.utadeo.edu.co

Carbón, clima, playas y peces.
El caso de la zona costera del departamento del Magdalena

ISBN: 978-958-725-068-8

Primera edición: abril de 2011

Rector: José Fernando Isaza Delgado
Vicerrector académico: Diógenes Campos Romero
Director de Investigación, Creatividad e Innovación: Manuel García Valderrama
Decano Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería: José Daniel Bogoya Maldonado
Decano Programa de Biología Marina: Iván Rey Carrasco
Director Sede Santa Marta: Hernando Valencia Abdala

Director (E) editorial: Jaime Melo Castiblanco
Coordinación editorial: Henry Colmenares Melgarejo
Revisión de textos: Oscar Johan Rodríguez
Diseño y diagramación: Denise Rodríguez Ríos

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización escrita de la Universidad.

CONTENIDO

PRÓLOGO

AGRADECIMIENTOS

Capítulo 1

Una visión global de la problemática del carbón. Conceptos generales	1
Presentación.....	3
1.1 ¿Por qué estudiar la problemática del carbón en el Caribe centro colombiano?	5
1.2 El carbón y los puertos carboníferos en el departamento del Magdalena.....	10
1.3 El embarque del carbón y sus posibles impactos en el medio marino.....	14

Capítulo 2

Creando metodologías para la investigación del carbón en playas y peces	27
Presentación.....	29
2.1 Presencia de carbón en playas y en la columna de agua	31
2.1.1 Selección de playas	31
2.1.2 Delimitación de áreas de muestreo en cada playa	32
2.1.3 Estado del tiempo y condición oceanográfica	34
2.1.4 Análisis del sedimento obtenido en playas.....	36
2.1.5 Análisis de carbón en el sedimento	39
2.1.6 Análisis de partículas de carbón en la columna de agua.....	43
2.1.7 Aproximaciones numéricas a la acumulación del carbón en sedimentos de playa y columna de agua	44
2.2 Presencia de carbón en peces.....	45
2.2.1 Selección de puntos de muestreo.....	45
2.2.2 Procesamiento y revisión de material biológico	49
2.2.3 Análisis histológico	51
2.2.4 Aproximaciones numéricas para la evaluación del carbón o partículas negras en órganos internos de peces	54

Capítulo 3

Dinámica meteorológica y oceanográfica de la zona costera del departamento del Magdalena.....	57
Presentación.....	59
3.1 El clima, las corrientes superficiales y la persistencia de la Contracorriente Panamá-Colombia.....	61
3.2 Comportamiento del pH en aguas superficiales cercanas a playas turísticas.....	69

Capítulo 4

Carbón en playas de la zona costera del departamento del Magdalena.....	79
Presentación.....	81
4.1 Granulometría de las playas a lo largo de la región centro y sur del Magdalena.....	83
4.2 Concentración de carbón en playas turísticas de la zona costera del departamento del Magdalena.....	84

Capítulo 5

Carbón y partículas negras en peces de importancia comercial en la zona costera del departamento del Magdalena.....	93
Presentación.....	95
5.1 Material biológico colectado.....	97
5.2 Revisión anamnésica de las especies ícticas.....	102
5.3 Frecuencia de aparición de carbón y partículas negras.....	105
5.4 Variación espacio-temporal de la presencia de partículas negras.....	149
5.5 Impactos potenciales del carbón sobre la comunidad íctica.....	153

Capítulo 6

Conclusiones finales y recomendaciones	157
---	------------

Bibliografía.....	163
--------------------------	------------

A la memoria de Elsa Herrera de Franco (AFH).

A “Pachito” por su fortaleza que para mí es ejemplo de vida (LMGB).

*A Ximena Reyes, mi madre, partícipe permanente de mis logros
personales y profesionales (JPIR).*

*A mis padres Luisa y Nicolás y a mis abuelos Cecilia y José Nefalí
por ayudar a realizar mi sueño de ser Biólogo Marino (JNDG).*

PRÓLOGO

Las investigaciones marinas de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (UJTL) en el ámbito costero han buscado a través de los últimos cinco años, focalizarse en los impactos positivos o negativos que la actividad portuaria, turística y pesquera puedan tener sobre los ecosistemas asociados, en especial la columna de agua, el bentos, los arrecifes coralinos, el sistema pelágico, los manglares y las playas. Junto a ello, han dedicado parte de sus esfuerzos a evaluar comunidades en riesgo o peligro de extinción, dentro de las cuales, se resaltan algunas especies de peces óseos, cartilagosos, reptiles y mamíferos marinos.

De acuerdo a esta filosofía y enmarcados en las líneas de investigación de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, en especial, aquella enfocada a la sostenibilidad e impacto ambiental, se quiso profundizar desde la academia en los posibles efectos que la actividad portuaria carbonera podría llegar a tener sobre playas turísticas en el departamento del Magdalena, así como en una comunidad marina relevante para el sostenimiento de la población humana de la región, como son los peces de importancia comercial obtenidos a través de la pesca artesanal.

De esta manera se creó el proyecto de investigación *Presencia del carbón en las playas turísticas y en una comunidad bioindicadora de la zona costera del departamento del Magdalena* (código No. 145-04-08), el cual fue financiado en su totalidad por la UJTL, a través de la Dirección de Investigación, Creatividad e Innovación, en el marco de las convocatorias internas de investigación del año 2008, y fue llevado a cabo por el Grupo de Investigación *Dinámica y Manejo de Ecosistemas Marino-Costeros - Dimarco*, conformado desde 2003, avalado por la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (UJTL) y registrado y reconocido ante Colciencias (Grupo B, COL0026228) y apoyado por el *Grupo de Investigación en Peces del Caribe - Gipeca* (Grupo B, COL 0037243).

Así, se conformó un grupo científico con participación de las diferentes escalas de formación académica y en donde profesores de tiempo completo, estudiantes tesistas y voluntarios del Programa de Biología Marina, apoyaron la ejecución en todas su fases de desarrollo.

Producto de esta investigación, se generaron dos trabajos de grado para optar al título de Biólogo Marino, desarrollados en su momento por los estudiantes tesistas del Programa de Biología Marina José Nicolás Daza Gómez y Juan Pablo Ibáñez Reyes y dirigidos por los profesores de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería Andrés Franco-Herrera y Lyda Marcela Grijalba-Bendeck, todos coautores de este libro.

La realización de investigaciones que tratan temas de interés para la comunidad y que a su vez se constituyen en herramientas de manejo y sostenibilidad de los ecosistemas marinos y costeros del país, son un valioso aporte que abre la discusión académica e investigativa constructiva en pro del uso multifuncional responsable de los ecosistemas del país. Lo anterior llevó a trascender estos trabajos de grado en un libro que trata, a lo largo de seis capítulos, de mostrar al lector los conceptos teóricos del carbón, la importancia de la meteorología y la oceanografía en la dinámica de este mineral, ofrecer a la discusión nuevas metodologías para el estudio del carbón en playas y peces marinos y profundizar en este ecosistema y comunidad biológica, la presencia de carbón originario de la actividad de almacenamiento o embarque en la zona costera del departamento del Magdalena. De esta manera, con una lectura amena y ampliamente diagramada, se sintetizan las fortalezas y falencias en la investigación marina en el tema, ahondando en el efecto potencial del carbón mineral en esta sección del Caribe colombiano. Es esta una invitación a participar más activamente en mejorar metodologías y generar espacios de discusión proactivos que lleven a un uso adecuado de la zona costera donde las actividades portuarias, turísticas y pesqueras, así como todas las comunidades biológicas asociadas, vivan en completa armonía.

Andrés Franco-Herrera, Ph.D.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más profundos agradecimientos a la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, en particular a la Rectoría, a la Vicerrectoría Académica, a la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, al Programa de Biología Marina y a la Dirección de Investigación, Creatividad e Innovación, dependencias dinamizadoras de la actividad académica y científica institucional y dentro de las cuales se enmarcó esta investigación. De esta forma, extienden su gratitud por el apoyo incondicional, continuo y motivador al Doctor José Fernando Isaza Delgado, Rector, al Doctor Hernando Valencia Abdala, Director de la Sede Santa Marta, al Doctor Diógenes Campos Romero, Vicerrector Académico, al Director de Investigación, Creatividad e Innovación Doctor Manuel García Valderrama, al Decano de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería Doctor José Daniel Bogoya Maldonado y al Decano del Programa de Biología Marina, Doctor Iván Rey Carrasco.

Igualmente, a todo el personal logístico e investigativo que acompañó las actividades de campo y laboratorio, contribuyendo constructivamente al procesamiento de la información científica y a la generación de trabajos de grado, en particular a los profesores Olga Esperanza González Sarmiento, Adolfo Sanjuán Muñoz, Valeria Pizarro Novoa, Guiomar Aminta Jáuregui Romero, Jean Rogelio Linero Cueto, Luisa Marcela Villamil y Orlando Pedro Lecompte Pérez. Así mismo al personal administrativo y técnico de la Sede Santa Marta, en particular a Nélide Navarro Pérez, Alexi Torres Morales, Lamia Piedad Cuello Daza, Edgar Iván Alzamora Correa, Carlos Alberto Charris Sierra, Rogelio Rafael Hernández Beltrán y Jaime Carranza Granados, cuya ayuda fue fundamental para el buen desarrollo de las actividades.

Se resalta el apoyo del personal científico de los grupos de Investigación Dinámica y Manejo de Ecosistemas Marino-Costeros y grupo de Investigación de Peces del Caribe, por su acompañamiento en campo y laboratorio, en especial a Diana Milena Bustos Montes, Camila Posada Peláez, Angie Maribeth Santafé Muñoz, José Andrés Cuéllar Pinzón, Cristhian Olaya Reyes, María Camila Gómez Cubillos, Yuli Alexandra Páez Herrera, Javier Alfonso Torres Rodríguez, Carlos Mario Palacios Barros, Diana Carolina Restrepo Gómez y Melany Sepúlveda Villarraga.

El éxito de los procedimientos histológicos fue logrado gracias al apoyo de todo el personal de laboratorios de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano en la Sede Bogotá, en especial a Iván Antonio Morales Forero, Luer León Vargas, Audrey Rivera Vargas, Carlos Casallas Parra, Hernán Villarraga Cardozo, Lida Goretty Castro Martínez y Pablo Andrés Guerrero Bernal, y al respaldo administrativo y logístico brindado por el Programa de Biología Marina, en especial a Ana Liliana Rocha García y Gladys Amarillo Arias.

Nuestra gratitud a todas las personas que de una u otra manera apoyaron esta nueva propuesta científica y despertaron el interés por el desarrollo de las investigaciones en la problemática del carbón.

Presentación

El primer capítulo de este libro busca que el lector tenga un conocimiento global de la importancia de adelantar investigaciones en la problemática del carbón. La interrelación existente entre los muelles carboneros, la actividad turística, el uso de las playas como zonas de recreación y la actividad pesquera artesanal en la zona costera del departamento del Magdalena, hacen de esta problemática un escenario complejo, con un importante realce al desarrollarse en un área de alta riqueza ecosistémica, con presencia de Parques Nacionales Naturales y con un conjunto de comunidades costeras que obtienen su sustento de la pesca y del turismo. Posteriormente, invita al lector a conocer qué es el carbón, cuál es la composición y propiedades generales del mineral que se exporta a través de los muelles carboneros del departamento. Así mismo, da una explicación de la estrategia de embarque y los posibles impactos que ésta puede generar, haciendo una revisión cuidadosa de los antecedentes científicos que se tienen en la región sobre comunidades biológicas, especialmente bentos y peces, y los impactos positivos o negativos que han sucedido en las últimas dos décadas por el hundimiento de barcazas. Bajo este marco general, se plantean una serie de preguntas de investigación, que se busca responder a través de los siguientes capítulos y cuyo fin principal es establecer si realmente hay algún impacto en las playas y en los peces asociados a la plataforma continental del departamento del Magdalena.

Capítulo 1

**Una visión global de la problemática del carbón.
Conceptos generales**

1.1 ¿Porqué estudiar la problemática del carbón en el Caribe centro colombiano?

La zona costera central del mar Caribe colombiano que incluye la plataforma continental del departamento del Magdalena desde el río Palomino al oriente hasta Bocas de Cenizas en el occidente (11° 00' y 11° 15' N - 74° 10' y 75° 30' W), comprende una región de alta riqueza ecosistémica y con geomorfología costera única gracias a la presencia de la Sierra Nevada de Santa Marta. A lo largo y ancho de su porción marino-costera, se encuentran diferentes biotopos, ecorregiones (*i.e.* Palomino, Tayrona, Magdalena) y subregiones (*i.e.* Golfo de Salamanca y Ciénaga Grande de Santa Marta), donde se combinan diversos factores ecológicos como la morfología del litoral, el régimen climático, el oleaje y la circulación de las masas de agua, constituyéndolo un sistema altamente complejo (figura 1.1). Franco-Herrera (2005a) la describe como una franja costera de 220 km, donde se distinguen diferentes ambientes costeros. Del suroeste hacia el noreste se puede observar la desembocadura del río Magdalena, principal arteria fluvial de Colombia; la Ciénaga Grande de Santa Marta, cuerpo lagunar con aproximadamente 450 km² de espejo de agua, separado del mar Caribe por la Isla de Salamanca y comunicado con él por la Boca de la Barra. Posteriormente, se encuentran una serie playas arenosas, ensenadas y bahías abiertas de playas cortas y rodeadas de sistemas montañosos correspondientes a las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, las cuales conforman la Ensenada de Gaira, la bahías de Santa Marta, Taganga y aquellas pertenecientes al Parque Nacional Natural Tayrona (*i.e.* Granate, Concha, Chengue, Gayraca, Nenguange y Cinto).

Esta alta complejidad, hace de la región un área muy vulnerable a los impactos de origen antrópicos. Si bien es cierto que dichos impactos afectan las comunidades pelágicas y bentónicas de la zona marina y algunos atributos físicos y químicos de la columna de agua, también lo es que las playas y el espacio litoral son generalmente los más afectados. Alteraciones a nivel de playas, no sólo incluyen los impactos físicos del carbón sobre las comunidades biológicas que allí habitan, sino que se amplían a la problemática socio-económica, ya que buena parte de estas áreas han sido entregadas en concesión a las empresas carboneras a pesar de abarcar importantes calderos de pesca, lo cual ha generado desplazamiento de los pescadores a otras áreas, que ponen actualmente en riesgo la supervivencia económica de las poblaciones de pescadores artesanales de las regiones costeras (Almanza *et al.*, 2004; Piqueras, 2007), como también de la industria turística.

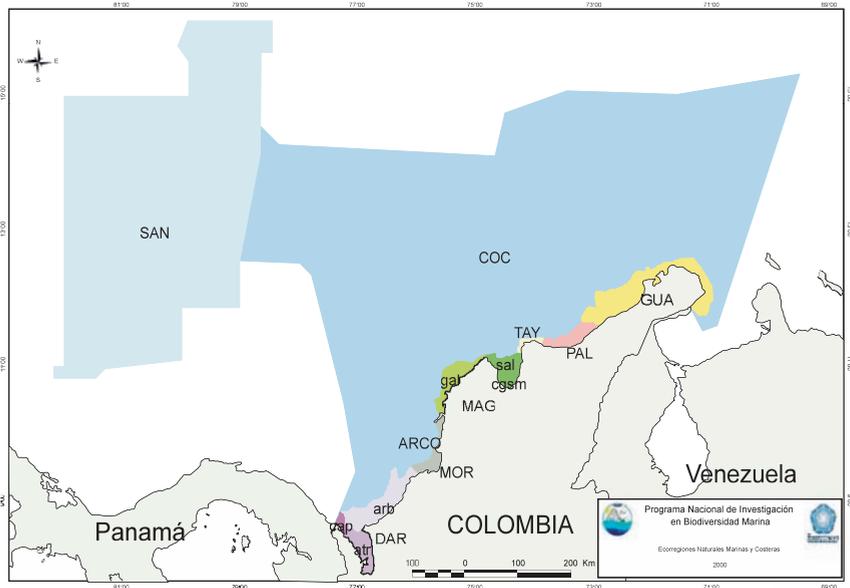


Figura 1.1. Ecorregiones naturales marinas y costeras del Caribe centro y noreste de Colombia. Guajira (GUA), Palomino (PAL), Tayrona (TAY), Magdalena (MAG), Morrosquillo (MOR), Archipiélagos Coralinos (ARCO), Darién (DAR) Caribe oceánico (COC), Archipiélago de San Andrés y Providencia (SAN) (donado por el Laboratorio SIG-Invemar 2004).

Por lo anterior, estas áreas constituyen un recurso frágil en el que confluyen intereses de la industria turística, del comercio y aspectos socio-culturales de las comunidades allí asentadas, todos tan importantes como complejos para la zona costera del departamento del Magdalena. Así por ejemplo, el Magdalena se caracteriza por presentar una alta diversidad íctica conformada por especies bentónicas, demersales y pelágicas cuya riqueza puede sobrepasar las 180 especies dependiendo de la proximidad a las localidades más urbanizadas donde se reduce la composición íctica (Grijalba-Bendeck *et al.*, 2004; Reyes-Nivia *et al.*, 2004; Alzate *et al.*, 2005). Muchas de estas especies han sido y son en la actualidad sustento diario para los pescadores artesanales de la región, así como para las cadenas productivas que de ellos parten, como comercializadores, hoteles y restaurantes.

Dentro de los posibles impactos de la actividad carbonífera en áreas cercanas a playas turísticas o de actividad pesquera, se encuentran las modificaciones que sobre ellas se generan por la construcción de infraestructuras portuarias, la inaccesibilidad por motivos de seguridad a las áreas marítimas y/o terrestres donde tradicionalmente se efectuaban actividades turísticas y pes-

queras, el vertimiento de carbón que conlleva desvalorización paisajística de las playas; aspectos que en consecuencia generan desinterés por estas zonas recreativas, causando disminución del turismo en esta región y afectación de la pesca artesanal como principal actividad económica tradicional. Como es lógico, esto genera pérdidas económicas que afectan a la población beneficiaria de la extracción de recursos y al comercio turístico y hotelero (Defensoría del Pueblo de la República de Colombia, 2008).

Durante las últimas décadas, el departamento del Magdalena se ha venido destacando por el importante desarrollo de las operaciones portuarias, que favorecen la comercialización de acero, vehículos, papel, cartón, productos químicos, agrícolas e industriales. Particularmente, las operaciones relacionadas con el transporte, carga y descarga de carbón mineral con fines de exportación, se consideran piezas clave dentro de las actividades mencionadas y son efectuadas por cuatro entidades: la Sociedad Operadora de Carbón en Santa Marta, Carbosán Ltda., ubicada en el terminal portuario de la ciudad; la Sociedad C.I. Prodeco S.A. en el municipio de Puerto Zúñiga; Puerto Drummond, propiedad de la compañía carbonera estadounidense Drummond Ltd., localizado en el municipio de Ciénaga y el puerto privado de la Sociedad Portuaria de Ciénaga, usado para la operación propia de C.I. Carbones del Caribe S.A. y de Embocarbón S.A., que igualmente se encuentra en dicho municipio (figura 1.2).

Los principales productores de carbón en el mundo son China, Estados Unidos, India, Australia, Rusia y Sudáfrica, los cuales aportan cerca del 82% de la producción mundial. Colombia es el país con mayores reservas en América Latina y el sexto exportador del mundo con una participación del 6,3%, equivalente a 50 megatoneladas (Mt) anuales (UPME, 2004a; 2004b). En los últimos años se ha consolidado como segundo producto de exportación nacional después del petróleo y se estima que podría alcanzar el primer lugar en los próximos 10 años (UPME, 2005a). En Colombia, el 95% de las reservas de carbón se ubica en los departamentos de La Guajira, Cesar, Córdoba, Norte de Santander, Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Valle del Cauca y Cauca. En estas zonas se explota y se procesa el carbón de las clases hulla bituminosa y hulla sub-bituminosa, empleados principalmente para la fabricación de coque, tipo de carbón usado en la producción de vapor por combustión para generación de energía y en procesos industriales (Ingeominas, 2001; UPME, 2006).



Figura 1.2. Ubicación geográfica de los diferentes puertos de carbón presentes a lo largo de la zona costera del departamento del Magdalena (tomado y modificado de Google Earth, 2009).

En síntesis, el departamento del Magdalena es una zona de alto potencial y desarrollo portuario, de gran influencia en la exportación del carbón y consecuentemente en la economía del país, y a su vez agrupa una amplia actividad turística, cuyo principal atractivo son las playas que se extienden desde el Parque Nacional Natural Tayrona hasta el Golfo de Salamanca, las cuales igualmente son el área natural de trabajo de pescadores artesanales, quienes hacen uso de este espacio para pescar, acopiar y comercializar el recurso pesquero, que sin duda alguna, apoya igualmente la actividad turística. Así, muelles de carbón, pescadores y turismo presentan sinergias que se procuran dilucidar —así sea parcialmente en este texto—, y que buscan responder interrogantes de interés general para la comunidad como:

- ∞ ¿Hay acumulación de carbón en las playas turísticas de la región del Magdalena?
- ∞ ¿Hay presencia de carbón en suspensión en la columna de agua y está afectando su calidad fisicoquímica?
- ∞ ¿Hay presencia de carbón en peces obtenidos a partir de diferentes artes de pesca (*e.g.* chinchorro, línea de mano y trasmallo), usados en la región de Santa Marta?

- ☞ Hay variaciones espacio-temporales en la concentración de carbón en las playas, en la columna de agua y en su presencia en las comunidades ícticas?
- ☞ ¿Cómo afectan las condiciones meteorológicas y oceanográficas la posible dispersión del carbón?

La investigación para dar respuesta parcial o total a estas preguntas fue llevada a cabo por el Grupo de Investigación *Dinámica y Manejo de Ecosistemas Marino-Costeros - Dimarco*, conformado desde 2003, avalado por la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (UJTL) y registrado y reconocido ante Colciencias (Grupo B, COL0026228) y apoyado por el *Grupo de Investigación de Peces del Caribe - Gipeca* (Grupo B, COL 0037243), ambos grupos con ubicación permanente en la Sede Santa Marta de la UJTL. El Proyecto estuvo adscrito a la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, específicamente al programa de Biología Marina y fue financiado en su totalidad por la Dirección de Investigación, Creatividad e Innovación de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, bajo el proyecto No. 145-04-08 titulado *Presencia del carbón en las playas turísticas y en una comunidad bioindicadora de la zona costera del departamento del Magdalena*.

1.2. El carbón y los puertos carboníferos en el departamento del Magdalena

El carbón es una sustancia mineral constituida por sedimentos fósiles orgánicos, altamente comprimidos, originada en grandes yacimientos en el período del Carbonífero, el cual fue formado gracias a las lignitas, la celulosa y otras sustancias que sufrieron transformaciones como la humificación, turbanización, putrefacción y desintegración, siendo las dos primeras las de mayor influencia en la formación del carbón (Traverse, 1994; Invemar, 2001; UPME, 2006). Este mineral está conformado principalmente por carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno además de otros elementos y minerales como es el caso del hierro (pirita y limonita), azufre, arcillas (caolinita) y cenizas que pueden encontrarse en menor o mayor concentración. Pueden estar unidos en forma de hidrocarburos aromáticos policíclicos o HAP, moléculas de dos o más anillos aromáticos de seis carbonos fusionados generalmente bencénicos que conforman la estructura molecular básica de algunos compuestos fósiles como el carbón y el petróleo (Neff, 2002), o, junto con elementos metálicos, de compuestos minerales como pirita (FeS_2), caliza bituminosa (FeO y SiO_2) y limonita (FeO , OH n H_2O_2) (Invemar, 2001). Las partículas de carbón varían en su forma, generalmente con fracturas desde curvas hasta irregulares y una estructura interna lamelar (figura 1.3).

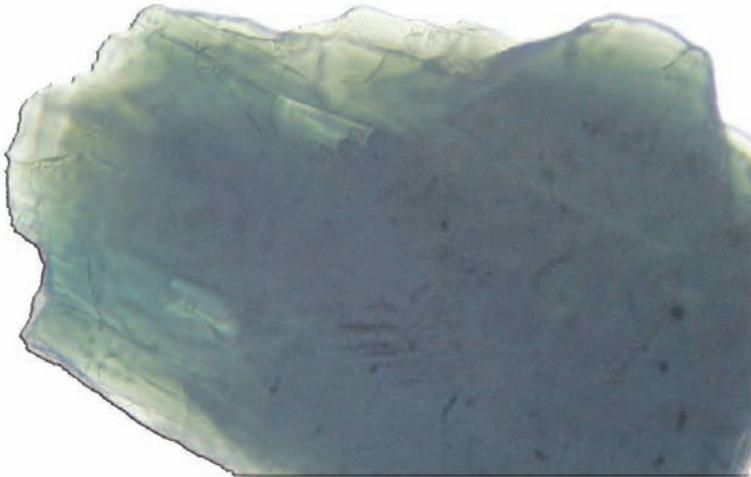


Figura 1.3. Partícula de carbón observada al microscopio de luz en 100x de aumento. Se detalla su estructura lamelar y bordes irregulares y redondeados (fotografía: Andrés Franco-Herrera).

Además, muchas de las partículas de carbón poseen terminaciones agudas fuertes o bordes terminales redondos (Allen, 1987). Su color puede variar entre pardo oscuro a negro, la dureza se encuentra entre 0,5 – 2,5 según la escala de dureza de Friedrich Mohs y se clasifica según su rango (grado de metamorfismo), tipo (composición química) y clase (porcentaje de cenizas o pureza de éste; Invemar, 2001). Así, la *American Society for Testing and Materials* (ASTM D-388-777) divide el carbón en cinco clases (UPME, 2005b; tabla 1.1; figura 1.4):

- a) Antracita que es el mismo carbón duro, el cual contiene un alto contenido de carbón (86% a 96%), bajo contenido de materia volátil y es utilizado en la industria como combustible calórico.
- b) Hulla bituminosa o carbón coquizable, este posee un menor contenido de carbón y es utilizado para la obtención del acero.
- c) Hulla sub-bituminosa, el cual contiene menor poder calórico que los carbones bituminosos y un contenido de carbón de 35% a 45%, además de un alto nivel de material volátil. Es utilizado en procesos industriales y en la obtención de energía.
- d) Lignito y Turba, estos carbones tienen un alto contenido de humedad, cenizas y de material volátil, generando un bajo poder calórico, son utilizados especialmente en procesos industriales y en calefacciones.

Tabla 1.1. Clasificación del carbón mineral, teniendo en cuenta diferentes propiedades físicas y químicas. CF: Carbón fijo. MV: Material volátil. H: Humedad. PC: Poder calórico (%) (tomado de UPME, 2005b).

TIPO	CF (%)	MV (%)	H (%)	PC (Btu/Lb)
Antracita	86 - 98	1	< 15	> 14000
Hulla bituminosa	45 - 86	32	15 - 20	10500 - 14000
Hulla sub-bituminosa	35 - 45	50	20 - 30	7800 - 10500
Lignito y Turba	25 - 35	96	> 30	4000 - 7800

El carbón es un elemento muy quebradizo y aunque no presenta problemas de derrames y fugas como los otros combustibles fósiles (*i.e.* petróleo y gas), sí genera otros contaminantes, por ejemplo (Invemar, 2002):

- ☞ Cuando está siendo transportado, embarcado, triturado y almacenado en los patios de los puertos aledaños a las zonas costeras y marinas.
- ☞ Como el polvillo de carbón contiene azufre, éste puede reaccionar con el agua, generando ácidos de azufre.

- ☞ El azufre de las partículas de carbón puede reaccionar con los óxidos de azufre de la atmósfera y generar ácidos sulfurosos y sulfúricos.



Antracita

Negro con tonalidades azules
brillantes + Brillo vítreo
Carbón > 95%



Hulla

Negro + Brillo graso
Carbón 75-90%



Lignito

Pardo a negro
Carbón 55-75%



Turba

Pardo a negro
Carbón < 50%

Figura 1.4. Diferentes tipos de carbón, de acuerdo a su contenido del mineral y carga calórica (tomado de ETSP, 2009).

Buena parte del carbón que llega a la zona costera del departamento del Magdalena proviene de la Jagua de Ibirico en el departamento del Cesar y se caracteriza por contener altas proporciones de material volátil bituminoso, rico en carbón y pobre en oxígeno y en otras sustancias volátiles, haciéndolo que pertenezca al grupo C, de tipo 800 a 711, según la clasificación mundial. El contenido de cenizas varía entre 1 – 20% y el contenido de azufre es menor al 1%. De otra parte, el tipo de carbón que se encuentra en el Cerrejón,

departamento de La Guajira, el cual llega en menor proporción a la región, es de alto valor térmico y su material volátil varía entre 38 y 42%, su potencial calorífico promedio es de 7500 cal/g y es considerado como un carbón con un bajo contenido de azufre (Invemar, 2001; tabla 1.2). Debido a las bajas concentraciones de azufre en el mineral que llega a la región de Santa Marta, hace suponer que el efecto químico de las partículas que se depositan en zonas marinas no sea tan grave, como sí el de aquellos minerales que pudieran contener altas concentraciones de compuestos azufrados.

Tabla 1.2. Calidad de carbón extraído en La Guajira y Cesar; H: Humedad, Cz: Cenizas, MV: Material Volátil, CF: Carbono Fijo, St: Azufre total y PC: Poder Calorífico (tomado UPME, 2005b).

ZONA	ÁREA	SECTOR	H (%)	Cz (%)	MV (%)	CF (%)	St (%)	PC (BTU/Lb)
La Guajira Cesar	Cerrejón Norte		11,94	6,94	35,92	45,2	0,43	11,586
	La Loma	Sinclinal La Loma	11,39	10,32	33,37	66,63	0,72	10,867
		Boquerón	10,29	5,61	36,79	47,31	0,59	11,616
	La Jagua de Ibirico	La Jagua	7,14	5,32	35,7	51,84	0,62	12,606

Los puertos que se encuentran en la región del Magdalena dedicados a la exportación de carbón son:

- ✓ Carbosán. Inició sus operaciones en junio de 1990, maneja un sistema de cargue directo al buque o barcazas con un volumen de exportación actual de 33 millones ton/año (La República, 2008; figura 1.5).
- ✓ C.I. Prodeco. Inició actividades en la región en 1979, maneja un sistema de cargue por medio de barcazas y un volumen de 6 millones ton/año (IMC Portal, 2007a; figura 3).
- ✓ Drummond. Empezó operaciones en 1996 y maneja un sistema de cargue por medio de barcazas y un volumen de exportación de 50 millones de ton/año (El Heraldo, 2008).
- ✓ C.I. del mar Caribe (Ciénaga). Puerto privado para la operación propia de C.I. Carbones del Caribe S.A. y de Emcarbón S.A. La totalidad

del carbón que se exporta por este punto es transportado por camión (Ministerio de Transporte *et al.*, 2008).

1.3. El embarque del carbón y sus posibles impactos en el medio marino

La actividad de embarque de carbón que todas las empresas realizan, es un suministro importante en el sostenimiento económico de la región Caribe y del país, ya que manejan un promedio de 23,1 millones de ton/año de exportaciones (Nieves y García, 1992). Sin embargo, en los últimos años han aumentado las exportaciones de carbón en un 19,6%, constituyéndose así en el segundo renglón de exportación del país (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2008).

En términos generales, los muelles carboníferos apilan el carbón que viene procedente de las minas de extracción a cielo abierto en patios cercanos a la zona costera y al muelle de embarque. Desde allí, es llevado por bandas transportadoras hasta el barco directamente (figura 1.5) o bien hasta una barcaza (figura 1.6); en este último caso, las barcazas son dirigidas por medio de remolcadores hasta los buques de cargue y el paso a los depósitos del mismo se adelanta mediante grúas que almacenan el producto en su interior (figura 1.7).

Este mecanismo de transporte tiende a generar un impacto ambiental, el cual afecta la calidad de las aguas marinas de las zonas de influencia por la liberación de polvillo de carbón al aire y al agua o de partículas de mayor tamaño que pueden precipitarse al bentos o ser transportadas vía eólica o por corrientes generando acumulación en las playas, lo cual tiene un impacto negativo sobre el turismo (Nieves y García, 1992). A continuación se describen algunos de los principales impactos, unos positivos y otros negativos:



Figura 1.5. Banda transportadora y embarque directo de carbón en el puerto de Carbosán, en la bahía de Santa Marta (fotografía: Andrés Franco-Herrera).



Figura 1.6. Banda transportadora y embarque sobre una barcaza en el muelle de C.I. Prodeco en el Golfo de Salamanca, al sur del aeropuerto Simón Bolívar (fotografía: Andrés Franco-Herrera).



Figura 1.7. Imágenes de grúas utilizadas para el almacenamiento de carbón desde las barcasas a los depósitos de los buques cargueros (fotografía: Andrés Franco-Herrera).

- a) *Hydrocarburos Aromáticos Policíclicos* (HAP): Campbell y Devlin (1997) sugieren que 13 diferentes HAP de bajo y alto peso molecular son liberados en el agua de mar, en lo que se ha denominado como contaminación por polvillo de carbón. Dentro de estas sustancias se destacan el benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, indeno(1,2,3-cd)pireno y benzo(g, h, i)pireno (figura 1.8), todos HAP de alto peso molecular que pueden inducir a la formación de metabolitos mutagénicos a nivel hepático (Stein *et al.*, 1990; Stegeman y Hahn, 1993; Campbell y Devlin, 1997), afección que parece ser exclusiva de los peces teleósteos (Hahn y Stegeman, 1994).

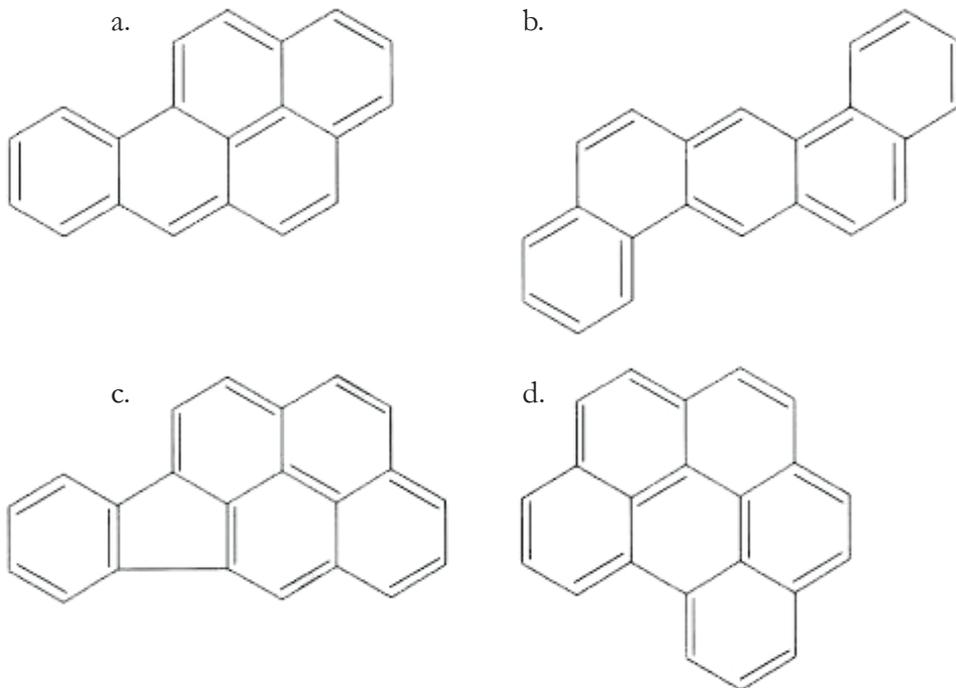


Figura 1.8. Estructura molecular de algunos HAP potencialmente carcinogénicos para peces teleósteos. **a)** Benzo(a)pireno. **b)** Dibenzo(a,h)antraceno. **c)** Indeno(1,2,3-cd)pireno. **d)** Benzo(g,h,i)pireno (modificado de Tuvikene, 1995).

- b) *Hundimiento de barcazas*: estos naufragios se han constituido en un factor negativo para la calidad del ambiente. Entre estos eventos se pueden citar el hundimiento en 1997 de una barcaza entre el Morro y el Morrito en la bahía de Santa Marta a 40 m de profundidad, en el 2001 de la barcaza Liliana y en el 2002 de la barcaza Caribe-217 (figura 1.9), los cuales generaron un gran impacto en los ecosistemas

marinos al afectar la calidad del agua, debido a que quedaron grandes cantidades de material particulado en el medio, que al combinarse y reaccionar con el medio acuático cambiaron las características originales del ecosistema pelágico de las áreas afectadas (Invemar, 2002). Otro aspecto negativo en el hundimiento de las barcazas es que éstos generan un efecto mecánico sobre los corales como lo es el aplastamiento, la sedimentación, la fragmentación, las raspaduras y el desprendimiento de colonias, causando el estrés que a largo plazo genera el blanqueamiento en sus tejidos (*i.e.* pérdida de zooxantelas), las cuales son simbiosis de los corales que representan su obtención de energía durante el día (Agudelo, 1993). También generan efectos negativos a otros grupos, como esponjas, octocorales y zoanthideos, además de crear una sombra parcial que afecta a los organismos fotosintéticos que se encuentran asociados al sustrato marino como las macroalgas (Invemar, 2002).



Figura 1.9. Ejemplo de barcaza que se utiliza en la zona costera del departamento del Magdalena, para el transporte de carbón desde el muelle de embarque hasta los buques carboneros y que han naufragado en diferentes sectores de la plataforma continental (fotografía: Andrés Franco-Herrera).

- c) *Precipitación de partículas de carbón al lecho marino*: cuando una partícula de carbón se deposita en el fondo o lecho marino y es de gran tamaño (*i.e.* $> 1000 \mu\text{m}$), puede ser colonizada por organismos sésiles, pasando de ser un material potencialmente contaminante, a un sustrato para su anclaje (Agudelo, 1993), debido a que estas comunidades buscan establecerse sobre sustratos duros, en este caso el carbón, el cual les proporciona las condiciones adecuadas para su desarrollo (Invemar, 2001). Es importante recordar que las comunidades bentónicas están compuestas por casi todos los *Phyla*, con una amplia diversidad en sus formas, tamaños, estilos de vida, mecanismos de alimentación, comportamiento y respuestas al estrés. Esto se debe a que no poseen movilidad, tienen ciclos de vida largos, están íntimamente relacionados con el sustrato (donde se acumula material orgánico particulado) y responden rápidamente a las perturbaciones que se den en el medio. Además, son muy importantes en el reciclamiento de nutrientes en la columna de agua y al sedimento, por lo tanto una continua sedimentación de partículas en el fondo marino como el carbón genera ya impactos negativos, llevando a que se creen fondos inestables que dificulten el asentamiento de las larvas que colonizan estos medios bentónicos, alterando la estructura comunitaria y permaneciendo sólo aquellos que se adapten rápidamente al estrés alóctono. Por todo lo anterior, estos individuos bentónicos son clasificados como buenos bioindicadores de perturbaciones antrópicas y naturales (Martín y Bastida, 2008); así por ejemplo, las especies de las familias Capitellidae y Spionidae son utilizadas como bioindicadores, ya que son de hábitos oportunistas, colonizan áreas de sustrato que se han deteriorado y han quedado libres para que éstas se establezcan, por lo tanto si dichas taxas se encuentran en mayor abundancia en la fauna asociada al sustrato, podrían indicar que hay disturbios en el medio por vectores tanto físicos, como de contaminación orgánica (American Port Company, 2004).
- d) *Polvillo de carbón*: se define como las partículas de carbón con un tamaño de entre $53 \mu\text{m}$ y $2360 \mu\text{m}$, el cual se genera en minas carboníferas por el transporte de este material (Ryan y Bustin, 2006). La dispersión del polvillo de carbón está asociada a las variables climáticas y oceanográficas como la dirección y la velocidad del viento, los patrones de corrientes e incluso la misma fuente generadora del polvillo, una vez que la cantidad de emanación va a ser determinante para

establecer la capacidad de acumulación y su dispersión. Una vez este mineral entra en contacto con el agua se genera un impacto ecológico, dependiente de las características fisicoquímicas y otros elementos asociados a éste.

Las partículas de carbón que se mezclan con el agua del mar, afectan directamente el pH del medio marino causando una disminución en la columna de agua y en la interfase agua-sedimento, generando efectos ambientales sobre los organismos que se encuentren en ese medio, ya que éstos no pueden sobrevivir en un medio con un pH de entre 1,8 y 5, en donde los más afectados serán los individuos sésiles, los cuales en muchos casos, son el sustento alimenticio para especies de importancia comercial y ecológica (Invemar, 1997). Además, las partículas de polvillo de carbón pueden causar una disminución en la capa fótica de la columna de agua, afectando las poblaciones de plantas microscópicas al disminuir la radiación fotosintéticamente activa proveniente del sol, lo cual conllevaría a que el nivel de clorofila disminuyera en el fitoplancton, generando un efecto de *bottom up* sobre la red trófica y en consecuencia un desequilibrio en las comunidades marinas. Complementariamente, estas partículas de carbón pueden generar lesiones físicas a los organismos fitoplanctónicos y zooplanctónicos por medio de choques entre ellos o por consumo de este elemento en el caso del zooplancton filtrador (Invemar, 2002). Específicamente, Agudelo (1993) estableció el impacto que las partículas de polvillo de carbón tiene sobre los organismos filtradores, en este caso, el rotífero filtrador *Brachionus plicatilis*, el cual causa un efecto negativo sobre el crecimiento del mismo.

- e) *El carbón y la pesca*: de acuerdo a la composición química del carbón particulado y a su baja solubilidad, se presume que el efecto del polvillo de carbón que cae al mar durante los procesos de cargue, es básicamente físico y no muy diferente al efecto combinado de los sedimentos, el cual se considera actualmente como el mayor contaminante de aguas en Estados Unidos, a causa de la erosión hídrica (Gray y Sotir, 1996). Se ha propuesto que los sedimentos incrementan la turbidez del agua, transforman el hábitat por su acumulación en pozas del fondo, afectando sitios de reproducción de los peces, dificultando la obtención de alimento para la ictiofauna herbívora y deteriorando los refugios para los peces de menor edad y tamaño.

Estos efectos traen graves consecuencias para los ciclos biológicos de los peces, tanto sobre aquellos pelágicos que viven en función de la columna del agua, como en los demersales que guardan relación con el fondo, específicamente por la pérdida de puntos de fijación para sus huevos (Forman *et al.*, 2003).

Desde la fisiología de los peces, el carbón en conjunto con otros sedimentos, tienen específicamente dos efectos, uno es su acción más directa en el roce continuado de estas partículas con la piel, produciéndoles daños y erosiones en la epidermis y el segundo es la afectación que producen en los sistemas respiratorios, acumulándose en las branquias, bloqueándolas hasta producir asfixia, en un proceso que puede verse agravado por descensos de los niveles de oxígeno que se extienden por ciertos períodos de tiempo. No obstante, estos eventos son más frecuentes en cuerpos de agua cerrados o semicerrados, donde la sedimentación es permanente, los movimientos del agua son limitados y ocurren generalmente por el efecto conjunto de otros factores (*i.e.* sobrecrecimiento de fitoplancton, aumento en la temperatura, entre otros).

En este análisis hay también que considerar los efectos de la operación de cargue en sí misma, en este sentido se propone que por un lado los remolcadores y las barcazas ejercen un efecto en la estructura de los ensamblajes ícticos, ahuyentando los cardúmenes de peces, siendo un efecto difícil de evaluar. Pero por otro lado se debe reconocer que las estructuras propias de estas empresas como muelles, pilotes, monoboyas, entre otras, ejercen un efecto atrayendo a los peces, a través de un comportamiento que aprovecha su instinto natural por la búsqueda de estructuras duras como fuente de alimento o refugio, en lo que se conoce como un efecto de tigmotropismo o tigmorreacción (Ramírez, 2006). De esta manera, estas estructuras actúan como Dispositivos Agregadores de Peces (DAP), ofreciendo ventajas como servir de sitios para el asentamiento larval, refugio para juveniles, alimentación y protección para juveniles y adultos; a esto se suma que en las áreas aledañas a estos puertos no se permite la pesca, ni el ingreso de los pescadores a sus instalaciones ni a sus alrededores, generando pequeñas áreas protegidas en las que constituyen complejos ensamblajes ícticos en sitios donde por la carencia de fondos duros no estarían presentes.

- f) *Partículas de carbón y sociedad*: la dispersión de carbón puede generar también impactos sociales. Investigaciones acerca del efecto del polvillo de carbón en la salud humana describieron la presencia y consecuencias de manchas negras a nivel de la pleura parietal en trabajadores del gremio minero en Alemania que corresponden a acumulaciones de polvillo de carbón responsables de lesiones o reacciones inflamatorias resultantes de la formación de granulomas hialinos y la irritación de células mesoteliales (Müller *et al.*, 2002). En la República Checa Hajduková *et al.* (2005) reportaron que la exposición continua a polvillo de carbón, aunque no es causante de atopia, rinitis o asma, sí produce bronquitis y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (COPD). En Colombia, se han reportado como principales factores deletéreos en la salud humana las molestias o sensaciones de incomodidad provocadas por el polvo de carbón, su generación de aguas turbias y su efecto en el incremento de la presión del aire (Defensoría del Pueblo de la República de Colombia, 2008). Específicamente, Invermar (2001) indica que las nubes de polvillo de carbón han afectado la salud del personal de la sede de Punta de Betín, además de los daños en los equipos de trabajo del Instituto.

Ejemplo de estos impactos se encuentran consignados en los mismos monitoreos que han realizado las empresas carboníferas, como parte de sus mecanismos de evaluación y control. La Drummond, en su informe anual del año 2005, en el que da cumplimiento ambiental a los requerimientos de la Nación, registra el seguimiento de las fluctuaciones en las propiedades físicoquímicas del agua y en las comunidades infaunales. Así por ejemplo, para 2005 informan que en las aguas superficiales, las concentraciones de sulfatos disminuyeron aunque los componentes orgánicos no metálicos tendieron a aumentar, la salinidad y los elementos diluidos no han cambiado, el pH tendió a disminuir ligeramente, la turbidez ha disminuido excepto en el área cercana al muelle debido a la influencia del río Toribio y los remolcadores. También encontraron que la densidad de individuos ha disminuído, con valores de entre 145 y 346 individuos/0,125 m², menores a aquellas encontradas el año inmediatamente anterior, cuando el número mínimo había sido de 291 individuos/0,125 m² y el máximo de 615 individuos/0,125 m² (Drummond, 2005). Ya, para el año 2007, los resultados del informe del cumplimiento ambiental de la Drummond, muestran una densidad de individuos de 120–460 individuos/0,125 m² menor al muestreo realizado en 2006, en donde el mínimo fue

de 209 individuos/0,125 m² y un máximo de 271 individuos/0,125 m², mostrando de esta manera los impactos potenciales que se pueden generar sobre las comunidades bentónicas asociadas a los sectores costeros con actividad carbonífera (Drummond, 2007).

El Invermar, en torno a la problemática ambiental que se ha generado por el carbón, ha realizado algunos trabajos de investigación y seguimiento a los impactos generados por las actividades de los puertos en especial del puerto carbonero de Carboacán, el cual influye en las áreas aledañas a Punta de Betín (figura 1.10). De esta manera, ha emitido las alertas pertinentes y necesarias a la Sociedad Portuaria de Santa Marta, prestando la colaboración necesaria para tratar de controlar este problema ambiental. Es así como Agudelo (1993) con el apoyo del Invermar, inició los primeros estudios sobre el efecto del carbón en el terminal marítimo de Santa Marta. Este estudio dio como resultado, que el carbón en el medio acuático no libera sustancias nocivas para las comunidades marinas a corto plazo, así como tampoco la utilización de bloques de carbón en el fondo marino como sustrato para organismos sésiles como esponjas y celenterados. Basados en comparaciones de colonización entre sustrato de roca y carbón, encontró que el carbón (*i.e.* partículas > 1000 µm) es colonizado al igual que la roca por individuos sésiles que buscan sustrato para poderse anclar y desarrollar su ciclo de vida. Esta dinámica sucesional fue corroborada a partir de análisis de diversidad, equiparabilidad y dominancia, en donde se encontró una similaridad al momento de colonizar ambos sustratos. Esto es consistente con lo descrito por Invermar (1999), donde, si bien se plantea el daño del carbón sobre las comunidades de organismos que viven en zonas ya no rocosas, sino intermareales de las playas arenosas, a esa fecha no había registrado aún alteraciones en cuanto a su estructura ni distribución.



Figura 1.10. Cercanía de los patios de Carbosán (recuadro rojo), con las instalaciones del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-Invemar (cuadro blanco), en la bahía de Santa Marta, departamento del Magdalena, específicamente en Punta de Betín (tomado y modificado de Google Earth, 2009).

Una óptica complementaria, merecen comunidades móviles como los peces. Por su modo de vida y fisiología es una de las muchas que podría verse afectada por la presencia de partículas de carbón en el agua. Son numerosas las investigaciones realizadas sobre efectos de la contaminación por metales pesados a nivel mundial, del gran Caribe y Caribe colombiano; algunos de estos son Campos (1987; 1990), Hernández y González (1993), Alonso y Pineda (1997), Adams *et al.* (1999), Kirby *et al.* (2001), Lemly (2002), Siboni *et al.* (2004); López y Maz (2006). En el tema de HAP se destacan las investigaciones de King *et al.* (1993), Lu *et al.* (2005) y Frouin *et al.* (2007), como los trabajos de Heath *et al.* (1981), Tuvikene (1995), Campbell y Devlin, (1997) y Henderson (2007), específicamente sobre las diversas consecuencias de la acumulación de HAP en peces. En cuanto a desechos industriales provenientes del procesamiento de carbón, sobresalen los trabajos de Learner *et al.* (1971) y Cherry *et al.* (1987) en organismos vivos.

La respiración en peces se lleva a cabo por la inducción del flujo de agua por contracorriente en el epitelio branquial. Al fluir ésta por las branquias, el oxígeno captado se difunde a la sangre a través de los vasos sanguíneos de los filamentos y de las lamelas (Lagler *et al.*, 1984). Las sustancias disueltas en el me-

dio acuático que, como el carbón, sean extrañas y/o tóxicas para un pez pueden por ende pasar a la sangre a través de las branquias y extenderse a los órganos irrigados provocando su envenenamiento, o, si no son lo suficientemente solubles, dañar al pez por la detención de las funciones respiratorias causada por irritación, destrucción o colmatación de los filamentos branquiales (Pesson, 1979).

Los peces rara vez consumen agua por vía digestiva, ya que por medio de la respiración generalmente obtienen la suficiente; por ende, la entrada directa de contaminantes es poco común. En caso tal, el efecto a nivel de tracto digestivo de partículas sólidas difícilmente degradables por procesos digestivos es similar al causado sobre la superficie corporal externa, es decir erosión o laceraciones (Burgess, 1998). No obstante, las sustancias tóxicas normalmente no actúan por vía digestiva sobre los peces salvo de un modo accesorio, por consumo de presas acumuladoras (Pesson, 1979).

Los estudios específicos sobre las consecuencias de la exposición prolongada al polvillo de carbón y su acumulación en órganos y tejidos se han enfocado hacia los efectos en humanos, siendo más escasos los trabajos para otros organismos. Dentro de los realizados en vegetales se encuentra el de Lewis (1973) en el Reino Unido, quien registró que los gametofitos del musgo acuático *Eurhynchium riparioides* se ven fuertemente afectados al encontrarse en un ambiente sometido a emanaciones frecuentes de polvillo de carbón, viéndose las alteraciones más evidentes en la tasa de crecimiento del musgo y producción de clorofila *a*. Naidoo y Chirkoot (2004), en Sudáfrica demostraron que la acumulación de polvillo de carbón en las hojas de *Avicennia marina* inducen a una reducción en la tasa de intercambio de CO₂ con el medio, traducido en un menor funcionamiento del fotosistema II, y por ende de la capacidad fotosintética de esta especie de mangle.

Campell y Devlin (1997) en Canadá corroboraron los efectos de la exposición de juveniles de salmón chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) al polvillo de carbón, y destacaron entre ellos la sobreexpresión de los genes *CYP1A1*, responsable de la codificación de la enzima *P4501A1* que permite a los HAP activar metabolitos carcinogénicos y mutagénicos, y L5, importante para la biogénesis ribosomal. Por su parte, Ghanem *et al.*, (2004; 2006) en EE.UU., aseguran que la exposición de ratas a polvillo de carbón y al HAP beta-nafto flavona (BNF) es causante de un aumento en la expresión del mediador preapoptótico *Bax* y una disminución de la inducción de *CYP1A1*, previamente efectuada por acción de la BNF; en estos roedores y posiblemente en seres humanos, implica que es probable que la acción carcinogénica de *CYP1A1* pueda ser mediada por apoptosis inducida, pero que ésta se convierte a su vez en un problema a nivel pulmonar.



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
JORGE TADEO LOZANO
www.utadeo.edu.co

ISBN: 978-958-725-068-8



9 789587 250688