COLOMBIA 50% MAR

invemar

CPT-BEM-005-13

Concepto Técnico Tipo "D"

Efecto del derrame de carbón sobre el ecosistema marino, producido por la maniobra de rescate de la barcaza TS-115 de propiedad de la Compañía American Port Company INC.

INFORME FINAL

***Solicitado por*:**

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS
Agencia Nacional de Licencias Ambientales -ANLA

Santa Marta, D.T.C.H., Mayo de 2013

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
"José Benito Vives De Andréis" - INVEMAR
Vinculado al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Concepto técnico sobre el efecto del derrame de carbón sobre el ecosistema marino, producido por la maniobra de rescate de la barcaza TS-115 de propiedad de la Compañía American Port Company INC. CPT-BEM-005-013

CONCEPTO TÉCNICO

CUERPO DIRECTIVO

Director
Francisco A. Arias Isaza

Subdirector
Coordinador de investigaciones
Jesús Antonio Garay Tinoco

Coordinador
Programa Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)
David Alejandro Alonso

Coordinador
Programa Valoración y Aprovechamiento de Recursos Marinos Vivos (VAR)
Mario Rueda Hernández

Coordinadora
Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)
Luisa Fernanda Espinosa

Coordinadora
Programa de investigación para la Gestión en Zonas Costeras GEZ)
Paula Cristina Sierra

Coordinadora
Programa de Geociencias Marinas (GEO)
Constanza Ricaurte Villota

Coordinador
Coordinación de Servicios Científicos
Carlos Augusto Pinilla

Subdirector de Recursos y Apoyo a la Investigación (SRA)
Sandra Rincón Cabal

Cítese como: INVEMAR. 2013. Concepto técnico sobre el efecto del derrame de carbón sobre el ecosistema marino, producido por la maniobra de rescate de la barcaza TS-115 de propiedad de la Compañía American Port Company INC. para el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la ANLA. Santa Marta, 81 p.

Preparado por:

Subdirección de Coordinación de Investigaciones

- ***Programa Biodiversidad y Ecosistemas Marinos***
- ***Programa Geociencias Marinas***
- ***Programa Calidad Ambiental Marina***
- ***Programa de Investigación para la Gestión Marina y Costera***

Santa Marta, D.T.C.H., Mayo de 2013

Imagen portada: (Izq.) Foto de la boya no. 23 de la empresa AMERICAN PORT COMPANY INC. Fotografía proporcionada por la ANLA y (Der.) foto de barcaza de carbón remolcada en la zona de operaciones marinas de la empresa American Port Company INC. Archivo INVEMAR.

COLOMBIA 50% MAR
invemar
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
"José Benito Vives De Andréis" - INVEMAR
Vinculado al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Calle 25 # 2-55 Playa Salguero,
Rodadero Sur, Santa Marta-Magdalena
Apartado Aéreo 1016,
Tel: (57) (5) 4328600 Fax: (57) (5) 4328694

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 6
2. OBJETIVOS GENERALES 8
3. METODOLOGIA 9
3.1. Caracterización física del sustrato 10
3.1.1. Adquisición acústica con sonar de barrido lateral 10
3.1.2. Caracterización granulométrica de sedimentos 11
3.1.3. Adquisición de perfiles del subsuelo 11
3.2. Caracterización Oceanográfica 12
3.3. Biodiversidad y Ecosistemas Marinos 14
3.4. Calidad de aguas y sedimentos 18
3.4.1. Fase de Campo 20
3.4.2. Fase de Laboratorio 20
3.4.3. Tratamiento de la información del monitoreo de sedimentos 21
3.5. Caracterización del componente bentónico 22
3.5.1. Salida de campo 22
3.5.2. Análisis de laboratorio 25
3.5.3. Tratamiento de la información 26
3.6. Caracterización del componente Fitoplancton 28
4. CONCEPTO 30
4.1. Modificaciones del sustrato por el vertimiento accidental de carbón 30
4.2. Caracterización oceanográfica 33
4.3. Estado De La Biodiversidad Y Ecosistemas Marinos 36
4.3.1. Principales efectos del carbón sobre el medio marino 38
4.4. Calidad de aguas 40
4.4.1. Calidad de sedimentos 41
4.5. Composición del Bentos 42
4.5.1. Densidad 47
4.5.2. Biomasa 48
4.5.3. Índices ecológicos 49
4.5.4. Perturbación 50
4.5.5. Relación con las variables ambientales 51
4.6. Resultados componente fitoplancton 53
5. CONCLUSIONES 57
6. BIBLIOGRAFÍA 60
7. ANEXOS 69

1. INTRODUCCIÓN

El día 31 de enero de 2013, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) tuvo conocimiento que el 13 de enero pasado ocurrió un incidente con la barcaza TS 115, en la zona de operaciones marinas específicamente en la boya No. 23, de la empresa AMERICAN PORT COMPANY INC, conocida como Drummond y durante el cual se presume que hubo un posible derrame de carbón al mar. A raíz de este suceso, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA el 1 de febrero solicita al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) para que de acuerdo con sus capacidades técnicas, brindar un acompañamiento y apoyo técnico en una visita de inspección en el área del incidente con el fin de realizar las indagaciones pertinentes e identificar afecciones de tipo ambiental ocurrido con la barcaza de carbón. El día 4 de febrero se realizó la visita solicitada donde asistieron por parte de la ANLA la ingeniera civil Alexandra Velásquez, la bióloga marina Ángela Echeverry, la trabajadora social Consuelo Morales y la abogada Ledy Guerra, por CORPAMAG el biólogo Ismael Acosta, por la Dirección General Marítima DIMAR el suboficial jefe Alex Mejía y por parte del INVEMAR la bióloga marina Johanna Vega, además del personal de apoyo logístico del instituto.

Como producto de esta visita se realizó un informe preliminar para el MADS-ANLA (INVEMAR, 2013) y se concluyó que, efectivamente se detectó la presencia de fragmentos de carbón en el fondo en todos los lugares inspeccionados con especial abundancia en la zona en dirección NE de la boya No. 23, donde la mayor parte del material del mineral colectado al presentar una superficie limpia donde no se había fijado ningún organismo. Desafortunadamente, no se pudo establecer el volumen o cantidad de carbón presente en el fondo marino, ya que todos los fragmentos estaban ampliamente dispersos a lo largo del área del incidente y no se contaba con los equipos necesarios para hacer esta medida. Así mismo, la escasa visibilidad en la columna de agua, especialmente en el fondo, no permitió la observación de la biota presente en el ecosistema, sólo la presencia de algunas medusas del género *Chrysaora* en la parte superior de la columna de agua, por lo que se recomendó emplear metodologías de ecosistemas de fondos blandos para identificar la flora y fauna presente (e.g. uso de dragas, corazonadores, entre otros).

A raíz de esto, se recomendó la elaboración de un diseño de muestreo sistemático y el uso de técnicas más especializadas y en otros componentes físicos y químicos, como por ejemplo la combinación de métodos con dragas y sonar de barrido lateral, análisis de calidad ambiental entre otros para obtener una mayor información primaria sobre los efectos del carbón en el medio ambiente.

En el proceso de evaluación ambiental de un ecosistema marino, resulta igualmente indispensable conocer como un cuerpo de agua se comporta ante la descarga de contaminantes en su interior así como la propia capacidad de recuperación del cuerpo de agua. Para identificar el destino de las sustancias que se encuentran en el mar o son vertidas a éste, es indispensable conocer los aspectos oceanográficos y meteorológicos que regulan los procesos de dispersión; ya que la evolución de la concentración de una sustancia presente o introducida en un medio acuático está dominada por la acción conjunta de tres procesos que tienen mayor influencia: la

advección, la difusión (turbulenta) y los procesos de transformación (físicos, químicos o biológicos) en sustancias no conservativas.

Las actividades específicas que se levantaron en campo y que posteriormente se desarrollan en este documento son:

1. Colecta de información en campo con la sonda de barrido lateral y del perfil del subsuelo para complementar la información del volumen aproximado de carbón que existiese en el área del incidente y de sedimentos, para la caracterización del sustrato.
2. Colecta de información oceanográfica con el fin de identificar las principales corrientes que predominan en el área.
3. Colecta de información visual de megafauna (>2 cm) localizada sobre el sedimento (epifauna).
4. Colecta de información de calidad de aguas y de sedimentos marinos.
5. Colecta de información de bentos (comunidades biológicas de la infauna).
6. Colecta de información de fitoplancton marino.

Se espera que, con la información que se presenta aquí, se logren identificar los principales efectos que en cuanto a la calidad ambiental del agua y sedimentos, estado de las comunidades bentónicas y de fitoplancton, han sido causados por la presencia del carbón en el ecosistema de fondos blandos de la zona.

2. OBJETIVOS GENERALES

- Determinar los principales efectos físicos, químicos y biológicos, causados sobre el ecosistema marino por el derrame de carbón que se produjo en el área de las boyas 23, 1 y roja, en el terminal de carbón de la empresa AMERICAN PORT COMPANY INC, a raíz de la maniobra de rescate de la barcaza TS 115.

- Cuantificar en lo posible, el área afectada y la cantidad de carbón que fue derramada a raíz de las maniobras de rescate de la barcaza TS 115, el pasado 13 de enero del presente.

3. METODOLOGIA

Teniendo en cuenta la información de la localización espacial general del lugar del incidente (boyas S23, 1 y roja de la empresa American Port Company INC.) (Figura 3.1), ofrecida por las autoridades respectivas, y para realizar un muestreo sistemático y complementario de todos los aspectos a estudiar que fueron mencionados en la introducción de este informe, se determinó realizar una salida previa a campo con el sonar de barrido lateral con el fin de ajustar específicamente las áreas de mayor interés para colectar la información primaria en campo.

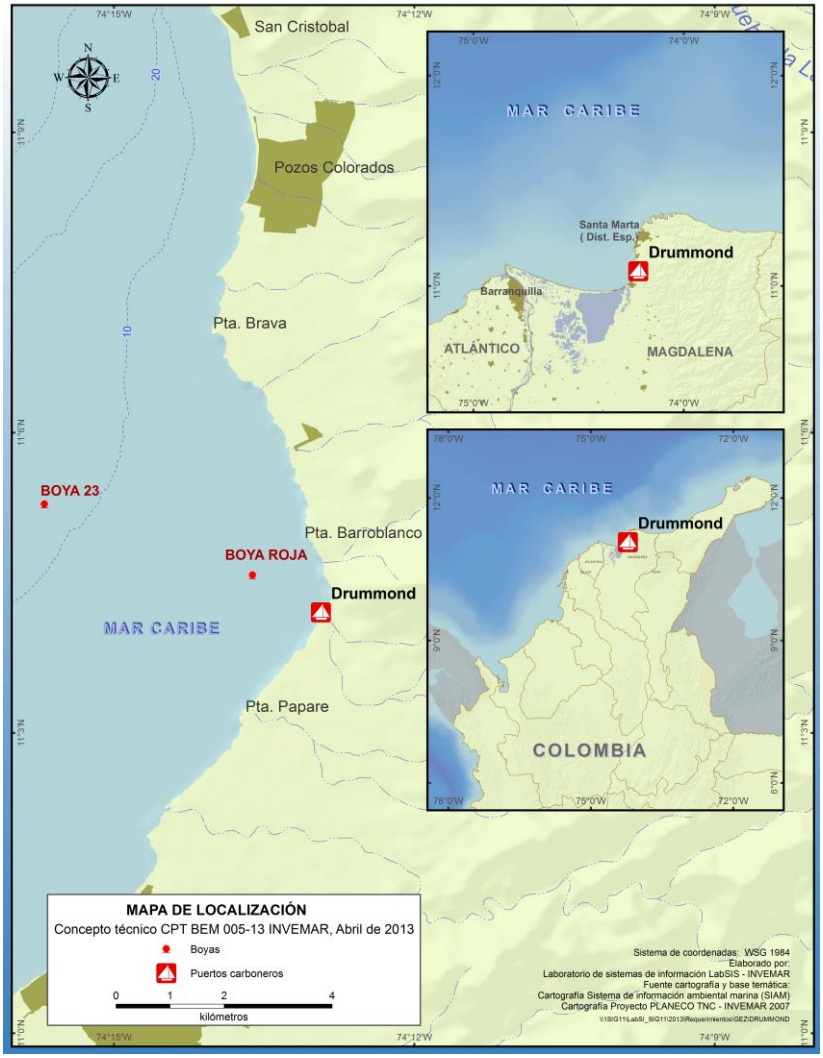


Figura 3.1. Localización espacial general del área en la que sucedió el incidente del derrame de carbón en el intento de rescatar la barcaza TS 115 de la empresa American Port Company INC. el pasado mes de enero de 2013.

Específicamente para cada uno de los ítems, se mostrará el mapa con las estaciones de muestreo sobre las cuales se realizaron las consideraciones finales en este concepto.

3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SUSTRATO

3.1.1. ADQUISICIÓN ACÚSTICA CON SONAR DE BARRIDO LATERAL

Para la representación gráfica de los fondos marinos se utilizó un sistema de sonar de barrido lateral marca SES2000 (INNOMAR), con frecuencia de 100 kHz. Este sistema genera ondas que se dispersan en dos direcciones a partir del mismo formando un haz perpendicular a la dirección de movimiento; el eco producido por la interacción de la onda con el fondo es recogido por el instrumento según la longitud del pulso definida. La intensidad de la señal reflejada depende de las características físicas del fondo (relieve, textura, densidad, tamaño de grano, entre otras) (Johnson y Helferty, 1990).

Con el fin de ubicar el área de afectación directa por el vertimiento del carbón se realizó la adquisición con sonar en un cuadrado de un kilómetro con centro en la boya de amarre 23 de la American Port Company INC. (Puerto Drummond LTD.), siguiendo trayectorias de navegación separadas 50 m entre sí, con un rango de observación de 30 m, para asegurar el cubrimiento completo de la zona (Figura 3..1).

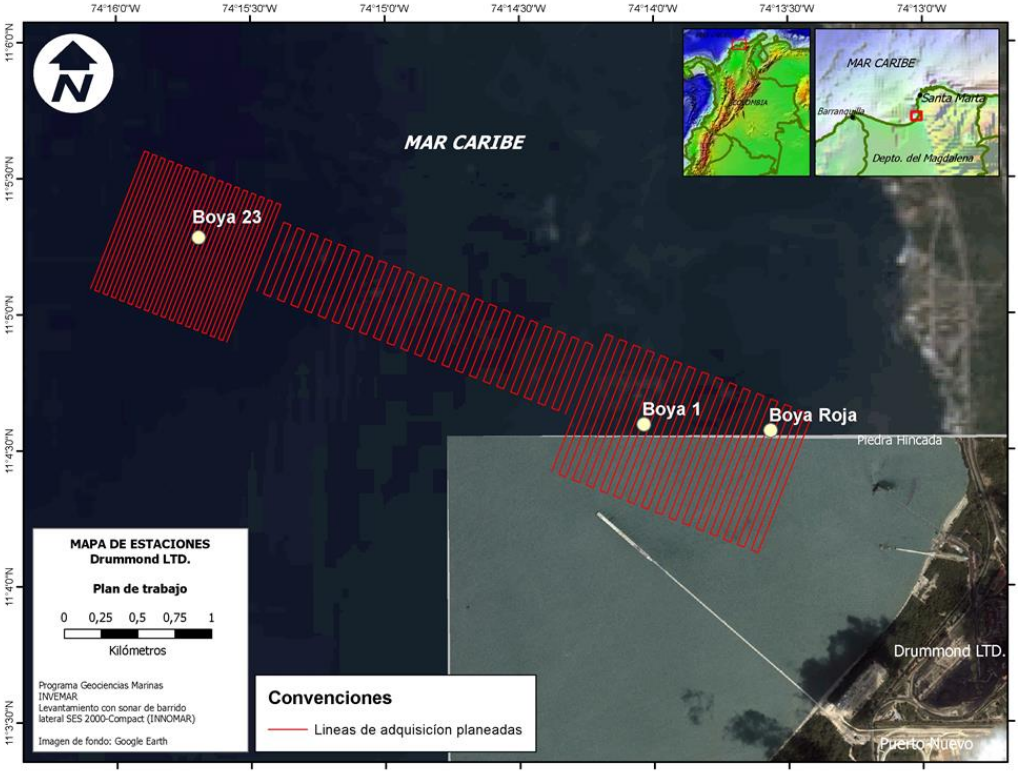


Figura 3.1.1. Ubicación de las líneas de adquisición planeadas para el registro con sonar de barrido lateral (SSS)

El procesamiento de la señal se realizó con el software ISE 2.9 de INNOMAR, y consiste en promediar las coordenadas para cada señal adquirida y la realización de mosaico general en el área de adquisición, en la que se demarca un área de interés próxima al sustrato de carbón de acuerdo con las características acústicas del fondo.

Con el fin de ubicar el área de afectación directa por el vertimiento del carbón se realizó la adquisición con sonar en un cuadrado de un kilómetro con centro en la boya de amarre 23 de Puerto Drummond LTD., siguiendo trayectorias de navegación separadas 50 m entre sí, con un rango de observación de 30 m, para asegurar el cubrimiento completo de la zona (Figura 3.).

El procesamiento de la señal se realizó con el software ISE 2.9 de INNOMAR, y consistió en promediar las coordenadas para cada señal adquirida y la realización de mosaico general en el área de adquisición, en la que se demarca un área de interés próxima al sustrato de carbón de acuerdo con las características acústicas del fondo.

3.1.2. CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA DE SEDIMENTOS

Para determinar la composición del fondo se tomaron 13 muestras de sedimento utilizando una draga Van Veen de 0,02 m^2, de acuerdo con la presencia de diferentes sustratos clasificados en el área de adquisición con el sonar. Los sedimentos fueron almacenados en bolsas plásticas, debidamente rotulados y llevados al laboratorio en INVEMAR donde se mantuvieron refrigerados a 4 °C, las muestras se secaron en su totalidad en horno convencional a temperatura de 70 °C durante 72 horas. Una vez secas de cada muestra se tomaron 100 g de sedimento homogenizado que fueron disueltos en 500 ml de agua destilada con hexametafosfato de sodio, esta solución se tamizo con una malla de 0,063 mm, eliminando de esta manera el contenido de lodos para la posterior realización de tamizaje en seco con mallas de 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, y 0,063 mm.

Los datos de granulometría se procesaron con el software Gradistat 8.0 (Blott y Pye, 2001) para obtener las variables estadísticas descriptivas asociadas a los sustratos identificados.

Como complemento a los resultados se realizó la observación macroscópica de la composición mineralógica de los sedimentos que permite asociar el tamaño de grano con la presencia de fragmentos gruesos (tamaño > 0,5 mm) de carbón.

3.1.3. ADQUISICIÓN DE PERFILES DEL SUBSUELO

Para la determinación de los espesores en las capas sub-superficiales, se utilizó el sistema de perfilador de subsuelo SES 2000 (INNOMAR) con frecuencia de 10 kHz. Este equipo genera dos señales acústicas, una de frecuencia fija de 100 kHz, empleada para la definición exacta de la profundidad y otra señal baja modulada por el operario en rangos de 4 a 15 kHz. Las ondas de baja frecuencia son capaces de penetrar el fondo del mar y generar una reflexión (eco) cada vez que las propiedades del medio físico por el cual viaja, cambian. La generación de estos ecos es lo que se llama imagen sísmica o ecograma.

Se realizó la adquisición con trayectorias en dirección norte – sur, separadas 10 m entre sí, en un cuadrado de 200 m de lado, con trayectorias de comprobación en sentido este – oeste separadas 25 m. Estos perfiles permitieron la determinación del espesor en la capa relacionada con el vertimiento de carbón y el cálculo del volumen estimado sobre el fondo marino.

3.2. CARACTERIZACIÓN OCEANOGRÁFICA

Se cubrieron 8 estaciones oceanográficas en la zona de influencia del derrame de carbón (Tabla 3.2.1 y Figura 3.2.1) durante el día 21 de marzo de 2013. En cada una de ellas se midieron los parámetros Temperatura, Salinidad y Oxígeno con un CTDO SBE 19+V2 en perfiles desde superficie y hasta donde la profundidad de la estación lo permitió. Adicionalmente, en 2 estaciones se midieron corrientes con un perfilador tipo ADCP marca RDI Teledyne de 300 KHz en posición *down facing* durante media hora, hasta donde la profundidad de la estación lo permitió. La no medición de corrientes en las otras estaciones obedeció al hecho de ser estaciones muy someras, tal que la profundidad de la estación solo cubre el *blanking* del equipo (distancia ciega). Finalmente se tomaron muestras de agua con botella Niskin a nivel superficial para determinar sólidos suspendidos totales (SST) por el método gravimétrico, se midió transparencia del agua con disco Secci y vientos con un anemómetro portátil. Todo esto se realizó desde una embarcación menor debidamente dotada con cabos boyas de seguridad para los equipos.

Tabla 3.2.1 Posición y profundidad de la malla de estaciones oceanográficas

Estación	Posición
OC3	11°5'49.5" 74°15'13.5"
OC4	11°5'17.1" 74°15'41.6"
OC5	11°04'41.1" 74°16'5.9"
OC6	11°05'10" 74°14'8.1"
OC7	11°04'34.6" 74°13'36.8"
OC8	11°04'1.5" 74°16'10.2"
OC9	11°5'46.2" 74°16'27.7"
OC10	11°04'52.1" 74°14'38.2"

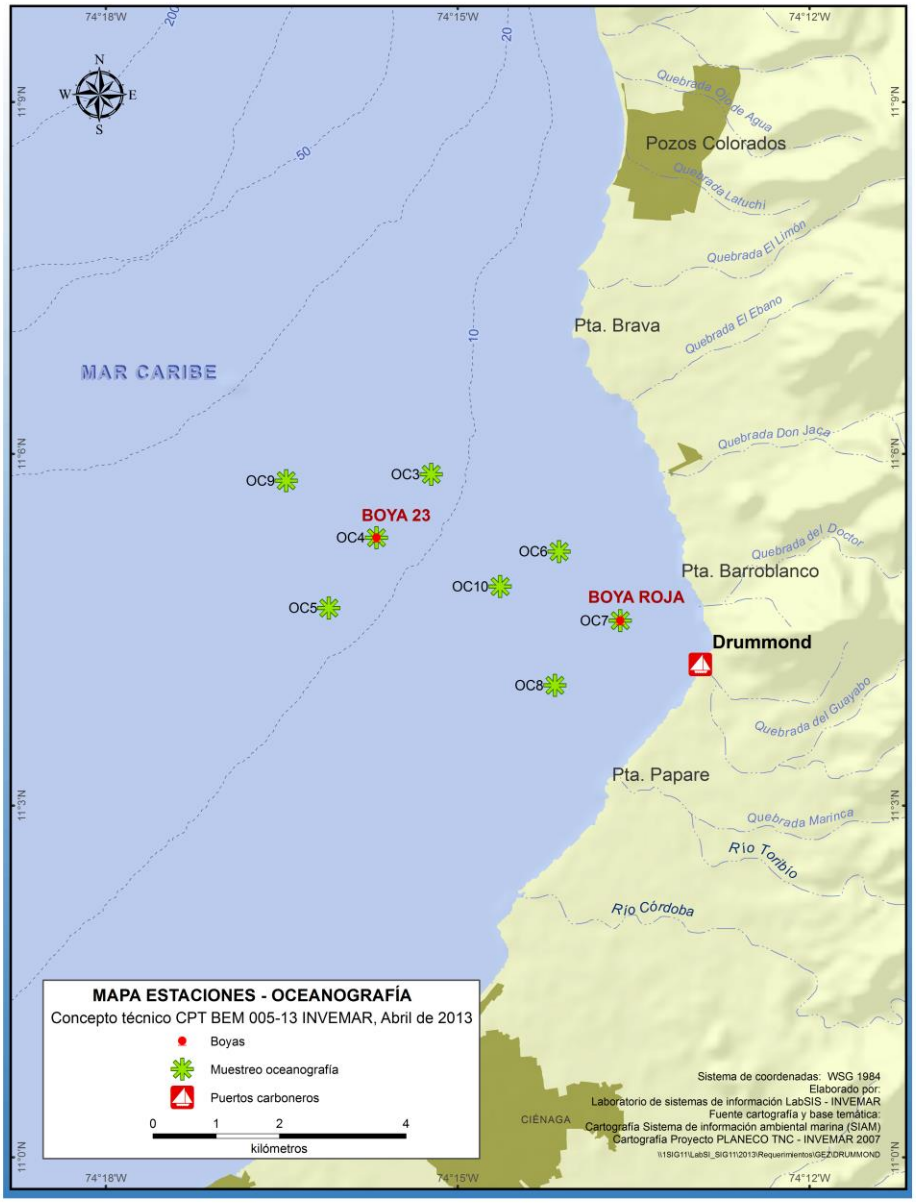


Figura 3.2.1. Localización espacial de las estaciones oceanográficas en el área de estudio.

3.3. BIODIVERSIDAD Y ECOSISTEMAS MARINOS

A partir del muestreo con el sonar de barrido lateral, se identificaron y geo-referenciaron 9 estaciones alrededor de la boya roja y 11 en la boya 23 (Tabla 3.3.1 y Figura 3.3.1) incluyendo la zona presumiblemente afectada por la presencia de carbón y zonas con un perfil del subsuelo homogéneo y aparentemente normal (Figuras 3.3.2 y 3.3.3). Entre las estaciones evaluadas están incluidas las seleccionadas por el componente geológico de caracterización de sustrato, lo de calidad de aguas y sedimentos, fitoplancton y donde se colectaron las muestras de bentos, que serán desarrolladas a continuación.

Tabla 3.3.1. Coordenadas geográficas de las estaciones evaluadas en los alrededores de las boyas 23 y roja del Puerto AMERICAN PORT COMPANY INC.

Lugar	Estación	Latitud (N)	Longitud (W)
Boya 23	ST01	11° 05'19,1"	74°15'38,9"
	ST02	11°05'29,9"	74°15'30,9"
	ST03	11°05'18,3"	74°15'50,3"
	ST04	11°05'07,3"	74°15'39,1"
	ST05	11°05'22,1"	74°15'45,2"
	ST06	11°05'22,7"	74°15'35,2"
	ST07	11°05'15,7"	74°15'35,0"
	ST08	11°05'14,9"	74°15'43,1"
	ST09	11°05'20,4"	74°15'39,0"
	ST10	11°05'17,8"	74°15'36,5"
	ST11	11°05'17,8"	74°15'40,0"
Boya roja	ST12	11°04'34,1"	74°13'33,8"
	ST13	11°04'36,5"	74°13'32,4"
	ST14	11°04'31,2"	74°13'29,6"
	ST15	11°04'40,0"	74°13'31,3"
	ST16	11°04'29,0"	74°13'37,5"
	ST17	11°04'36,9"	74°13'38,0"
	ST18	11°04'35,5"	74°13'34,3"
	ST19	11°04'33,2"	74°13'32,6"
	ST20	11°04'32,7"	74°13'35,4"

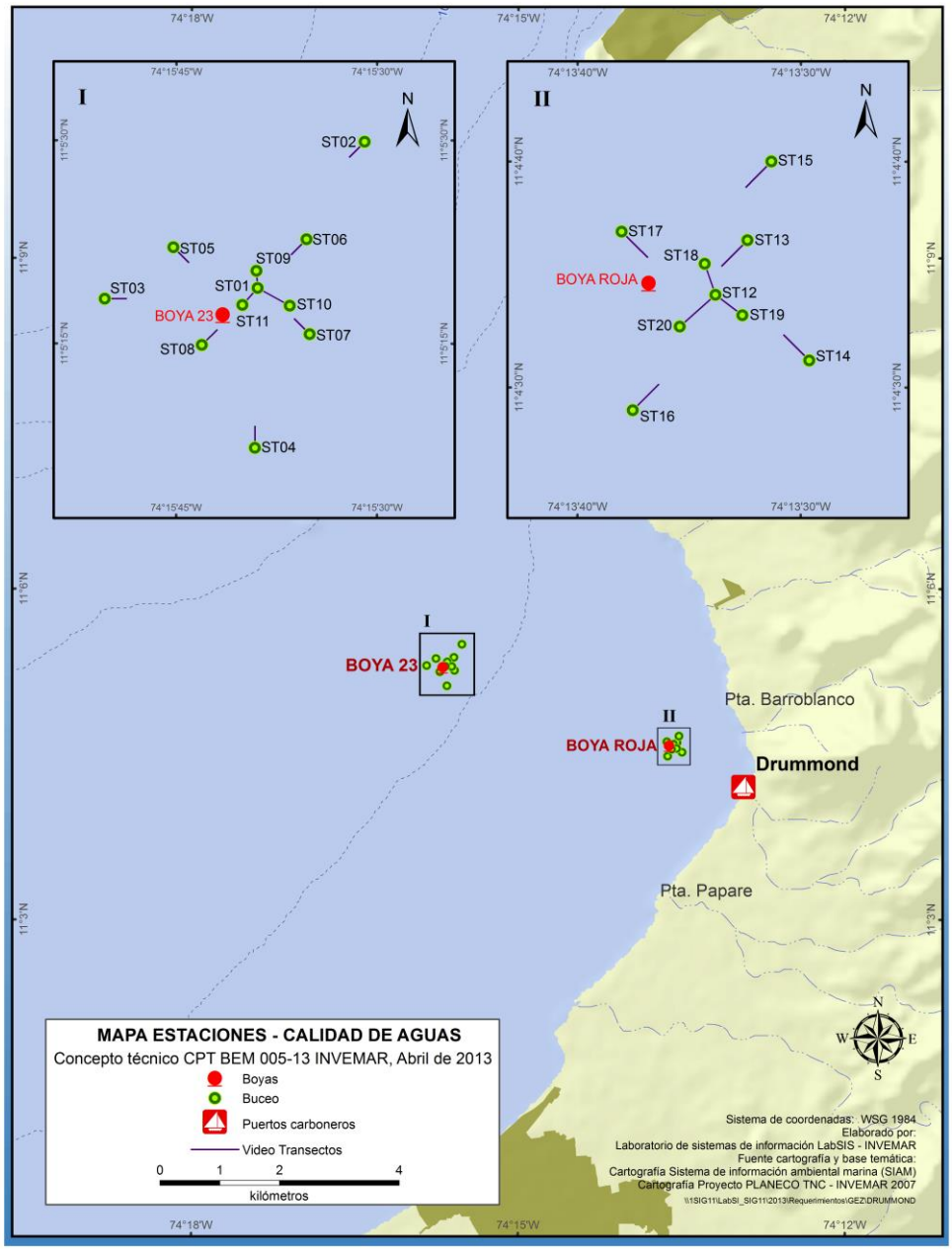


Figura 3.3.1. Localización general de las estaciones de muestreo de biodiversidad en el área del incidente con la barcaza TS 115 de la empresa American Port Company INC.

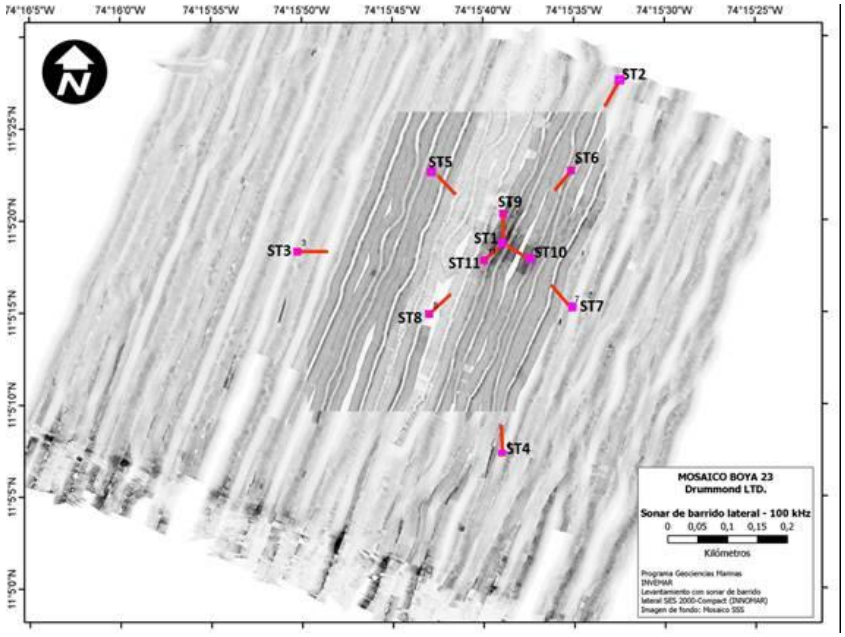


Figura 3.3.1. Detalle de la localización de las áreas de colecta de información mediante buceo autónomo en la boya S23 a partir de las imágenes obtenidas de los barridos con el Sonar de Barrido Lateral (SSS) donde se observa la ubicación de las estaciones evaluadas en morado y dirección de los video-transectos, líneas rojas. La imagen muestra una zona más oscura que reúne las estaciones ST01, ST09, ST10, ST11 donde se presume que se encuentra la mayor concentración de carbón derramado por la barcaza TS-115.

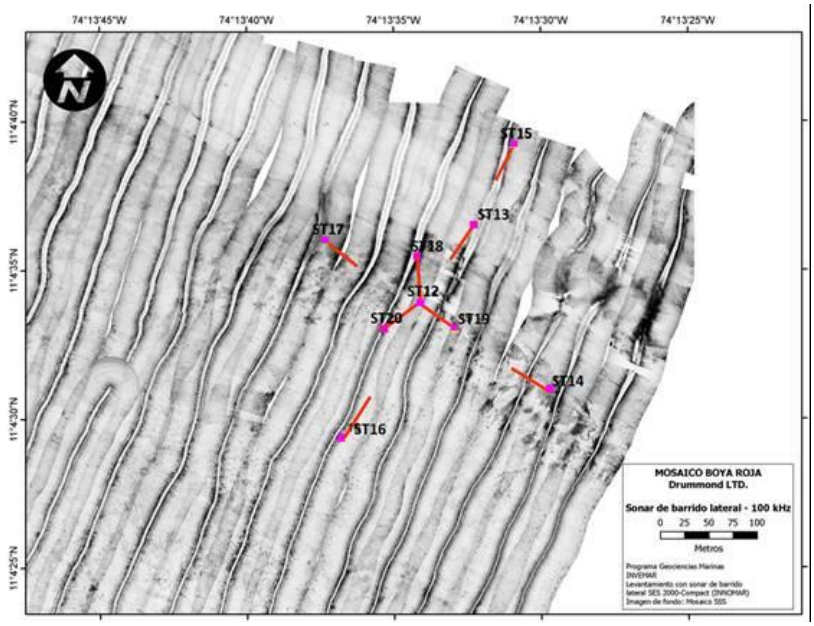


Figura 3.3.2. Detalle de la localización de las áreas de colecta de información mediante buceo autónomo en la Boya roja a partir de las imágenes obtenidas de los barridos con el Sonar de Barrido Lateral (SSS), donde se observa la ubicación de las estaciones evaluadas en morado y dirección de los video-transectos, líneas rojas. Nótese la cobertura de las áreas más oscuras de la imagen.

En cada lugar se descendió a través de una línea guía hasta el fondo con equipo de buceo autónomo donde se procuró obtener registro fotográfico del ambiente y posibles organismos observados en el fondo (Figuras 3.3.4). Asimismo, se realizaron video-transectos donde se filmó el fondo siguiendo una línea recta, aproximadamente de 50 m, en un sentido específico con ayuda de brújulas de buceo. En el caso de la boya 23, todos los desplazamientos fueron en dirección a la zona más oscura donde se presume que se encuentra la mayor concentración del carbón derramado (estaciones ST1, ST9, ST10 Y ST11) y para la boya roja todos transectos fueron en dirección a esta.

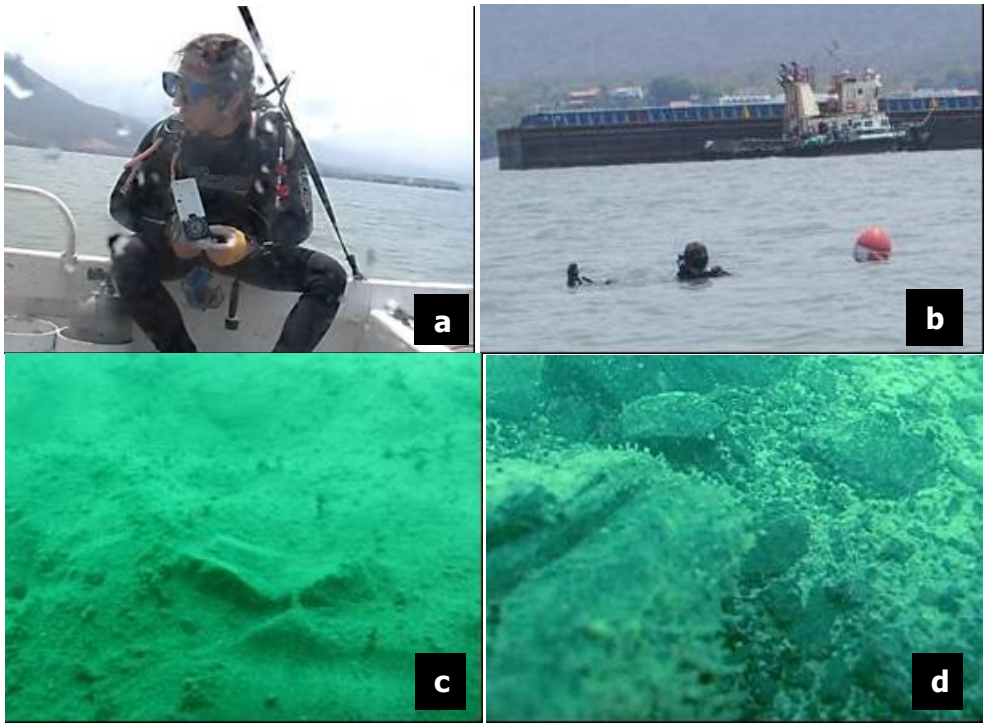


Figura 3.3.4. a. Investigador alistándose para el descenso. b. Investigadores iniciando el descenso en una estación ubicada a través de una boya de buceo. c. Imagen del fondo de la estación 3. d. Imagen del fondo tomada del video-transecto durante el recorrido de la estación ST01 a ST09.

3.4. CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

Para evaluar la calidad del agua y del sedimento en el área del terminal de carbón del puerto de Drummond después del derrame de carbón producido por la maniobra de rescate de la barcaza TS-115 propiedad de la compañía American Port Company INC, se tomaron muestras de agua y sedimento en las estaciones que se muestran en las Figura 3.4.1, Figura 3.4.2.

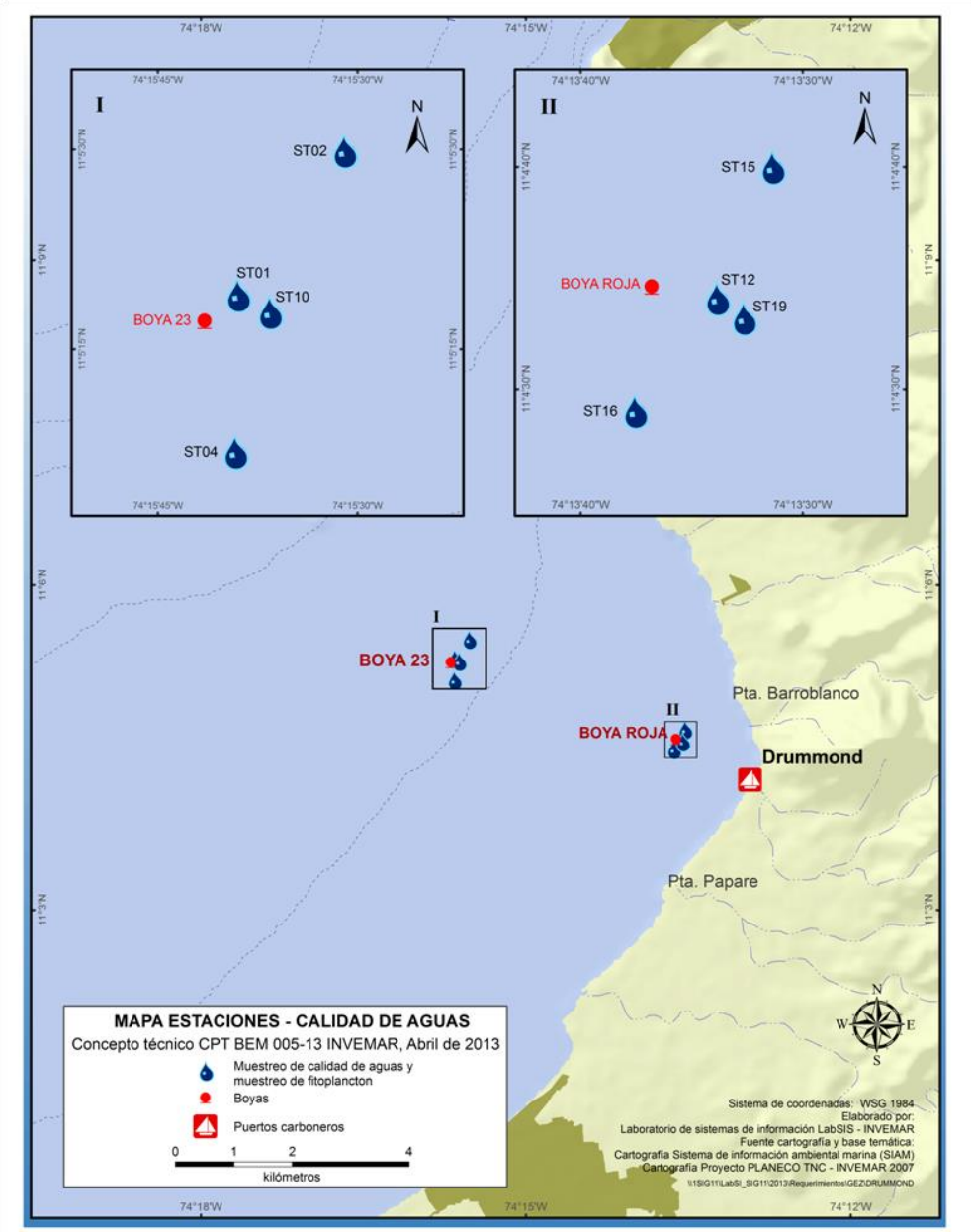


Figura 3.4.1. Ubicación de las estaciones en las que se colectaron muestras de agua.

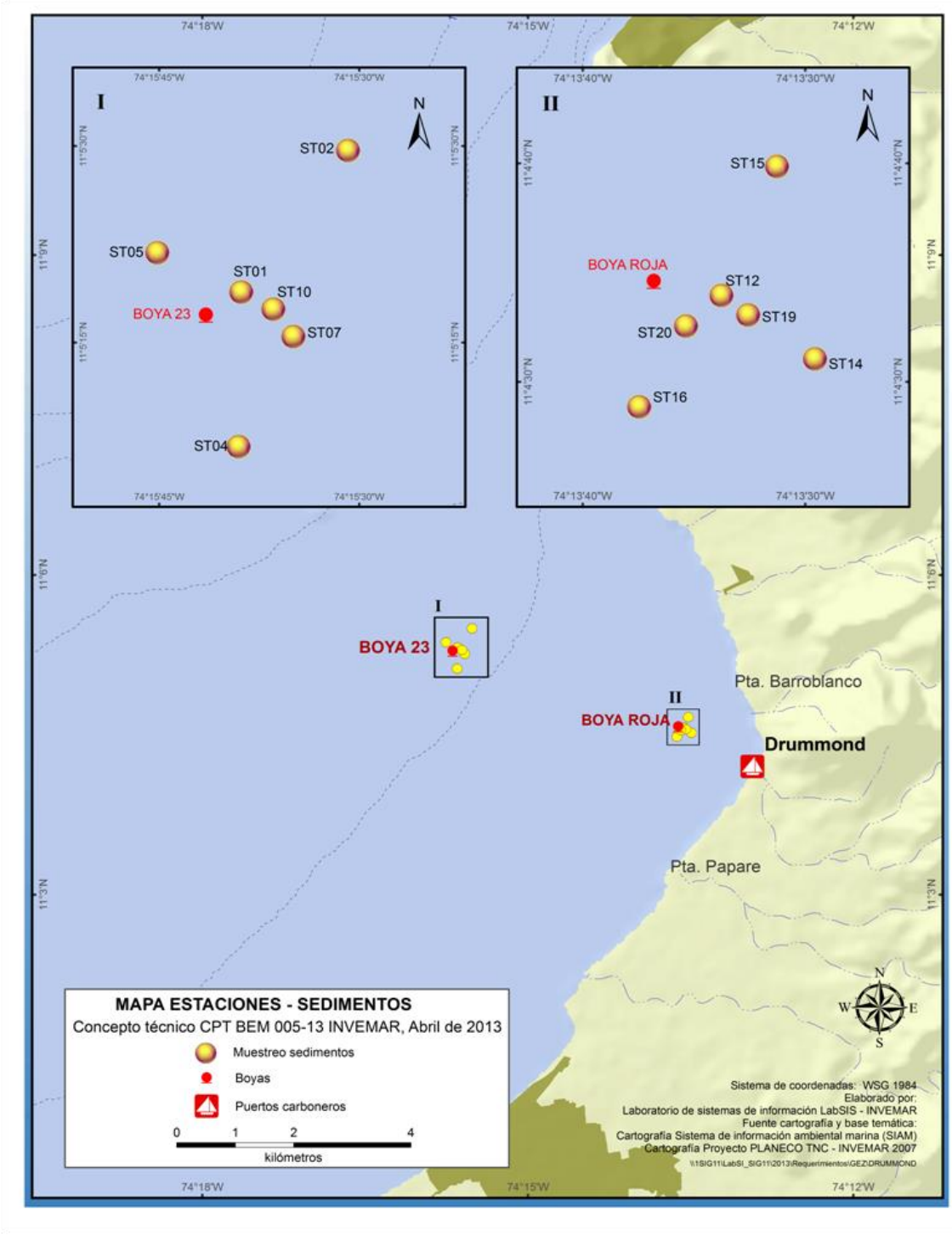


Figura 3.4.2. Ubicación de las estaciones en las que se tomaron muestras de sedimento.

3.4.1. FASE DE CAMPO

Con base en la primera salida a la zona de interés en la cual se determinó la ubicación del carbón derramado con un sonar de barrido lateral (sidescan sonar), se realizó el diseño de muestreo para calidad de aguas y sedimentos. De las ocho estaciones seleccionadas, cuatro se localizaron en área cercana a la boya de amarre 23 (ST01, ST02, ST04 y ST10) y las restantes, en inmediaciones a la boya roja de señalización del canal de acceso al muelle del puerto (ST12, ST15, ST16 y ST19) (Tabla 3.4.1).

Tabla 3.4.1. Coordenadas de las estaciones monitoreadas el 20 de marzo de 2013 para evaluación de calidad de aguas y sedimentos en la zona de derrame de carbón producido por la maniobra de rescate de la barcaza TS-115.

Zona	Estación	Latitud (N)	Longitud (W)
Boya de amarre 23-Puerto Drummond	ST01	11°05'19,1"	74°15'38,9"
	ST02	11°05'29,9"	74°15'30,9"
	ST04	11°05'07,3"	74°15'39,1"
	ST10	11°05'17,8"	74°15'36,5"
Boya roja señalización canal acceso a muelle del puerto	ST12	11°04'34,1"	74°13'33,8"
	ST15	11°04'40,0"	74°13'31,3"
	ST16	11°04'29,0"	74°13'37,5"
	ST19	11°04'33,2"	74°13'32,6"

En las ocho estaciones se recolectaron muestras de agua de superficie y fondo con botella Niskin y se midieron *in situ* temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, transparencia y profundidad. Las muestras de sedimento fueron tomadas con draga tipo Van Veen para análisis de pH, materia orgánica volátil y grasas y aceites.

3.4.2. FASE DE LABORATORIO

Las muestras de sedimento recolectadas fueron almacenadas en bolsas de polietileno previamente rotuladas y posteriormente transportadas al Laboratorio de Calidad Ambiental Marina (LABCAM) del INVEMAR donde fueron procesadas.

Las variables analizadas y los métodos aplicados en el monitoreo de aguas y sedimentos marinos se resumen en la Tabla 3.4.2.

Tabla 3.4.2. Parámetros medidos y métodos de análisis para las muestras de aguas y sedimentos recolectados en las estaciones ubicadas en la zona de derrame de carbón producido por la maniobra de rescate de la barcaza TS-115

Matriz	Parámetro	Método de análisis
Agua	**Profundidad**	**Medición con ecosonda portátil.**
	Transparencia	**Lectura directa Disco Secchi.**
	Temperatura	**Medición electrométrica con termocupla acoplada a sonda portátil (Standard Methods 2550, APHA, *et al.*, 2005).**
	Salinidad	**Medición electrométrica acoplado a sonda WTW –3210 (Standard Methods 2510 –B, APHA, *et al.*, 2005).**
	pH	**Medición electrométrica con electrodo combinado a sonda portátil WTW pH-315i (Standard Methods N° 4500-H, APHA *et al.*, 2005).**
	Oxígeno disuelto	**Medición en campo con electrodo de membrana WTW-OXI 3205 (Standard Methods N° 4500-O G, APHA *et al.*, 2005).**
	Turbidez	**Medición Nefelométrica con turbidímetro HACH (Standard Methods N° 2130-B, APHA et al., 2005)**
	Clorofila *a*	**Método tricromático (SCOR/UNESCO, 1980).**
Sedimento	**pH**	**Medición electrométrica con sonda portátil WTW pH-315i (IGAC, 1990; Standard Methods N° 4500-H, APHA *et al.*, 2005)**
	Grasas y aceites	**Método gravimétrico – Extracción Soxhlet con diclorometano : acetona (Standard Methods N° 5520 B, APHA *et al.*, 2005)**
	Materia orgánica volátil	**Método gravimétrico, calcinación a 550ºC (IGAC, 1990)**

3.4.3. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DEL MONITOREO DE SEDIMENTOS

La evaluación de la calidad del agua se basó en los lineamientos del decreto 1594 de 1984 (Minsalud, 1984), para aquellos parámetros que tienen valores definidos. Los resultados hallados en aguas superficiales se compararon con los registros históricos (2007 a 2012) de dos estaciones (Frente a río Córdoba y Costa Verde) de la "Red de Monitoreo de la Calidad de aguas marinas y costeras de Colombia-REDCAM" (INVEMAR, 2013b), cercanas a la zona de derrame de carbón. Los resultados de calidad de sedimentos fueron comparados con algunos estudios en zonas similares teniendo en cuenta que en Colombia no existe normatividad vigente que reglamente y establezca límites para evaluar su calidad.

3.5. CARACTERIZACIÓN DEL COMPONENTE BENTÓNICO

3.5.1. SALIDA DE CAMPO

La toma de muestras de la comunidad macroinfaunal se realizó el 20 y 22 de marzo de 2013, a bordo de la embarcación "Pristis" de INVEMAR. Teniendo en cuenta el incidente en el que una de las barcazas de Puerto Drummond cargada de carbón se hundió próxima a una de las boyas de amarre (10 m de profundidad) en el área de fondeo perdiendo gran parte de su contenido y, posterior al incidente la barcaza fue trasladada a una boya más somera (4 m de profundidad), el muestreo se realizó alrededor de estas dos boyas; determinando mediante un escáner de barrido lateral el punto y extensión del incidente, a partir de esto, se establecieron en el área directa del incidente (boya de amarre a 10 m) seis (6) estaciones: una (1) central y cinco (5) distribuidas de acuerdo a las corrientes. Siguiendo el mismo esquema, se distribuyeron otras seis (6) estaciones en la zona donde se amarró finalmente la barcaza (boya de amarre a 4 m) (Figura 3.5.1) Se utilizaron como muestreadores dos dragas tipo "van Veen", una con área de cobertura de 0,04 m^2 y la otra de 0,02 m^2 (Figura 3.5.2). Para las estaciones próximas al área del incidente se realizaron dos lances (2) en cada una de las estaciones, lo cual conformó un área muestreal por estación de 0,08 m^2 de sedimento; en las estaciones próximas al área final de amarre de la barcaza, en cinco (5) estaciones se realizaron cuatro lances (4) con la draga de 0,02 m^2 cubriendo también 0,08 m^2, en la sexta estación de esta área se muestreó con la draga de 0,04 m^2, realizando así dos (2) lances; cada uno de estos fue recibido sobre la cubierta de la embarcación en canastas plásticas de almacenamiento. Una vez obtenidas las muestras, fueron cernidas a través de un tamiz con poro de malla de 500 µm, lo cual permitió retener organismos mayores a este tamaño (macroinfauna), durante todo el proceso de tamizaje se empleó agua marina filtrada con un tamiz a 125 µm, esto con el fin de no contaminar la muestra con organismos planctónicos (Figura 3.5.3). Holme y McIntyre (1971) mencionan que el área mínima de muestreo requerida para estudios de comunidades bentónicas es de 0,1 m^2; en este estudio el área muestreada fue de 0,08 m^2 ,de esta manera, se encuentra cerca del área mínima de muestreo.

Posteriormente cada muestra fue introducida en una bolsa plástica debidamente rotulada, adicionándole 500 ml de solución narcotizante (cloruro de magnesio 70 gr L^{-1} de agua de mar), el cloruro de magnesio facilita la identificación en laboratorio de los organismos al mantenerlos relajados durante su fijación (Baguley *et al.*, 2006). Después de diez minutos se adicionó a cada muestra formaldehído diluido al 5 % con agua de mar filtrada con tamiz de 40 µm y neutralizado con bórax (pH= 7,2). El pH obtenido con el formol aumenta la conservación de las muestras por 15 días, debido a que inhibe la disolución de estructuras carbonatadas (Soltwedel, 2000). Al formol, se añadió rosa de bengala (1 %), tinte que se adhiere a los epitelios de los organismos facilitando su posterior separación en laboratorio (Mason y Yevich, 1967). Se agitó el contenido de cada bolsa para homogenizar la muestra de sedimento con los reactivos adicionados, esta agitación incorpora oxígeno y hace reaccionar el colorante con el tejido de los organismos.

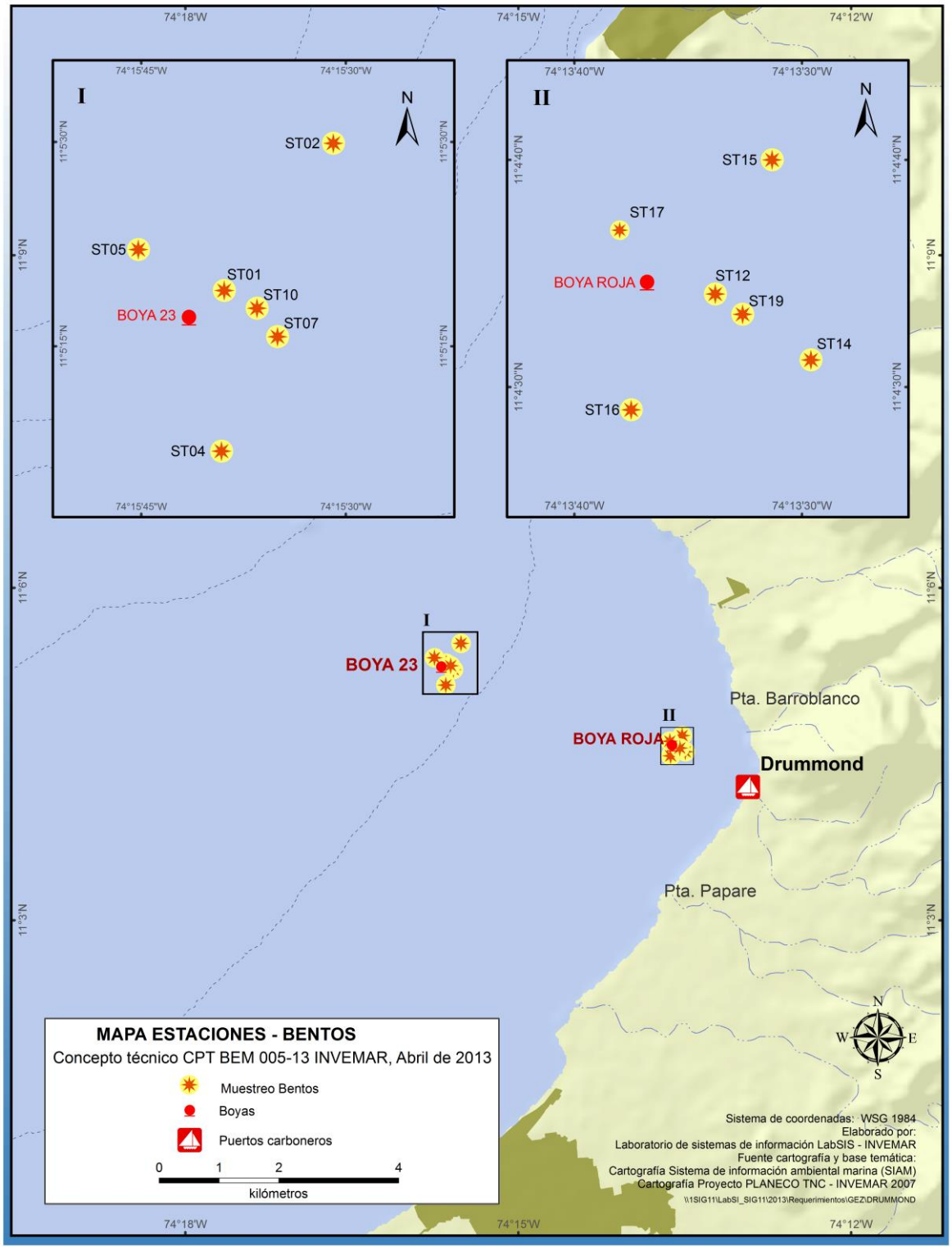


Figura 3.5.1. Área de estudio y estaciones de muestreo de bentos en el terminal de carbón de puerto Drummond.

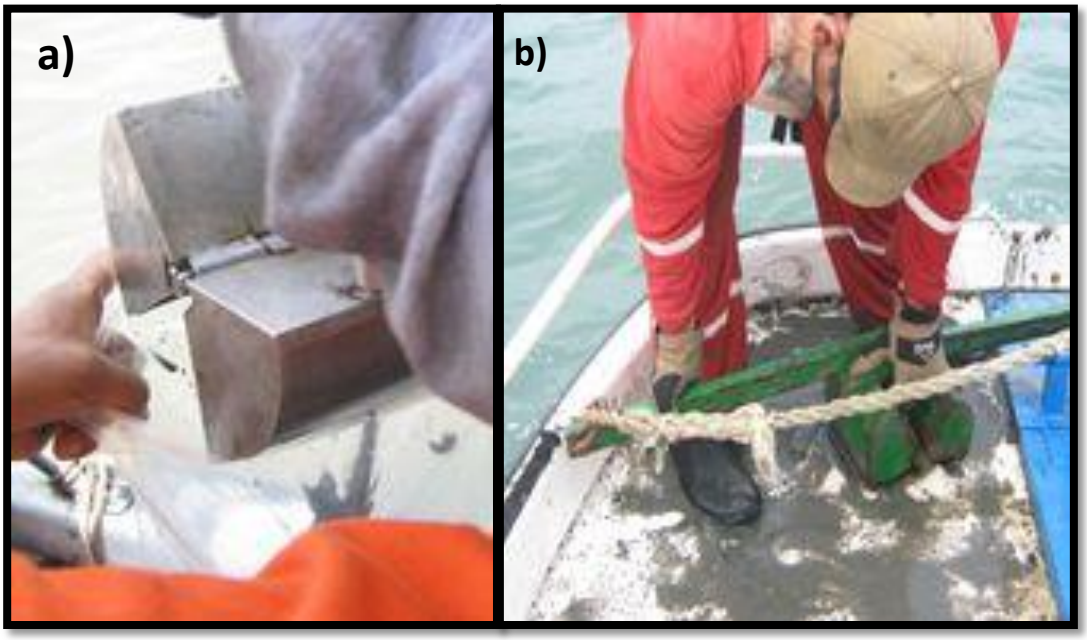


Figura 3.5.2. Obtención de las muestras del componente bentónico. Toma de muestra con draga van Veen de 0,02 m^2 (a) y 0,04 m^2 (b).

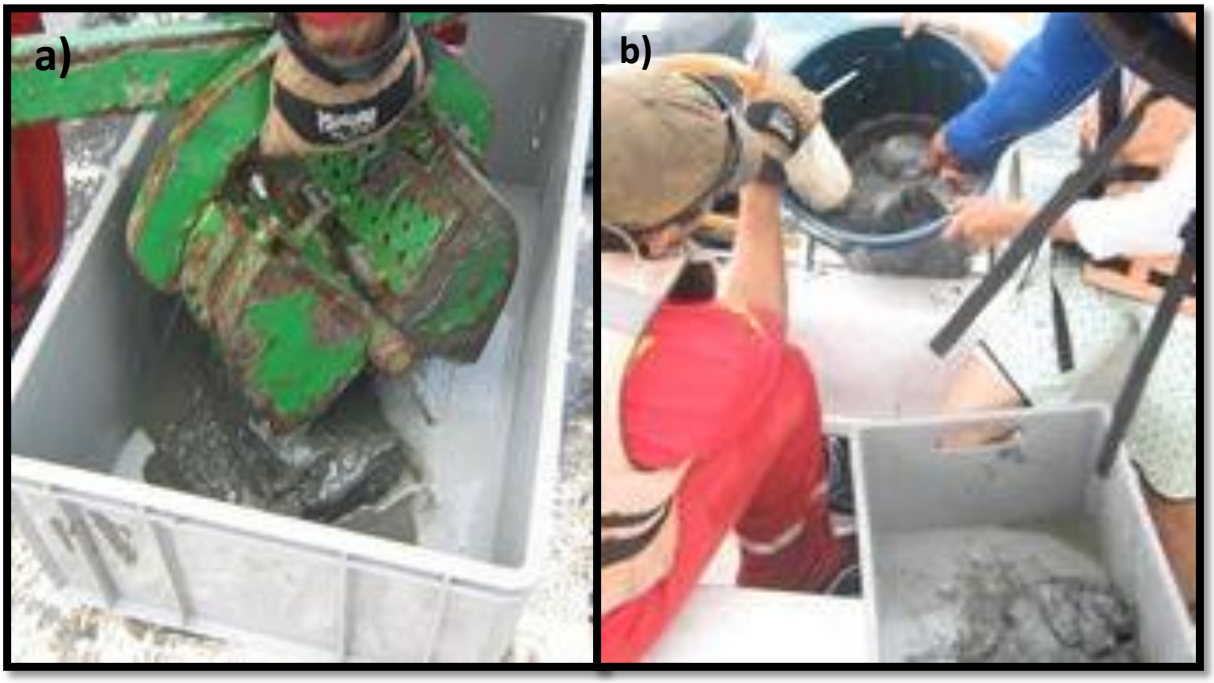


Figura 3.5.3. Procesamiento en campo de las muestras del componente bentónico. Almacenaje en caja plástica (a) y lavado de las muestras a través del tamiz de 500 µm (b).

3.5.2. ANÁLISIS DE LABORATORIO

3.5.2.1. Análisis cuantitativo y cualitativo de la comunidad

En laboratorio, cada muestra de sedimento fue cernida y lavada con agua sobre un tamiz con ojo de malla de 500 µm, con el fin de retener los organismos macroinfaunales, el material retenido en el tamiz se extendió en pequeñas porciones sobre bandejas planas a las que se agregó agua y con la ayuda de pinzas se tomaron los organismos, separándolos por taxones mayores (Figura 3.5.4); este proceso se realizó dos veces, cada una con observador diferente. Los individuos separados en cada dragado y estación se guardaron en frascos debidamente etiquetados en alcohol al 70 % (Figura 3.5.4). La identificación taxonómica de la macroinfauna se realizó a nivel de familias, lo cual es recomendado en estudios ambientales, con una pérdida mínima de información con respecto a la identificación a nivel de género o especie, donde además la identificación a un nivel más bajo, se hace dificultosa para este tipo de estudios ambientales, debido a la escasa información disponible, al gasto requerido y al tiempo necesario (Clarke y Warwick, 2001). Para este fin se empleó bibliografía especializada, de esta manera, Anélidos: Rouse y Pleijel (2001); Beesley *et al*. (2000); Southward (2000); Blake *et al*. (1996a); Salazar-Vallejo *et al*. (1988). Artrópodos: Cohen *et al*. (2007); Sakai (2005); Ortiz *et al*. (2004); Lecroy (2001); Walker-Smith y Poore (2001); Blake y Scott (1997); Kensley y Schotte (1989); Williams (1984); Bousfield (1973). Equinodermos: Benavides-Serrato *et al*. (2011); Hendler *et al*. (1995). Moluscos: Yidi y Sarmiento (2011); Mikkelsen y Bieler (2008); Caetano (2007); Coan *et al.* (2000); Díaz y Puyana (1994). Nemertinos: Chernyshev (2003); Roe *et al*. (2006); Gibson (2002); Smith (1964). Sipuncúlidos: Cutler (1994); Blake *et al.* (1996b). Otros grupos: Blake *et al.* (1996b); Soule *et al*. (1995).

Figura 3.5.4. Esquema del procedimiento en laboratorio de las muestras de sedimento. Tamizaje y lavado del sedimento con tamiz de 500 µm (a). Separación sobre bandejas (b). Identificación de los organismos (c). Determinación de la biomasa de los organismos (d).

3.5.2.1. Biomasa

La biomasa húmeda de los organismos se determinó por medio del método de peso húmedo (Birkett y McIntyre, 1971). En una balanza analítica con aproximación de 0.0001 gramos, los organismos agrupados por familia de acuerdo a la estación fueron pesados después de dejarlos escurrir por dos minutos en papel absorbente (Figura 3.5.4), y se registraron estos valores de cada familia por estación en una matriz de biomasa, para su posterior análisis.

3.5.3. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Con el fin de caracterizar la macroinfauna, inicialmente, se construyeron matrices de los datos de abundancia (número de individuos) y biomasa húmeda (peso húmedo), relacionando las

familias encontradas y las estaciones de muestreo (**Anexo 7.1 y Anexo 7.2**) Se aplicó estadística descriptiva básica (media, desviación estándar, porcentajes) con el propósito de establecer la contribución por taxones a los atributos comunitarios, para visualizar esta información y el comportamiento de los principales atributos entre las estaciones por componente, se realizaron histogramas. El número de familias determinó la expresión de la riqueza específica por sitio de muestreo.

Se calcularon los siguientes descriptores comunitarios: diversidad, mediante el índice de Shannon-Weaner H' (log2); uniformidad de Pielo'u (J') y el índice de riqueza de Margalef (d). Para ello, se utilizó el programa PRIMER v6 & PERMANOVA+. Estos índices permiten evaluar el grado de complejidad de la comunidad y su modificación en las diferentes estaciones (Villareal *et al*., 2006; Ramírez, 1999; Ludwig y Reynolds, 1988; Odum, 1984; Margalef, 1982).

Se estimó el nivel de perturbación de la comunidad, por medio de las curvas ABC (comparación entre abundancia-biomasa), ya sea, de origen natural o antrópico (Clarke y Warwick, 2001). Consiste en comparar en un mismo grafico las curvas de abundancia y biomasa jerarquizando las especies según el orden de importancia en el eje X (escala logarítmica) con el porcentaje de dominancia y biomasa acumulado en el eje Y; en condiciones estables (ausencia de perturbación), la curva de abundancia corre siempre por debajo de la biomasa y en situaciones perturbadas las curvas se invierten (Clarke y Warwick, 2001). Es importante mencionar que bajo condiciones estables, la competencia interespecífica tiende hacia un relativo equilibrio donde los organismos dominantes competitivos son conocidos como k-seleccionados o conservativos. Estos organismos característicamente, son de gran tamaño, tienen ciclos de vida largos y tamaño de poblaciones relativamente constantes; son raramente dominantes numéricamente, pero si dominan en términos de biomasa (Clarke y Warwick, 2001). En contraste, organismos r-seleccionados (oportunistas) tienen ciclos de vida cortos, tamaño de poblaciones variables, algunos dominan numéricamente y la biomasa es baja. Estos últimos son los que tienden a dominar en condiciones de perturbación ambiental (Clarke y Warwick, 2001).

Para la determinación del conjunto de variables fisicoquímicas tomadas en el sedimento y en aguas a nivel de fondo mejor asociadas con los atributos ecológicos, se realizó un análisis con el coeficiente de correlación armónico por rangos de Spearman. Es importante mencionar que solo fueron incluidas en la correlación las estaciones: ST01, ST02, ST04, ST10, ST12, ST15, ST16 y ST19, por ser estas las que contaban con datos de las diferentes variables ambientes medidas.

Para el sedimento se tuvo en cuenta las siguientes variables: PH: pH, G: gravas, AMG: arenas muy gruesas, AG: arenas gruesas, AM: arenas medias, AF; arenas finas, AMF: arenas muy finas, L-A: limos y arcillas. En aguas a nivel de fondo las variables fueron: TEMP: temperatura (°C), COND: conductividad (mS/cm), SAL: salinidad, pH, OD: oxígeno disuelto (mg/L), SATO: saturación de oxígeno (%), TURB: turbidez (NTU).

3.6. CARACTERIZACIÓN DEL COMPONENTE FITOPLANCTON

Para el análisis del fitoplancton se tomó una muestra integrada de la columna de agua en las ocho estaciones de muestreo (Figura 3.6.1). En aquellas con menos de 3,5 metros de profundidad, las muestras se tomaron con un tubo de PVC de dos pulgadas de diámetro, el cual presenta una válvula de pie; mientras que en las estaciones más profundas, las muestras se obtuvieron con manguera. Ambas herramientas construidas y usadas según Lindahl (1986) y Boltovskoy (1990). Las muestras se conservaron en frascos plásticos con capacidad nominal de 0,6 L y se preservaron con lugol en relación 1:200 (Elder y Elbrächter, 2010).

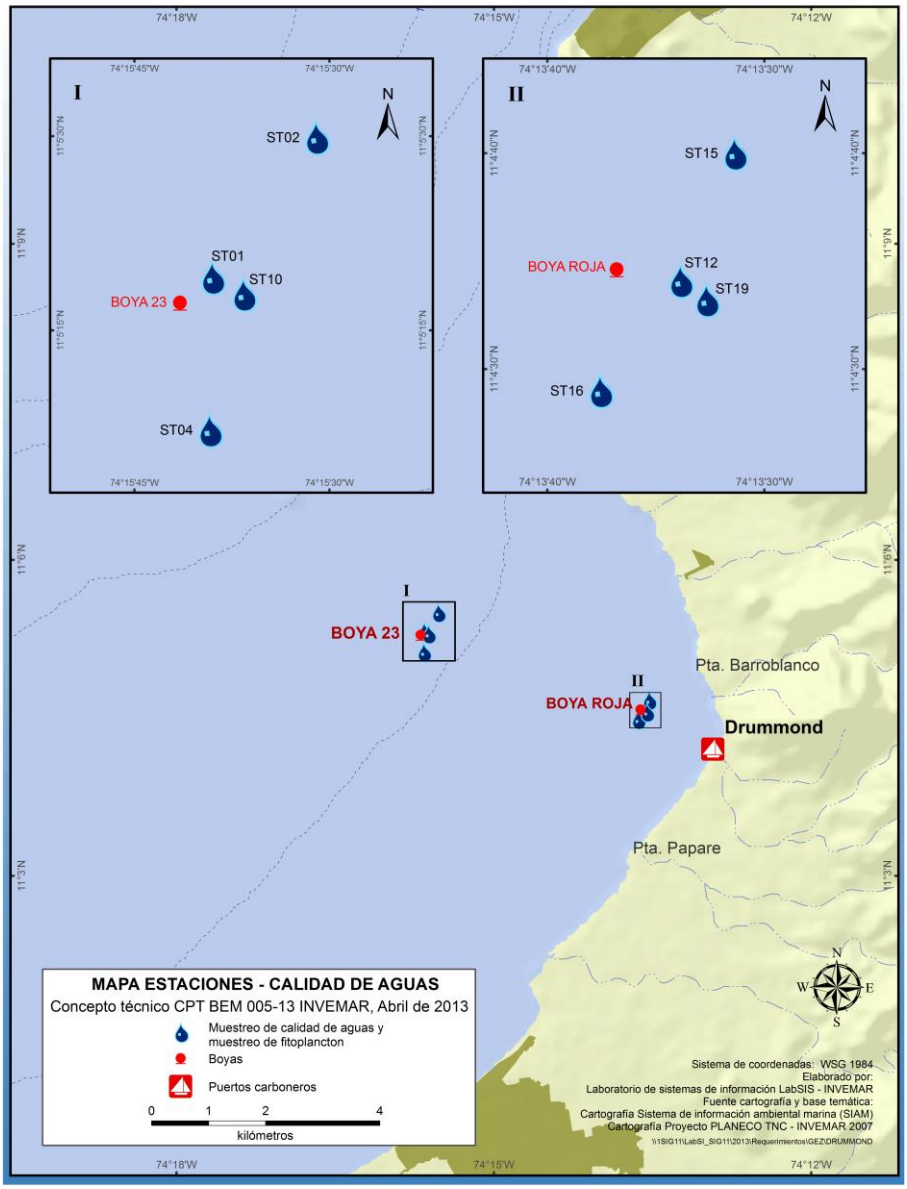


Figura 3.6.1. Ubicación de las estaciones, en el área de estudio.

Para el análisis de las muestras en laboratorio se utilizó el método de Utermöhl teniendo en cuenta las recomendaciones de Villafañe y Reid (1995) y Elder y Elbrächter (2010), que consiste en concentrar los organismos de un determinado volumen de agua por sedimentación en cámaras especiales, para su posterior identificación y conteo en microscopio invertido (empleándose para esto los microscopios Nikon Eclipse TS 100 y Leica DMIL, provistos de rejillas Whipple). Para la identificación taxonómica mediante caracteres se emplearon las descripciones y claves de Cupp (1943); Balech (1988); Round *et al.* (1990); Thomas (1996); Vidal (1995); Komarek y Anagnostidis (1999); Komarek y Anagnostidis (2005) y Vidal (2010).

Los resultados de composición, abundancia y de algunos índices ecológicos se compararon con otros estudios realizados en zonas cercanas del área de estudio.

4. CONCEPTO

4.1. MODIFICACIONES DEL SUSTRATO POR EL VERTIMIENTO ACCIDENTAL DE CARBÓN.

Se realizó el registro del área con sonar de barrido lateral entre la boya roja de navegación del canal de acceso al puerto y 500 m al occidente de la boya 23. El cubrimiento total fue aproximadamente de 3,8 km^2, utilizando 111 trayectos en sentido suroeste-noreste. El fondo marino en el área presentan un área uniforme correspondiente a lodos de origen litoclástico (CIOH, 1999). En inmediaciones de la boya 23, 60 m en dirección noreste de la misma, se diferenció un sustrato diferente al resto del área registrada. Con la comprobación a través del muestreo sedimentológico (Figuras 4.1.1) se determinó que el mismo corresponde al depósito de carbón causado por el vertimiento accidental reportado por Puerto Drummond LTD.

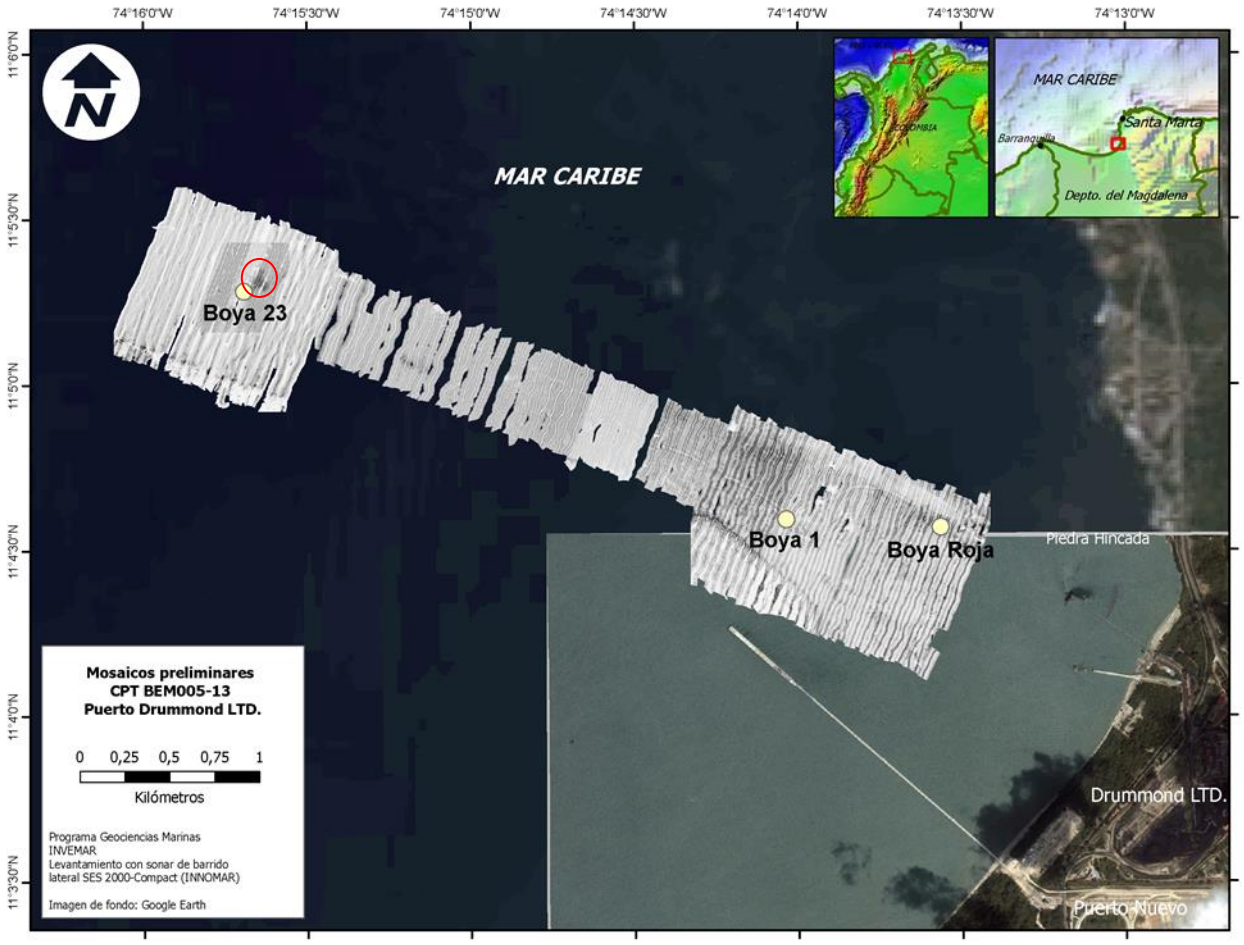


Figura 4.1.1. Ubicación de mosaicos adquiridos con Sonar de Barrido Lateral. Nótese el círculo rojo identificando una mancha más oscura al noreste de la boya S23.

La caracterización granulométrica preliminar (Tabla .1) expone el predominio de tamaños de grano de sedimento fino (menores a 0,125 mm) para la mayoría de las estaciones muestreadas. La excepción corresponde a la muestra de la estación ST-01, tomada sobre el área delimitada en el mosaico del sonar, donde el sedimento asociado al carbón muestra tamaños de grano gruesos (mayores a 1 mm), los fragmentos inclusive alcanzan tamaños hasta los 10 cm (Figura 4.1.2.)

Tabla 4.1.1. Datos de granulometría obtenidos en el laboratorio

COLOMBIA 50% MAR Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andréis" - INVEMAR										FT - LabIMA - 05 Versión 00
PAGINA 1 DE 1		CAPTURA DE DATOS GRANULOMETRIA								
Código LabIMA	Código Solicitante	Muestra Seca Peso (g)	>0,063 mm Peso (g)	> ϕ -1 >2,0 mm Peso (g)	ϕ 0 1,0 - 2,0 mm Peso (g)	ϕ 1 0,5 - 1,0 mm Peso (g)	ϕ 2 0,25 - 0,5 mm Peso (g)	ϕ 3 0,125 - 0,25 mm Peso (g)	ϕ 4 0,063 - 0,125 mm Peso (g)	< ϕ 4 <0,063 mm Peso (g)
2013-045	CPTDR B23 M1 ST1	100,01	94,61	35,80	32,40	15,56	7,14	1,85	1,04	0,64
2013-046	CPTDR B23 M2 ST2	100,01	52,27	0,16	0,16	0,28	0,73	3,96	38,74	8,22
2013-047	CPTDR B23 M3 ST4	100,00	30,88	0,01	-	0,04	0,36	1,65	20,86	7,88
2013-048	CPTDR B23 M4 ST5	100,01	27,67	0,01	0,01	0,1	0,53	2,64	16,16	8,16
2013-049	CPTDR B23 M5 ST7	100,01	24,95	-	0,01	0,06	0,48	2,45	14,42	7,35
2013-050	CPTDR B23 M6 ST10	100,00	25,42	3,79	0,98	0,4	0,35	1,49	12,5	5,81
2013-051	CPTDR BR- M1 ST12	100,01	75,41	0,11	0,11	0,12	0,49	6,79	62,11	5,94
2013-052	CPTDR BR- M2 ST14	100,01	87,04	0,61	0,19	0,22	0,35	9,74	71,09	4,77
2013-053	CPTDR BR- M3 ST15	100,00	75,27	0,14	0,18	0,25	0,39	7,3	63,86	3,09
2013-054	CPTDR BR- M4 ST16	100,01	45,72	0,65	0,01	0,03	0,09	2,26	39,07	3,55
2013-055	CPTDR BR- M5 ST17	100,00	17,08	0,56	0,15	0,09	0,22	1,64	13,06	1,34
2013-056	CPTDR BR- M6 ST19	100,01	81,93	0,12	0,1	0,09	0,19	10,47	66,69	4,27
2013-057	CPTDR BR- M7 ST20	100,00	57,43	0,32	0,01	0,04	0,13	3,25	48,66	4,99
SOLICITANTE: SCI - GAMMA										
ANALISTA: DEIMER MARTINEZ						FECHA DE ANALISIS: 11/04/2012				
						FECHA DE ENTREGA: 12/04/2012				

a)

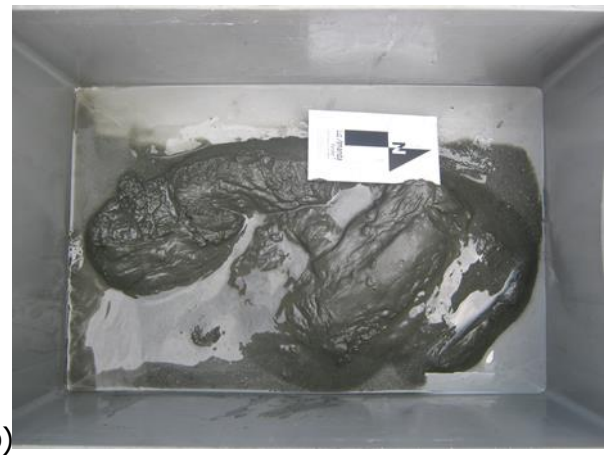
b) 

Figura 4.1.2. Toma de muestra de sedimentos a) Estación ST-01 con alto contenido de carbón, b) Estación ST-20, sedimentos finos lodo-arenosos.

El tamaño medio de los sedimentos alrededor de la boya 23, corresponde a limos gruesos con selección pobre y distribución simétrica, encontrados a profundidades cercanas a los 10 m. Hacia la boya roja a profundidades de 3 m los sedimentos son arenas muy finas o limos muy gruesos como tamaño medio, de selección pobre y asimetrías hacia fracciones muy finas.

El mosaico adquirido (Figura 4.1.3) reflejó un área aproximada de 10.194 m^2 en los cuales estaría distribuido el mayor depósito de carbón sobre la superficie lodo-arenosa del fondo marino de origen natural encontrado en el sector del Golfo de Salamanca. Además del área directamente afectada se identificó una marca lineal que parte desde la misma zona de vertimiento hasta las inmediaciones de la boya roja, la cual puede ser interpretada como una trayectoria de arrastre de la barcaza TS-115 al momento de ser remolcada.

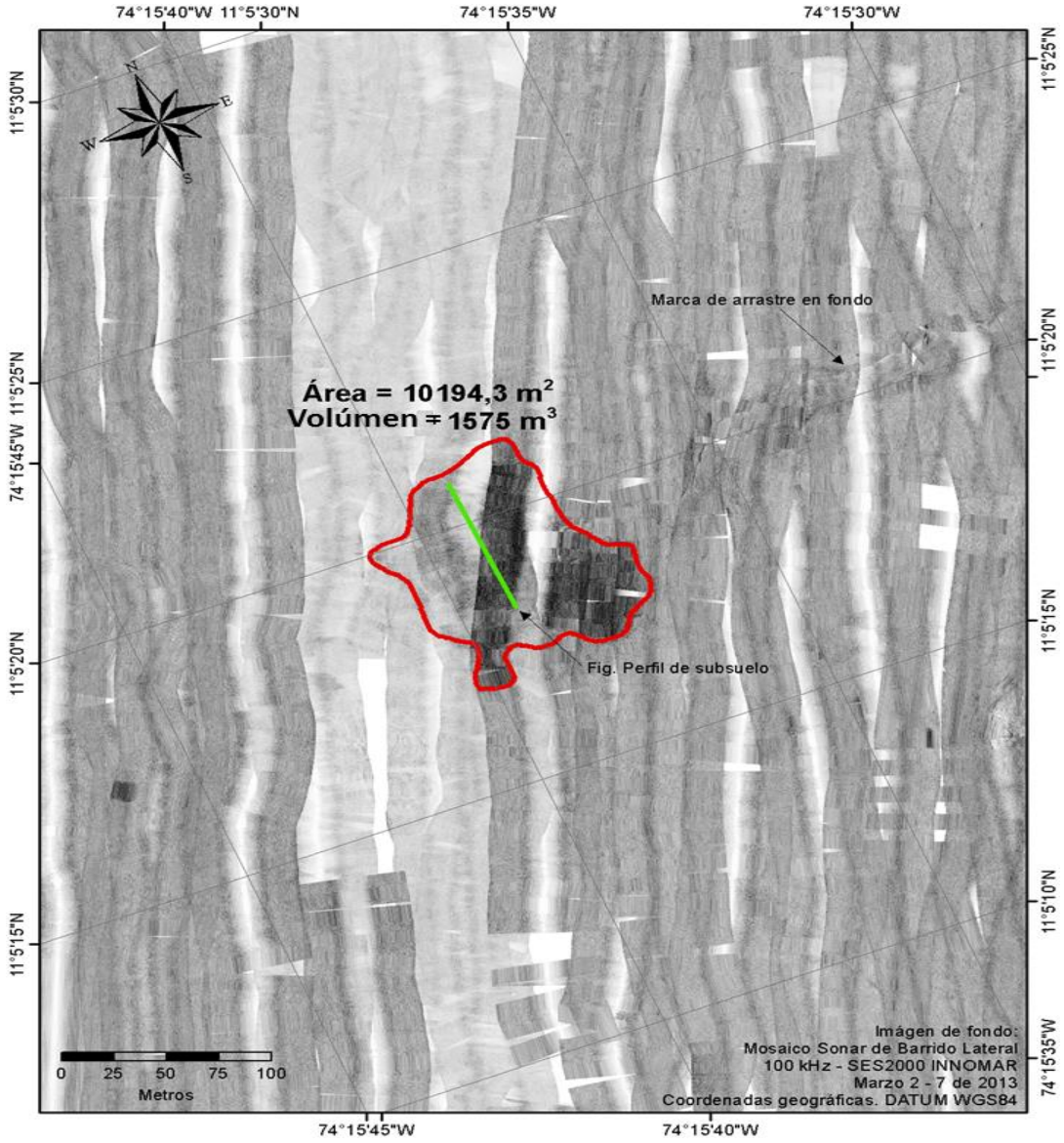


Figura 4.1.1 Detalle del mosaico obtenido al NW de la boya de amarre 23 de Puerto Drummond LTD.

En inmediaciones de las boyas 1 y la boya roja se identifican varios tipos de sustrato, sin embargo la caracterización sedimentológica preliminar de las muestras no refleja variaciones de composición en el fondo ni la presencia de acumulaciones de carbón.

Con la realización de perfiles del subsuelo sobre el área determinada a partir del mosaico generado con sonar de barrido lateral, se identificó un espesor del depósito de carbón máximo de 0,91 m con ubicación aproximada en 11°05'19,63"N, 74°15'39,42"W (Figura 4.1.4). Se diferenció por el relieve causado sobre el fondo, la irregularidad de la superficie provocada posiblemente por el aumento de contenido en fragmentos gruesos, y la ausencia de reflectores dentro de la capa identificada en el registro acústico. Por debajo de la capa de carbón, se identifica el sustrato lodo-arenoso con espesores cercanos a los 4 m, es característico del ambiente de sedimentación con baja energía en el Golfo de Salamanca hacia el oriente, cerca del borde costero. La sedimentación actual suprayace los sedimentos progradantes antiguos del delta del río Magdalena, que se distinguen en el registro como una secuencia laminada homogénea, con inclinación suave (<1°) hacia el norte.

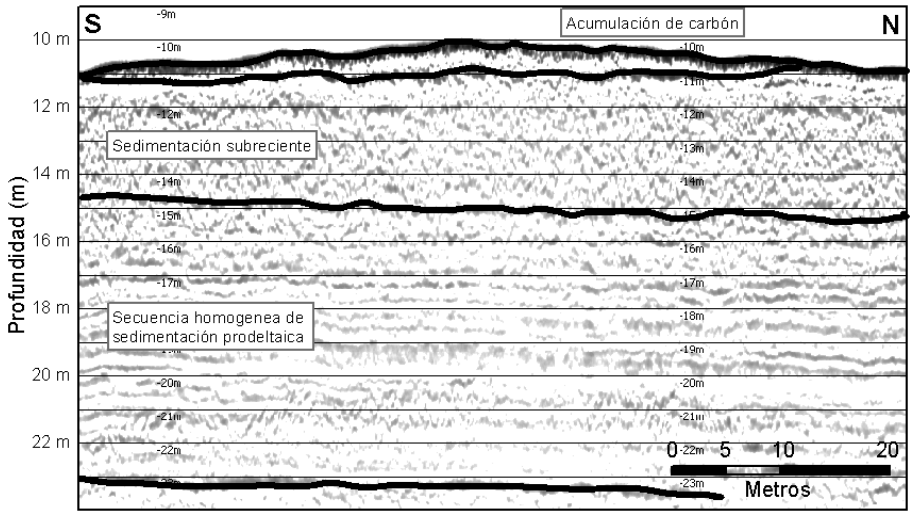


Figura 4.1.4. Perfil del subsuelo en el área de mayor espesor del depósito de carbón (Ver ubicación en la Figura 4.1.11.3.)

El volumen calculado a partir de las superficies identificadas en el área registrada es de aproximadamente 1575 m^3. Esta capa de sedimentos contiene carbón de tamaño grava que deja espacios intersticiales amplios en los cuales se presenta la infiltración y probable saturación de agua del depósito y la sedimentación de fracciones más finas.

4.2. CARACTERIZACIÓN OCEANOGRÁFICA

Con el propósito de determinar los posibles efectos causados al ecosistema, resultó necesario realizar una caracterización físico-química de la columna de agua; esto con el objetivo de

identificar posibles variaciones espaciales de los parámetros medidos e identificar gradientes en la zona teniendo en cuenta que debido al tiempo transcurrido desde el incidente, el material pudo haberse dispersado en diferentes direcciones.

Las variaciones espaciales superficiales de los parámetros medidos (temperatura, salinidad, oxígeno, transparencia del agua y sólidos suspendidos) se presentan en la Figura 4.2.1. Es posible advertir variaciones en la zona de estudio, tal que la zona más cercana a la costa presenta la mayor temperatura y menor salinidad, comportamiento esperado para la zona más influenciada por aportes continentales. Este mismo comportamiento se advierte en la transparencia del agua, la cual resultó menor a medida que nos acercamos a la costa, que a su vez concuerda con la mayor concentración de SST, revelando nuevamente la influencia del aporte continental; en la cual se tienen las descargas de los ríos Toribio y Córdoba, así como los eventuales aportes de carbón que llegan al océano transportados por el viento y que serán mayores o menores dependiendo de la época climática. Aunque en el presente estudio no se realizaron mediciones atmosféricas, se sugiere hacer un seguimiento al aporte eólico de este material.

Los niveles de oxígeno a nivel superficial muestran un claro gradiente hacia la costa, tal que los menores valores se registraron en las estaciones más costeras. El oxígeno disuelto es el principal compuesto químico para la vida y supervivencia de la mayoría de especies biológicas en el océano y es un determinante del número y distribución de especies. La concentración de oxígeno en el océano está regulada por dos principales procesos, el primero es la difusión desde la atmósfera mediante el viento y las olas y el segundo debido a los procesos fotosintéticos realizados por el fitoplancton. Menores valores de oxígeno cercanos a la costa pueden indicar zonas menos activas biológicamente, en la cuales la respiración domina sobre la fotosíntesis.

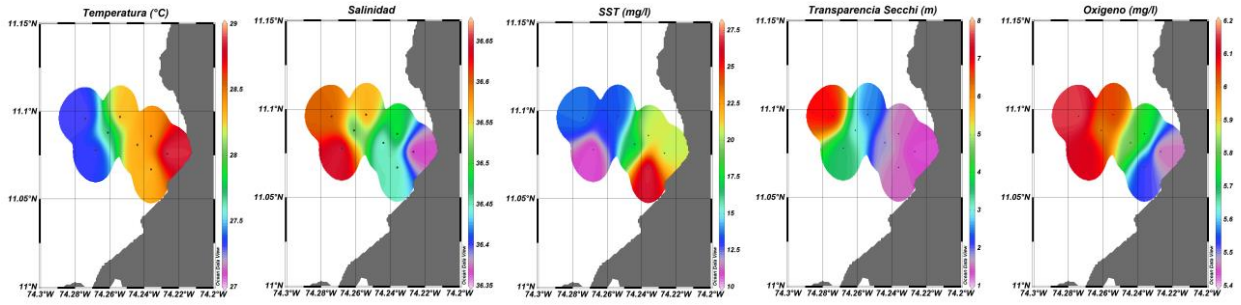


Figura 4.2.1. Valores superficiales de temperatura, salinidad, oxígeno, sólidos suspendidos y transparencia del agua en la zona de estudio

La actividad biológica puede estar afectada por el incremento en el aporte de CO_2 del océano a la atmósfera en las épocas de surgencia (al inicio de la misma, el océano se comporta como fuente), lo cual genera un desbalance en los procesos de fotosíntesis y respiración (NOAA, 2008). Teniendo en cuenta la actividad carbonífera de la zona y la cercanía con la zona de surgencia de la Guajira, es probable que aportes extra de carbón puedan estar alterando la calidad fisicoquímica del agua; no obstante, estudios anteriores han revelado que es difícil establecer que los descensos en el pH registrados en aguas costeras del departamento del

Magdalena sean debidos a la presencia de carbón de agua (Franco-Herrera *et al.* 2011); esto debido a que estudios anteriores realizados dan indicios de disminuciones del pH previos al desarrollo carbonífero de la región.

De otro lado y con el fin de evaluar la existencia de gradientes verticales de la temperatura y salinidad alrededor del punto del incidente (estación OC4), se realizaron dos transectos; uno paralelo y otro perpendicular a la línea de costa (Figura 4.2.2). En cuanto a temperatura, las mayores variaciones en profundidad se encontraron en el transecto perpendicular, comportamiento ya detectado a nivel superficial (Figura 4.2.1), indicando heterogeneidad en esa dirección; variaciones que no fueron tan pronunciadas en el transecto paralelo, el cual resultó ser más homogéneo. La salinidad por su parte resultó más homogénea en ambos transectos.

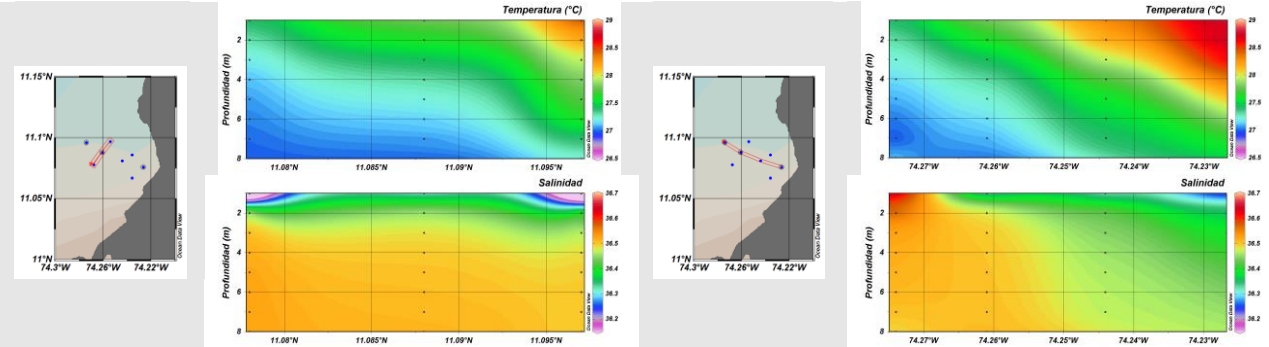


Figura 4.2.2. Variaciones en profundidad de temperatura y salinidad en dos transectos (paralelo y perpendicular) del área de estudio.

Con respecto a las corrientes medidas, los resultados muestran que en la zona de interés (estaciones OC4 y OC9) se registraron corrientes débiles con magnitudes alrededor de 0.1 m/s (Fig. 4.2.3 a), las cuales no presentaron variaciones de la magnitud con la profundidad; sin embargo si presentaron variaciones en la dirección (Fig. 4.2.3 b), no pudiendo establecerse una dirección promedio para cada estación. En los primeros metros las direcciones son oeste (W, entre 180° y 360°), pero después de los 7 metros de profundidad se tornan este (E, entre 0° y 180°). Para esta época del año predominan los vientos Alisios del noreste (NE) y los datos de vientos medidos durante la salida mostraron vientos provenientes de esta misma dirección. Teniendo en cuenta que la zona de estudio se encuentra abrigada por una barrera topográfica (vértice oeste de la Sierra Nevada de Santa Marta) que a su vez actúa como punto de difracción para el oleaje incidente del NE, es de esperarse que las corrientes cambien de dirección bajo este escenario y tomen dirección E.

Las variaciones de la dirección con la profundidad pueden estar relacionadas con resuspensión de material en todas las direcciones; no obstante, una medición puntual no es suficiente para determinar la dinámica del sedimento en la zona. Mediciones y/o modelaciones del transporte de sedimentos aportarían información valiosa sobre la dispersión de material derramado al mar. Al observar los perfiles de la intensidad del eco (Fig. 4.2.3 c), los cuales son una medida de la intensidad de la señal retrodispersada por los elementos presentes en el agua (principio físico de los correntómetros tipo ADCP), se encontró que los mayores ecos se presentaron en la estación

OC4, estación que corresponde a la zona del derrame y que está más cercana a la costa que la OC9. Mayores ecos indican más elementos presentes, que podría ser sedimentos, organismos, basuras, etc., aunque se aclara que a partir de estos perfiles no es posible identificar el elemento, simplemente se puede inferir donde hubo más o menos. Así mismo, se aclara que los datos acá reportados solo pueden ser utilizados para ser comparados con las otras mediciones realizadas durante la misma salida y no como un patrón característico para la zona.

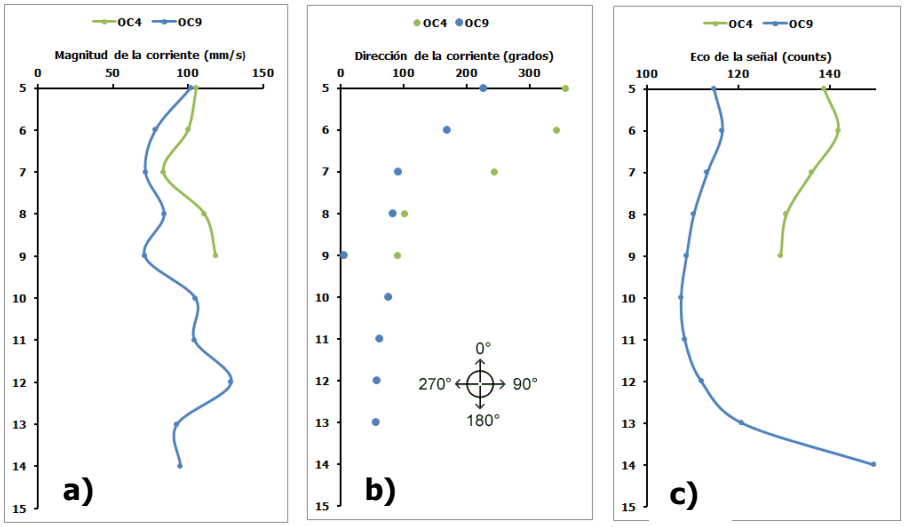


Figura 4.2.3. Magnitud de la corriente (a), dirección de la corriente (b) e intensidad de la señal del ADCP (c) en la zona de estudio (estaciones OC4 y OC9).

4.3. ESTADO DE LA BIODIVERSIDAD Y ECOSISTEMAS MARINOS

Durante las salidas de campo las condiciones del mar fueron favorables en cuanto a corrientes y oleaje lo que permitió el desarrollo de las labores tanto en el bote como bajo el agua. La coloración del agua fue café oscura, típica de sólidos suspendidos originados por la cercanía de fuentes de agua continental, la cual podría proceder por transporte superficial de los ríos Córdoba y Toribio y por influencia de las aguas de la Ciénaga Grande de Santa Marta, todas estas ubicadas al sureste del área evaluada.

Los ecosistemas marinos característicos de la región suroeste de Santa Marta son los fondos blandos (Arango y Solano, 1999), los cuales están conformados por la acumulación de partículas sedimentarias como arenas, arcillas, cienos y limos, en un sustrato inestable y de baja complejidad topográfica, sin embargo ofrecen alimento y protección a una gran cantidad de organismos. En el fondo marino habitan plantas o animales que se denominan bentos, los cuales pueden vivir dentro o encima del sedimento, llamándose a los primeros infauna y a los segundos epifauna, siendo particularmente abundante entre ellos el grupo de los artrópodos y moluscos (Guzmán-Alvis y Ardila, 2004).

La profundidad de los sitios evaluados alrededor de la boya 23 (estaciones ST01 a ST11) osciló entre los 9 y 12 m. Esta área fue el lugar reseñado por la empresa como el sitio donde estuvo a punto de hundirse la barcaza TS-115 con 1857 toneladas de carbón aproximadamente. En todas las inmersiones la visibilidad superficial no superó los 3 m, la cual se redujo casi por completo en el fondo a unos pocos centímetros, lo que no permitió la identificación de organismos presentes tales como moluscos, crustáceos, Cnidarios, poliquetos etc... Sólo fue posible visualizar el fondo en las estaciones ST01, ST03, ST09 y ST10, en los que durante los recorridos de los video-transectos no fue observado ningún organismo. Sin embargo, se evidenció y confirmó la presencia de gran parte del carbón especialmente en la zona donde se presumía que se había derramado de la barcaza TS 115 que reúne las estaciones ST01, ST09, ST10, ST11, allí gran parte del mineral se encuentra enterrado en el sedimento (Figura 4.3.1).

Por su parte, en general para las estaciones de la boya roja (estaciones ST12 a ST19), la profundidad osciló entre 3 y 4 m. La visibilidad superficial no superó 1 m, la cual se redujo por completo en el fondo, lo que no permitió la identificación por métodos visuales de organismos, o una revisión detallada del área. Sólo se observaron varias medusas de la especie *Stomolophus meleagris* en las capas superficiales de la columna de agua, organismos que normalmente están presentes durante la época actual o la estación seca (Figura 4.3.2)

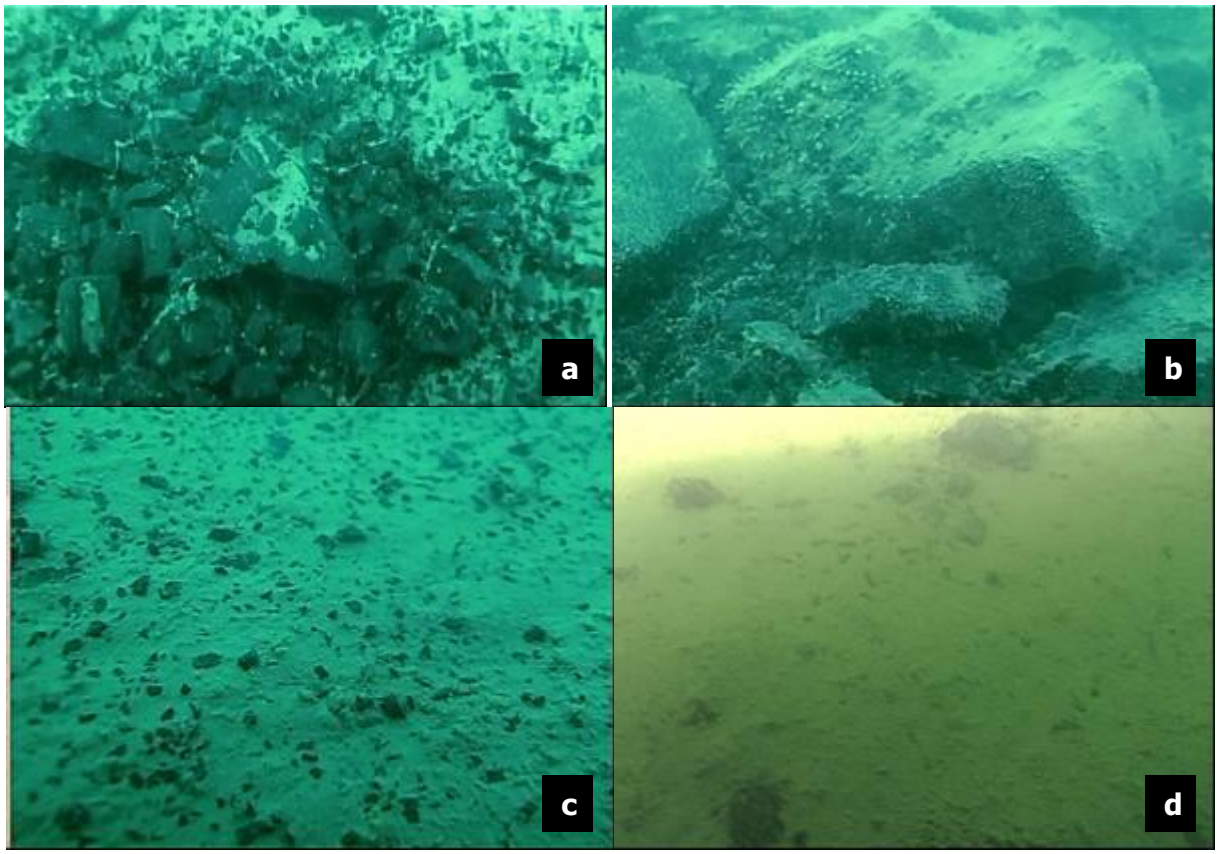


Figura 4.3.1. Imágenes de los sitios donde fue posible visualizar el fondo con presencia de carbón. a-c. Fotos tomadas del video-transecto de la estación ST01 a ST09. d. Foto tomada durante el recorrido de la estación ST01 a ST10, aquí gran parte del carbón está enterrado.

Figura 4.3.2. Medusa de la especie *Stomolophus meleagris* observada en las capas superficiales de la columna de agua.

4.3.1. PRINCIPALES EFECTOS DEL CARBÓN SOBRE EL MEDIO MARINO

Teniendo en cuenta la información primaria colectada y secundaria analizada, se hace una descripción y análisis preliminar de la situación:

- Los ecosistemas marinos característicos de la región suroeste de Santa Marta son los fondos blandos de lodo y arenas, que albergan una comunidad del bentos bien definida hasta aproximadamente 50 m de profundidad compuesta por organismos altamente adaptados a estos ambientes, principalmente del grupo de los artrópodos y moluscos (Arango y Solano, 1999).

- Los organismos bentónicos representan un importante eslabón en el reciclamiento de nutrientes en la columna de agua y en el flujo de energía de los productores primarios a niveles tróficos superiores; es así como los invertebrados de fondos blandos (poliquetos, crustáceos, moluscos, entre otros) forman la base del flujo de energía desde el bentos hacia muchas especies como los peces demersales, los cuales se encuentran frecuentemente cerca del fondo (Crisp, 1984; Longhurst y Pauly, 1987).

- Según Franco *et al.* (2011), el polvillo de carbón puede contener 13 diferentes hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (Campbell y Devlin, 1997) destacándose el benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, indeno(1,2,3-cd)pireno y benzo(g,h,i)pireno, que pueden llegar a inducir a la formación de metabolitos mutantes a nivel hepático a nivel de peces teleósteos (Hahn y Stegeman, 1994).

- El enterramiento y aplastamiento ocasionado por la depositación masiva del carbón sobre las comunidades bentónicas (menores a 2 cm que viven dentro del fondo arenoso y lodoso) presentes en los fondos blandos representa uno de los mayores impactos cuando se presenta este tipo de incidentes, considerando que la mayor parte de los organismos viven en los primeros centímetros de profundidad donde existe mayor

cantidad de oxígeno. Según lo anterior, los fragmentos que caen al fondo pueden generar asfixia al interferir con la respiración de éstos ya que la mayoría de especies que están allí poseen poca movilidad o carecen de ella lo que les impide salir de su galería. Dependiendo de la cantidad de carbón que llegue al fondo, sobrevivirán las especies adaptadas a estas condiciones (Franco *et al*., 2011).

- Asimismo, los fragmentos más gruesos y pesados caerán rápidamente alterando la ecología del ambiente por cambio en el tamaño de grano en los sedimentos, lo que afecta el establecimiento y distribución de individuos, especialmente de la infauna (INVEMAR, 2004; Cortés *et al*., 2008). Todos estos efectos pueden incidir en un eslabón clave de la cadena trófica al encontrarse en estos ecosistemas muchas especies de moluscos, crustáceos, anélidos, entre otros, de los cuales dependen otras especies, entre ellas la de peces de interés comercial.

- La presencia de polvillo o fragmentos livianos en la columna de agua también genera una mayor turbidez afectando a los organismos autótrofos (fitoplancton) inhibiendo la realización del proceso de fotosíntesis, el cual es fundamental para su desarrollo. Asimismo, por el efecto del oleaje, las corrientes y eventos extremos como mar de leva, facilitan el transporte de estos fragmentos depositándose en los fondos marinos de otros sectores, incluso llegar hasta las playas, como se ha documentado en algunos estudios realizados al sur del Departamento del Magdalena (Franco-Herrera *et al*., 2011; Gómez *et al*., 2011), cambiando su aspecto, sus características estructurales y sedimentológicas.

- Por otra parte, la presencia de los pedazos de carbón de mayor tamaño en el área suministra un sustrato duro el cual ha sido utilizado para la fijación de organismos que son escasos en el ecosistema de fondos blandos como los balanos y briozoos. Así, uno de los efectos directos de la presencia de fragmentos de carbón es el de modificar el hábitat natural que puede llegar a cambiar en el mediano plazo, la composición y estructura de las comunidades, donde se presenta un proceso de sucesión originado por el impacto (INVEMAR, 2010).

- Adicional a lo anterior, es importante tener en cuenta que algunos de los componentes del carbón mineral pueden tener efectos perjudiciales potenciales sobre ciertos organismos marinos. El carbón está compuesto por una serie de sustancias y elementos, entre los que se pueden encontrar metales pesados (Kleiber *et al*., 2002, Silva *et al.,* 2011), que aunque en bajas concentraciones los hace difíciles de detectar y cuantificar, pero igualmente pueden ser tóxicos a largo plazo para algunos organismos filtradores marinos al ser absorbidos y bioacumulados en sus tejidos (Nicolaidou y Nott, 1990; Siboni *et al*., 2004).

- El carbón también puede tener efectos negativos sobre los peces. La turbidez generada por el polvillo puede interferir sus procesos de migración con fines alimentarios que dificultaría la obtención del alimento y limitaría los procesos reproductivos lo que puede llegar a afectar gravemente el ciclo biológico de los peces, como podría ser el caso de algunos mugílidos (e.g. *Mugil incilis, M. lisa*) que crecen en el interior de la Ciénaga Grande de Santa Marta y se dirigen hacia el norte buscando zonas adecuadas para su

reproducción y a su regreso bordean la costa hasta llegar nuevamente a la Ciénaga (Ecoforest Ltda, 1992; cf. Cortés *et al*., 2008; Franco-Herrera *et al*., 2011).

- Otros efectos del carbón en los peces según Franco-Herrera *et al*. (2011) se dan a nivel fisiológico donde el mineral puede interferir en los procesos de respiración al taponar las vías respiratorias de los peces hasta producir una asfixia, además, la caída de partículas hacia el mar produce un constante roce con la piel de estos organismos, lo que conlleva a daños y lesiones de la epidermis. Estos mismos autores registraron la presencia de carbón en el estómago de un individuo del Pargo rayado (*Lutjanus synagris*) y del Melito (*Cynoscion jamaicensis*), así como unas partículas sólidas de color negro incrustadas a nivel superficial y órganos como hígado, gónadas, pero no pudieron ser confirmadas como carbón a partir de la metodología empleada. Sin embargo, se registró su presencia en 245 de 294 ejemplares capturados, especialmente en los órganos del sistema digestivo y a una escala espacial la frecuencia de aparición de las partículas negras fue mayor en los lugares de pesca cerca a los operadores portuarios de carbón al sur del margen costero del Departamento del Magdalena. Dependiendo del lugar donde se depositen las partículas, su presencia puede generar dolor, estrés, laceraciones de tejidos, taponamiento temporal del tracto intestinal, alteraciones en el sistema reproductivo, deterioro glandular, entre otros, que debilitan al pez limitando su óptimo desarrollo o pueden llegar a presentar consecuencias fatales, especialmente los peces demersales debido a su frecuente cercanía con el fondo.

4.4. CALIDAD DE AGUAS

En el **Anexo 7.3** se muestran los informes de resultados (IR) de las variables fisicoquímicas medidas en la columna de agua durante el muestreo realizado el 20 de marzo de 2013, en las estaciones ubicadas en la zona de derrame de carbón producido por la maniobra de rescate de la barcaza TS-115.

En las ocho estaciones estudiadas se registraron profundidades entre 2,7 y 10,7 m; la visibilidad del disco Secchi varió entre 0,7 y 2,5 m, los menores valores de transparencia se presentaron en las estaciones cercanas al muelle del puerto (Boya Roja).

La turbidez promedio en las aguas superficiales fue de 7,19 ± 4,81 NTU, mientras que en el fondo aumentó a 10,78 ± 9,23 NTU, situación que es normal debido al proceso de sedimentación del material particulado. El menor valor para éste parámetro se presentó en la estación ST10 (1,60 NTU), mientras que en las estaciones ST12 y ST19 se registró el mayor valor (23,0 NTU).

En la Tabla 4.4.1, se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos medidos *in situ*. El valor promedio de la temperatura en superficie fue 29,3 ± 0,53 ºC, en fondo disminuyó a 28,5 ± 0,69 ºC. En cuanto a la salinidad, se encontraron valores característicos de aguas marinas, en superficie el promedio fue 36,6 ± 0,37 y en fondo 36,5 ± 0,12; lo cual es una condición natural debido al cambio en la densidad.

Tabla 4.4.1. Resultados de parámetros fisicoquímicos medidos *in situ* en las estaciones ubicadas en la zona de derrame de carbón producido por la maniobra de rescate de la barcaza TS-115

Zona	Estación	Temp (°C)		Sal		pH		O_2 Disuelto ($mg*g^{-1}$)		Saturación O_2 (%)	
		Sup	**Fon**	**Sup**	**Fon**	**Sup**	**Fon**	**Sup**	**Fon**	**Sup**	**Fon**
Boya 23	ST01	29,0	28,0	36,6	36,5	8,18	8,24	5,78	5,80	92,3	89,1
	ST02	28,4	27,3	36,4	36,5	8,19	8,19	6,09	5,85	94,0	89,0
	ST04	29,1	28,2	36,4	36,3	8,22	8,24	6,05	5,91	98,0	95,4
	ST10	29,1	28,3	36,3	36,4	8,23	8,24	5,98	5,63	94,3	89,0
Boya Roja	ST12	29,6	28,9	36,7	36,7	8,18	8,16	5,62	5,27	90,0	82,0
	ST15	30,1	29,5	36,0	36,4	8,14	8,17	5,86	5,80	92,6	92,0
	ST16	29,8	28,8	37,0	36,4	8,17	8,17	5,88	5,34	95,7	88,6
	ST19	29,5	29,0	37,1	36,4	8,18	8,15	5,63	5,10	89,5	81,0
Histórico del Área (INVEMAR, 2013)		27,1 – 31,1		20,4 – 41,2		7,83 – 8,41		2,60 – 7,08		42,4 – 92,8	

Aunque el derrame de carbón en agua puede producir cambios en los valores de pH, generalmente acidificación del medio, la capacidad buffer del mar, hace que el sistema retome sus condiciones de equilibrio en poco tiempo. El pH en la columna de agua de las ocho estaciones, fluctuó entre 8,14 y 8,24 (Tabla 4.4.1.), valores considerados normales para aguas marinas (Chester, 1990) y adecuados para propósitos de preservación de fauna y flora según el rango permisible establecido por la legislación colombiana (6,5 – 8,5; Minsalud, 1984). El pH registrado en las aguas superficiales de las ocho estaciones, está dentro del intervalo de valores históricos de la REDCAM en la zona (Tabla 4.4.1.).

La variación de OD en superficie y fondo y su respectivo porcentaje de saturación (%SO) se registran en la Tabla 4.4.1. A excepción de la estación ST01, todas las muestras de agua superficial presentaron niveles de oxígeno superiores a las muestras de fondo, comportamiento normal, debido a que en superficie hay difusión de oxigeno hacia la columna de agua por el contacto con la atmósfera y por la liberación de O_2 en el proceso de fotosíntesis. Al aumentar la profundidad y debido a los procesos de remineralización de la materia orgánica hay consumo de oxígeno (Chester, 1990). De acuerdo con el decreto 1594 de 1984 (Minsalud, 1984) que establece un mínimo permisible de 4 mg/L de oxígeno disuelto, correspondiente a un %SO del 70%, los valores registrados son normales y representan un estado favorable de la calidad del agua con fines de preservación de fauna y flora. Los niveles de oxígeno en el área de estudio se encuentran dentro del rango histórico registrado por la REDCAM en zonas cercanas (Tabla 4.4.1).

4.4.1. CALIDAD DE SEDIMENTOS

En el **Anexo 7.4** se muestran los informes de resultados (IR) de las variables fisicoquímicas medidas en el sedimento durante el muestreo realizado el 20 de marzo de 2013, en las ocho estaciones ubicadas en la zona de derrame de carbón producido por la maniobra de rescate de la barcaza TS-115.

Como se muestra en la Tabla 4.4.2., el pH medido en los sedimentos de la zona fluctuó entre 6,99 y 7,97, reflejando un carácter ligeramente ácido en las estaciones ST01 y ST10 y un carácter ligeramente alcalino en las demás. En comparación con el pH medido en la columna de agua (Tabla 4.4.1), los valores en el sedimento son menores, debido a la materia orgánica que allí se deposita, la cual ocasiona una liberación de CO_2 que da lugar a un descenso en el pH (Chester, 1990)

Tabla 4.4.2. Resultados de los análisis fisicoquímicos en los sedimentos recolectados en las estaciones ubicadas en la zona de derrame de carbón producido por la maniobra de rescate de la barcaza TS-115

Zona	Estación	pH	M.O. Vol.[1] (mg*g^{-1})	G y A[2] (mg*g^{-1})
Boya 23	ST01	6,99	949,0	4,81
	ST02	7,60	344,2	<0,2
	ST04	7,05	205,5	<0,2
	ST10	6,99	407,6	<0,2
Boya Roja	ST12	7,44	345,5	<0,2
	ST15	7,15	303,0	<0,2
	ST16	7,74	275,6	<0,2
	ST19	7,97	291,7	<0,2
Otros estudios (INVEMAR, 2012; GÓMEZ, et al., 2011)		7,57 – 7,86	40,6 – 85,9	- - -

[1] Materia orgánica Volátil, [2] Grasas y Aceites,

Con respecto a otros estudios en zonas similares (INVEMAR, 2012), el contenido de materia orgánica volátil en el área de interés fue alta. En la zona de la boya 23 se registraron las mayores concentraciones, 949,0 mg*g^{-1} (ST01) y 407,6 mg*g^{-1} (ST10), situación que corrobora el comportamiento del pH en estas estaciones, donde según lo encontrado en la valoración macroscópica de las muestras, hay presencia mayoritaria de carbón.

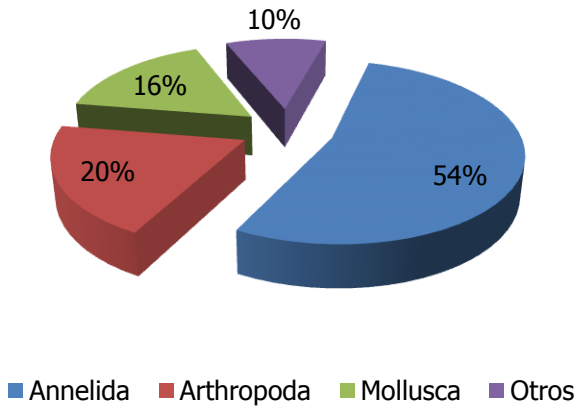
Las concentraciones de grasas y aceites (Tabla 4.4.2.) estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (0,2 mg*g^{-1}), con excepción de la estación ST01 donde se registró un valor de 4,81 mg*g^{-1}, evidenciando adsorción de compuestos grasos (Troncoso *et al.*, 2008).

4.5. COMPOSICIÓN DEL BENTOS

Se identificaron en total para el área de estudio 665 individuos con una biomasa húmeda de 16,4634 g, distribuidos en 66 taxones, pertenecientes a ocho phyla: Annelida, Arthropoda, Mollusca, Echinodermata, Nemertea, Phoronida, Echiura y Sipuncula (Anexos 4.5.1 y Anexos 4.5.2). Los phyla Annelida y Arthropoda sobresalieron por presentar las mayores abundancias con 54 % y 20 % respectivamente, y número de familias con 54 % y 18 %, respectivamente. Mollusca estuvo en el tercer lugar en cuanto a estos dos atributos, presentando 16 % para el primer y 12 % para el segundo; en último lugar estuvo el grupo "otros" (esta categoría reúne los grupos poco representativos de la comunidad) (Figura 4.5.1). El promedio del número de

familias entre estaciones fue de 19 (± 6,62); encontrándose el mayor número de familias en las estación ST02 (con 29), debido principalmente al aporte de Annelida con 14 familias; mientras que el menor número se registró en la estación ST01 con 4 familias (Figura 4.5.2).

a)



b)

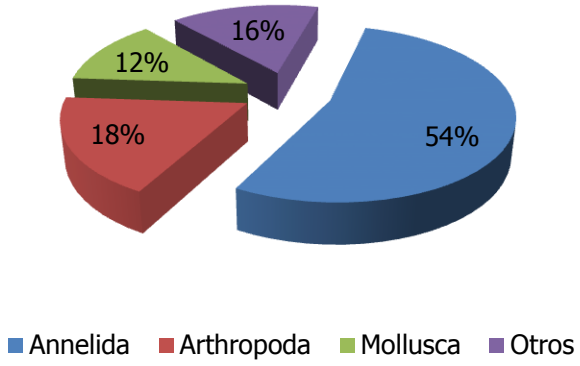


Figura 4.5.1. Distribución porcentual de la abundancia (a), número de familias (b) por phyla de la macroinfauna asentada en la terminal de carbón de puerto Drummond, Caribe colombiano. Otros: Echinodermata, Nemertea, Echiura, Phoronida, Sipuncula. Área muestreal: 0,08 m^2.

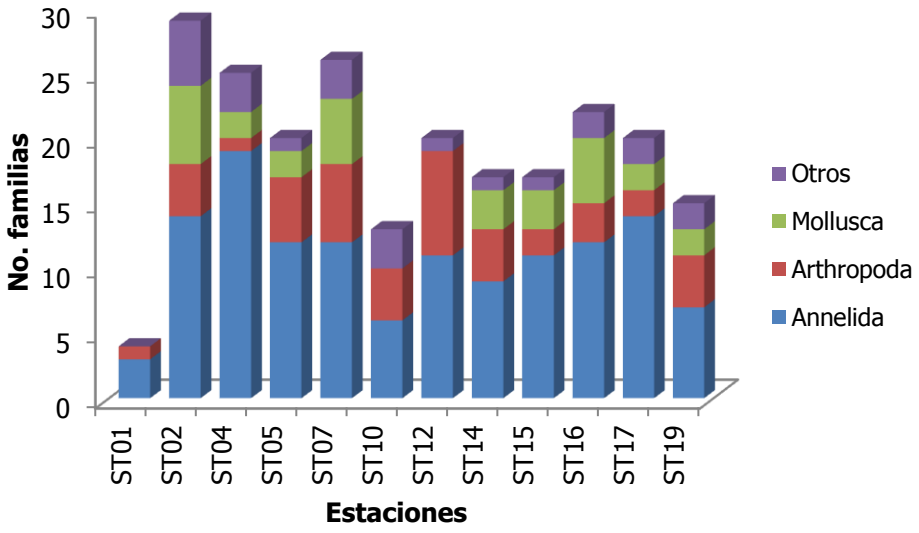


Figura 4.5.2. Número de familias por phyla de la macroinfauna presente en las estaciones muestreadas en la terminal de carbón de puerto Drummond. Otros: Echinodermata, Nemertea, Echiura, Phoronida, Sipuncula. Área muestreal: 0,08 m^2.

De acuerdo a Trujillo *et al*. (2009) y a Sanders y Hessler (1969), los poliquetos (Annelida) y crustáceos (Arthropoda) suelen ser los taxones más abundantes en las comunidades de fondos blandos de las plataformas continentales; siendo también comunes los equinodermos, cnidarios, esponjas, sipuncúlidos, equiúridos, foraminíferos, nemertinos, nematodos y briozoos, entre otros. Con el fin de comparar los resultados de riqueza, abundancia y biomasa húmeda encontrados en la presente investigación, con trabajos previos realizados en diversas áreas del Caribe colombiano, incluyendo áreas muy cercanas a la zona de estudio de interés, se extrapolaron los valores a metro cuadrado (m^2), apareciendo los valores mínimos y máximos de estos atributos en lugar de la desviación estándar, ya que no se cuenta con este dato en algunos trabajos (Tabla 4.5.1). Los valores de abundancias registrados en este muestreo, son similares a los encontrados en estudios realizados en el golfo de Salamanca en años anteriores (Vides, 1999; Guzmán-Alvis y Díaz, 1996), pero son menores a los registrados en la plataforma de la Guajira (Invemar, 2004c; Invemar, 2004b; Guzmán-Alvis y Solano, 1997), en otras áreas del golfo de Salamanca (Invemar, 2003; Guzmán *et al*., 2001a; Guzmán, 1993; García *et al*. , 1992) y aun en el área de Pozos Colorados que es muy cercana a la zona de estudio (*Cortés et al*., 2008; Guzman-Alvis *et al*., 2003; Guzman-Alvis *et al*., 2002; Guzman-Alvis *et al*., 2001b); la diferencia en los promedios de abundancias con La Guajira pueden radicar en primera instancia al efecto de su alta productividad, resultado de la presencia de la surgencia, que aporta una gran cantidad de nutrientes y oxígeno al medio quedando disponibles para el desarrollo de los organismos (Corredor, 1992; Álvarez-León *et al*., 1995). Por otro lado, tanto el número de familias como los valores de biomasa encontrados en este estudio presentaron mayores valores que los de las demás zonas (Tabla 5.4.1).

Tabla 4.5.1. Promedios por estación (m²) del número de familias (No. flias), abundancia y biomasa húmeda (g) de la macroinfauna presente en las estaciones de muestreo en la terminal de carbón de puerto Drummond en comparación con otros estudios en el Caribe colombiano.

Localidad	Profundidad (m)	No Flias promedio (rango)	Abundancia promedio (rango)	Biomasa promedio (rango)	Fuente
Golfo de Salamanca	4-36	----	1.119 (470-3.108)	3,3 (0,7-7,4)	García *et al.* (1992)
Golfo de Salamanca	15-100	----	1.728 (34-6.902)	-----	Guzmán (1993)
Bahía de Cartagena (Febrero 1992)	1-30	----	69 (0-453)	----	Herrera (1993)
Bahía de Cartagena (Octubre1992)	1-30	----	25 (0-98)	----	Herrera (1993)
Golfo de Salamanca	15-100	----	678 (13-2.707)	-----	Guzmán-Alvis y Díaz (1996)
La Guajira	6-22	----	2.187 (1.413-3.280)	-----	Guzmán-Alvis y Solano (1997)
Golfo de Salamanca	15-150	23 (6-48)	700 (73-1.740)	3,6 (0,4-12,7)	Vides (1999)
Golfo de Salamanca	7-60	----	1.499 (260-4.880)	-----	Guzmán-Alvis *et al.* (2001a)
Golfo de Salamanca	7-60	----	3.122 (740-6.953)	9,7 (3,4-20,3)	Invemar (2003)
Punta Canoas, Cartagena	10-23	48 (31-71)	3.007 (840-5.853)	6,5 (1,1-13,5)	Invemar (2004a)
La Guajira	9-25	69 (62-79)	3.228 (2.756-3.862)	12,1 (4,9-17,8)	Invemar (2004b)
La Guajira	17-34	68 (58-89)	7.368 (4.813-9.847)	11,9 (4,9-19,4)	Invemar (2004c)
Plataforma Chuchupa B (Marzo 2006)	24-34	55 (41-68)	5.715 (2.020-10.139)	6,8 (2,5-15,4)	Solano et al. (2007a) Marzo, Abril y Septiembre
Plataforma Chuchupa B (Abril 2006)	24-34	64 (56-78)	8.633 (6.853-10.533)	13,3 (8,2-22,6)	
Plataforma Chuchupa B (Abril 2006)	24-34	54 (46-56)	4.902 (3.827-8.313)	11 (4,5-19)	
Campo Ballenas (Chevron)	0,50-4	56 (48-60)	1.609 (1.045-2.118)	1,5 (1,1-1,8)	Solano *et al.* (2007b)
Pozos Colorados	6-34	53 (40-75)	2.274 (947-5.040)	8,5 (3,2-15,8)	Cortés *et al.*, (2008)
Pozos Colorados	14-62	----	2.332 (600-3.786)	7,29 (0,9-20,1)	Guzman-Alvis *et al.*, (2001b)
Pozos Colorados	14-62	----	3.009 (746-5.900)	----	Guzman-Alvis *et al.*, (2002)
Pozos Colorados	14-62	----	3.031 (740-6.953)	9,7 (3,4-20,2)	Guzman-Alvis *et al.*, (2003)
Puerto Drummond	4-10	237 (50-362)	693 (75-1.687)	17,1 (0,0075-83,3)	**Presente estudio**

Se seleccionaron las familias más representativas dentro del estudio, teniendo en cuenta aquellas que presentaron valores iguales o mayores al 3 % de densidad relativa, sobresaliendo Annelida con cuatro familias; dentro de las cuales Spionidae representó el 17 % de la abundancia total (con 118 individuos), seguida de Ampeliscidae (Arthropoda) con 8,27 %. Los phyla Mollusca (con dos familias: Corbulidae y Tellinidae) y Nemertea (Lineidae) también sobresalieron dentro de esta selección (Figura 4.5.3).

Se conoce que Spionidae suele ser un componente dominante entre los poliquetos (Annelida) que habitan en fondos de arenas y lodos, desde profundidades intermareales hasta abisales y han sido registrados en todo el mundo (Rouse y Pleijel, 2001). Las poblaciones de spionidos con

frecuencia son tan grandes que los densos tapetes de tubos que forman sirven para estabilizar los sedimentos y pueden llegar a enterrar o asfixiar los sustratos u otros organismos en los que se asientan; estos organismos tienden a estar adaptados a la exposición, como es el caso de *Pygospio elegans*, que ocupa posiciones altas en la zona intermareal de bancos de arena en los estuarios (Blake *et al*., 1996). Por su parte los miembros de la familia Paraonidae suelen ser más comunes en la plataforma continental y las profundidades del talud, donde con frecuencia se encuentran entre las especies dominantes. Se consideran alimentadores de depósito del subsuelo, pudiendo estar en la superficie de los sedimentos arenosos o limosos o madrigueras en las capas superiores de tales sedimentos. Poco es lo que se conoce sobre la dinámica poblacional de Paraonidae, pero para especies como *Paradoneis armata* se han registrado densidades superiores a 5.000 ind*m^2 (Rouse y Pleijel, 2001; Beesley *et al*., 2000; Blake *et al*., 1996).

Las dos familias de Mollusca que sobresalieron por su abundancia pertenecen a la clase Bivalvia, la cual suele ser un componente dominante en los fondos blandos, debido a que este hábitat les proporciona refugio y alimento necesario (Bertness *et al*., 2001; Prieto *et al*, 2005). La familia Corbulidae es común en áreas de fondos blandos, desde profundidades someras hasta aproximadamente los 200 m (Díaz y Puyana, 1994); donde hace parte de la infauna con hábitos alimenticios del tipo suspensívoros y suele ser tolerante a fluctuaciones altas en la salinidad. La mayoría de los miembros de Tellinidae son parte de la infauna de fondos blandos, donde son suspensivoros y muchas especies pueden ser comedores de depósito de manera oportunista (Mikkelsen y Bieler, 2008). Muchos tellinidos son importantes ecológicamente por ser frecuentemente abundantes, y son alimento básico para peces bentónicos de importancia comercial (Mikkelsen y Bieler, 2008).

Se conoce de la familia Ampeliscidae que se encuentra ampliamente distribuida en todo el mundo, es el grupo más común de las áreas de sedimentos finos y lodosos, se pueden encontrar desde la zona intermareal hasta las profundidades abisales, donde viven enterrados en tubos que ellos construyen de sedimento, se alimentan de detritus orgánico filtrado desde el sedimento (Jean-Claude y Bellan-Santini 1996; King, 2009; Mills, 1971).

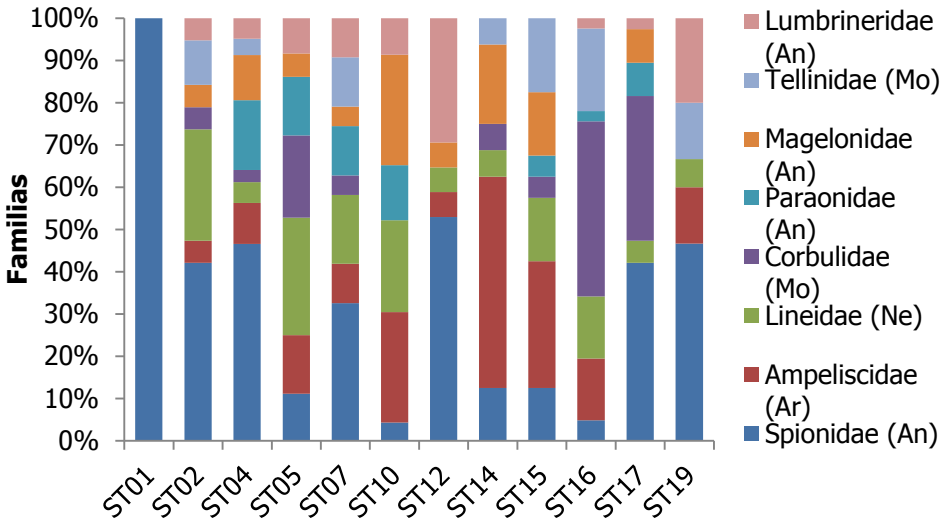


Figura 4.5.3. Familias de los diferentes phyla registrados en las estaciones de muestreo de la terminal de carbón de puerto Drummond, con una densidad relativa ≥ 3 %. An: Annelida; Mo: Mollusca; Ar: Arthropoda; Ne: Nemertea. Área muestreal: 0,08 m^2.

4.5.1. DENSIDAD

La densidad promedio entre las estaciones muestreadas fue de 55,42 (± 30,77) ind*0,8 m-^{2}; registrándose los mayores valores en la estación y ST04 con 135 ind*0,8 m-^{2}; donde se destacó Annelida por su contribución con 107 individuos; mientras que Arthropoda presentó su mayor densidad en la estación ST12 con 24 ind*0,8 m^{-2}. Mollusca presentó la mayor densidad en la estación ST16 con 32 individuos y el grupo "otros" en las estaciones ST02 y ST04 con 11 ind*0,8 m-^{2}, cada una, donde el principal aporte lo hizo el phylum Nemertea con 6 y 140 individuos, respectivamente. En la estación ST01 se registró la menor densidad con 6 ind*0,8 m-^{2}, estando solo presente los phyla Annelida y Arthropoda (Figura 4.5.4).

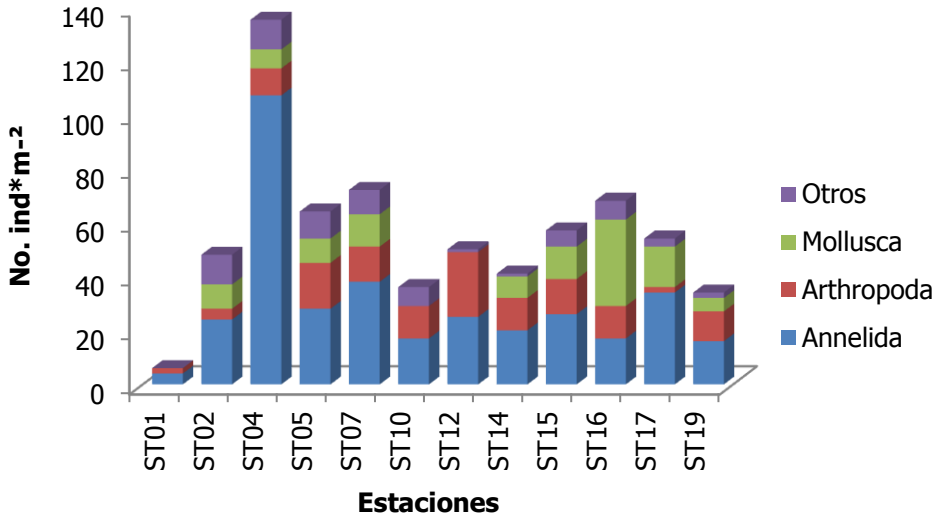


Figura 4.5.4. Densidad de la macroinfauna presente en las estaciones muestreadas en la terminal de carbón de puerto Drummond. Otros: Echinodermata, Nemertea, Echiura, Phoronida, Sipuncula. Área muestreal: 0,08 m^2.

4.5.2. BIOMASA

Para el presente estudio Mollusca se destacó por presentar el mayor valor de biomasa húmeda con el 70 %, seguido de Arthropoda con el 16 % y por último Annelida y el grupo "otros" con el 6 % y 8 %, respectivamente (Figura 4.5.5). El valor promedio de la biomasa húmeda entre estaciones fue de 1,3720 g (± 2,0116) g*0,8 m^{-2}, registrándose el mayor valor en la estación ST16 con 6,6679 g*0,8 m^{-2}, debido al aporte de Mollusca, especialmente con la contribución de la familia Corbulidae con 10,5830 g; mientras que el valor más bajo para biomasa húmeda se registró en la estación ST01 con 0,0006 g*0,8 m^{-2} (Figura 4.5.6).

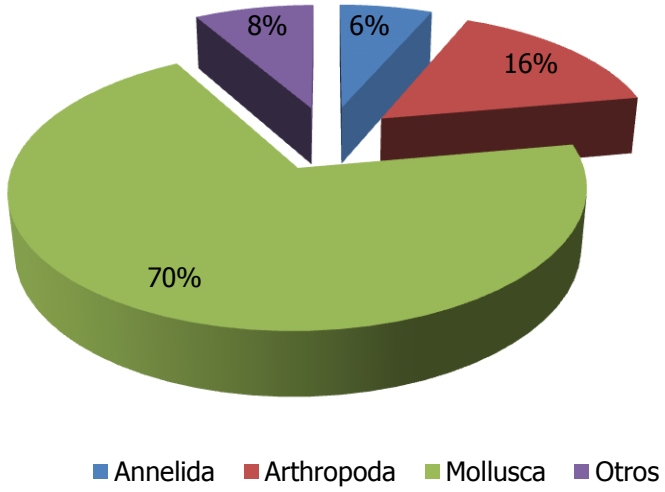


Figura 4.5.5. Distribución porcentual de la biomasa húmeda por phyla de la macroinfauna asentada en la terminal de carbón de puerto Drummond. Otros: Echinodermata, Nemertea, Echiura, Phoronida, Sipuncula. Área muestreal: 0,08 m^2.

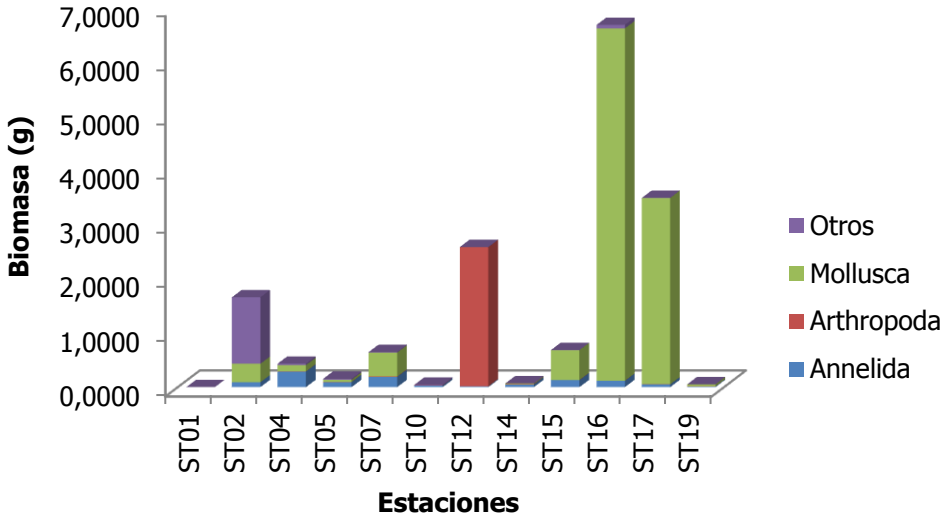


Figura 4.5.6. Biomasa húmeda de la macroinfauna presente en las estaciones muestreadas en la terminal de carbón de puerto Drummond. Otros: Echinodermata, Nemertea, Echiura, Phoronida, Sipuncula. Área muestreal: 0,08 m^2.

4.5.3. ÍNDICES ECOLÓGICOS

La riqueza promedio entre las estaciones muestreadas fue de 4,53 (± 1,34), la diversidad de 3,59 (± 0,62) y la de uniformidad de 0,88 (± 0,06). Los mayores valores de la riqueza (d) y

diversidad (H') se registraron en la estación ST02 con 7,23 y 4,48, respectivamente; mientras que la estación ST01 presentó los valores mínimos para estos dos atributos (1,67 y 1,92). Para la uniformidad (J') la estación ST01 registró el máximo valor (0,96) y el mínimo valor se presentó la estación ST04 (0,74) (Figura 4.5.7). Excepto por los valores encontrados en la estación ST01 para riqueza y diversidad, las estaciones muestreadas presentaron poca variación en los valores de estos índices, es decir, que no se observó un patrón de tendencia espacial horizontal o por la profundidad en estos descriptores comunitarios; lo que podría ser consecuencia de la poca variación en las variables fisicoquímicas medidas en su mayoría "in situ", tanto en aguas a nivel de fondo como en el sedimento (ver capítulo calidad de aguas y sedimentos); permitiendo, así, la expresión de una estructura comunitaria poco variable en cuanto a la relación de composición, riqueza y abundancia.

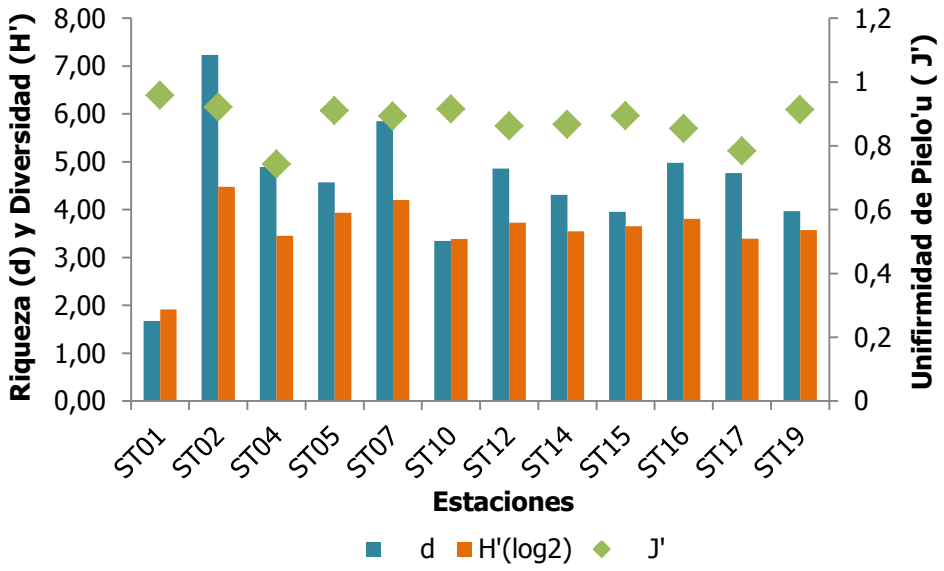


Figura 4.5.7. Riqueza de Margalef (d), diversidad de Shannon-Weaner H' (log2) y uniformidad de Pielo'u (J') de la macroinfauna presente en las estaciones muestreadas en la terminal de carbón de puerto Drummond. Área muestreal: 0,08 m^2.

4.5.4. PERTURBACIÓN

Se determinó el nivel de perturbación en la macroinfauna por medio de las curvas (ABC) acumuladas entre abundancia y biomasa para cada una de las estaciones muestreadas en el área del incidente, terminal de carbón de puerto Drummond, y se observó un entrecruzamiento en las curvas correspondientes a las estaciones ST01 y ST04, lo que reveló una perturbación moderada (cercanas al 40 % de acumulado de dominancia) en la comunidad asentada en dichas estaciones (Figura 4.5.8); dado que bajo perturbación moderada, los organismos dominantes grandes disminuyen o son eliminados y la desigualdad en tamaños entre los organismos es reducida, haciendo que las curvas de biomasa y abundancia se acerquen y se entrecrucen una o varias veces (Clarke y Warwick, 2001). En las estaciones restantes, no se observó perturbación alguna en la comunidad, ya que, la curva de abundancia pasa completamente por debajo de la curva de biomasa; en ausencia de perturbación la biomasa está dominada por una o pocas

especies de gran tamaño, llevando a una elevación de la curva de biomasa por encima de la curva de abundancia (Clarke y Warwick, 2001). De acuerdo a lo anterior se considera que en el área de estudio no se observó una comunidad perturbada; por lo que el caso de las estaciones ST01 y ST04 podría ser puntual y estar asociada a condiciones locales no identificadas en este estudio y que requerirían de un seguimiento, para poder establecer si esta es una condición permanente en el área de estudio.

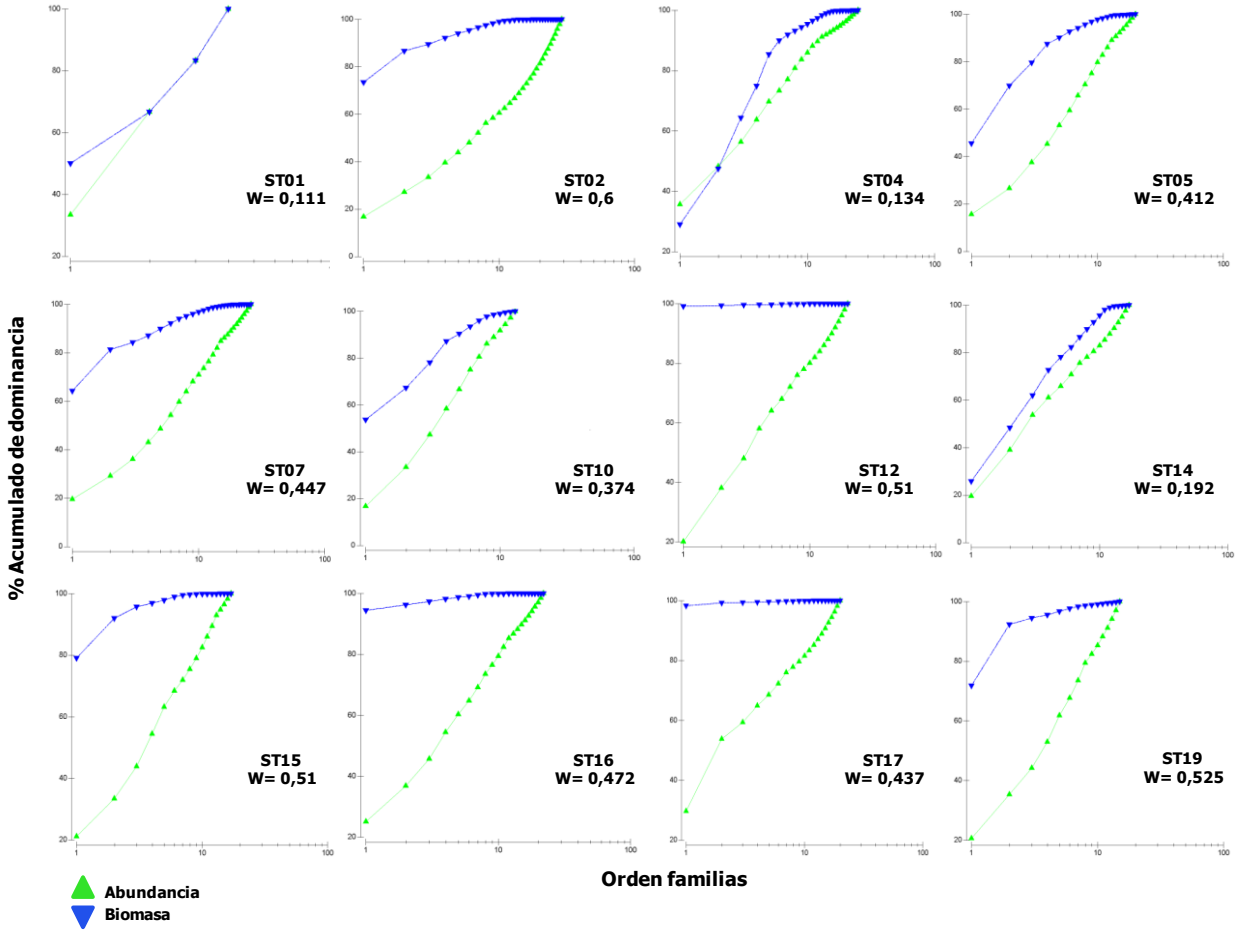


Figura 4.5.8. Curvas acumuladas (ABC) de comparación entre abundancia y biomasa, para cada una de las estaciones de muestreo ubicadas en la terminal de carbón de puerto Drummond, Caribe colombiano.

4.5.5. RELACIÓN CON LAS VARIABLES AMBIENTALES

La correlación de las variables ambientales con los atributos ecológicos se realizó por medio del análisis de correlación por rangos de Spearman. Se incluyeron las variables medidas en los sedimentos y en aguas a nivel de fondo (tomadas para las estaciones: ST01, ST02, ST04, ST10, ST12, ST15, ST16 y ST19), y se encontró que la diversidad tiene una correlación alta (Pw= 0,73) y significativa (p= 0,04) con el pH medido en el sedimento, del mismo modo la uniformidad (J') estuvo altamente correlacionada con la arenas muy gruesas (AMG) y con

arenas gruesas (AG) (**Anexo 7.5).** Teniendo en cuenta la anterior correlación obtenida, cabe mencionar que es ampliamente conocido que la fauna bentónica vive en estrecha relación con el sustrato y los efectos que éste tiene sobre la distribución de los organismos se debe principalmente al tamaño del grano y a la clasificación del sedimento. Las arenas gruesas ofrecen un sustrato más estable en comparación con los sedimentos más finos para el asentamiento de las comunidades bentónicas, puesto que el tipo de sedimento es quien determina la porosidad y capilaridad del medio, así, en los cienos y lodos, la porosidad y capilaridad es menor que en las arenas, por lo que en ellos se retiene una menor cantidad de agua rica en materia orgánica, la cual constituye una importante fuente de alimento (Coelho, 1980; Flach y Bruin, 1999; Guzman-Alvis y Solano, 1997); además, las arenas gruesas les permite a los organismos construir madrigueras, enterrarse, encontrar refugios y alimento (De La Lanza, 1986; Méndez *et al.*, 1986;).

El pH por su parte influye en la actividad biológica de las especies y los organismos marinos influyen, a su vez, en el pH por medio de la respiración y de la fotosíntesis. Adicionalmente, esta variable condiciona numerosas reacciones químicas marinas que solubilizan o precipitan las sales disueltas que, en definitiva, son los elementos nutritivos que mantienen los ecosistemas marinos. El pH influye también en las migraciones de las especies; esta influencia es uno de los factores determinantes de las características de muchos medios marinos, lo que condiciona drásticamente la vida en los mismos (Cognetti *et al.*, 2001).

En general, a pesar de la importancia que presentan los factores ambientales en la estructura de cualquier comunidad sea marina o no, también están algunos elementos bióticos que limitan las distribuciones, como son las relaciones ecológicas, competencia, depredación y aun aspectos etológicos; asimismo, Macpherson, (2002), indica que el número de especies que puede coexistir en una zona, es limitado por la disponibilidad de energía, y los procesos que unen energía y diversidad.

No se encontró correlación alguna entre los atributos ecológicos y las variables medidas en aguas a nivel de fondo (**Anexo 7.6**).

4.6. RESULTADOS COMPONENTE FITOPLANCTON

Para las ocho estaciones analizadas se encontraron en total 117 morfoespecies de microalgas distribuidas en siete grandes grupos: 45 diatomeas céntricas, 39 diatomeas pennadas, 26 dinoflagelados, 3 cianófitas, 1 clorofita, 1 euglenofita y 2 silicoflagelados (incluidos dentro de otros grupos); siendo las diatomeas céntricas y pennadas y los dinoflagelados los que hicieron las mayores contribuciones en cuanto el porcentaje de especies por estación (Figura 3.6.2).

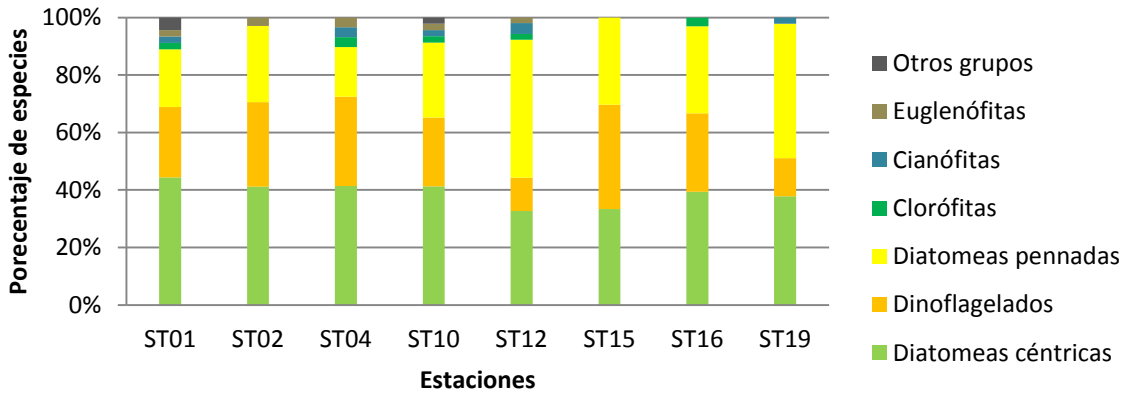


Figura 3.6.2. Contribución, en porcentaje, del número de especies por grupo para cada estación.

Respecto a las concentraciones celulares, se presentaron valores comprendidos entre 9.900 y 450.000 cél*L^{-1} (Figura 3.6.3). Siendo mayores en las estaciones más cercanas a la costa (ST12, ST15; ST16 y ST19) (figura 3.6.3), comportamiento que también se encontró para la biomasa planctónica (medida como clorofila *a*) donde los valores estuvieron entre <0,07 y 0,6 µg*L^{-1} para las estaciones más alejadas a la costa y entre 2,78 y 4,02 µg*L^{-1}.

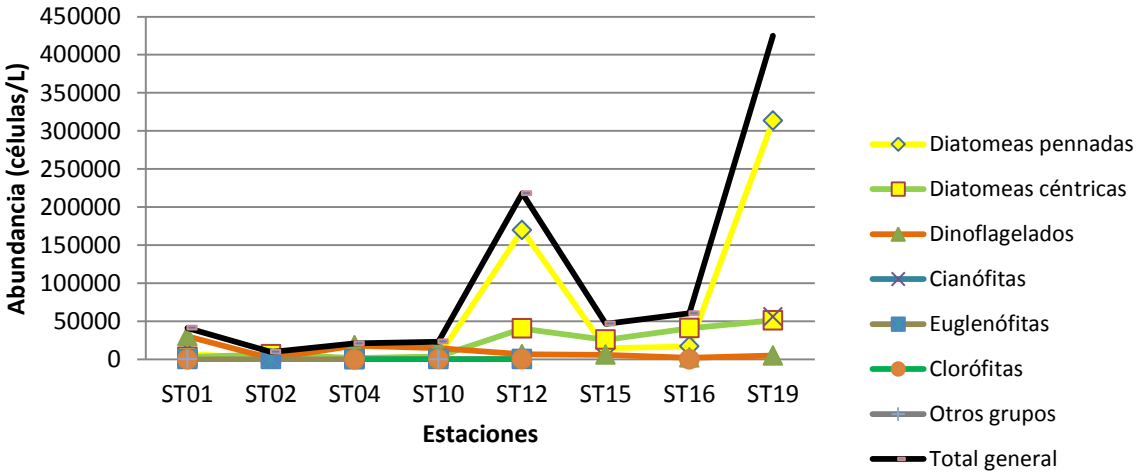


Figura 3.6.3. Abundancia total y de cada uno de los principales grupos por estación.

A nivel de grupos, las diatomeas céntricas predominaron en abundancia en tres estaciones (la ST2, la ST15 y la ST16) (Figuras 3.6.1 y 3.6.4), las diatomeas pennadas en dos estaciones (la ST12 y la ST19) (Figuras 3.6.1 y 3.6.4) y los dinoflagelados en tres (estaciones ST1, ST4 y ST10) (Figura 3.6.4). Los dinoflagelados tendieron a predominar hacia las estaciones más alejadas de la costa (estaciones ST01; ST02, ST04 y ST10), mientras que las diatomeas lo hicieron hacia las más costeras (Figura 3.6.4).

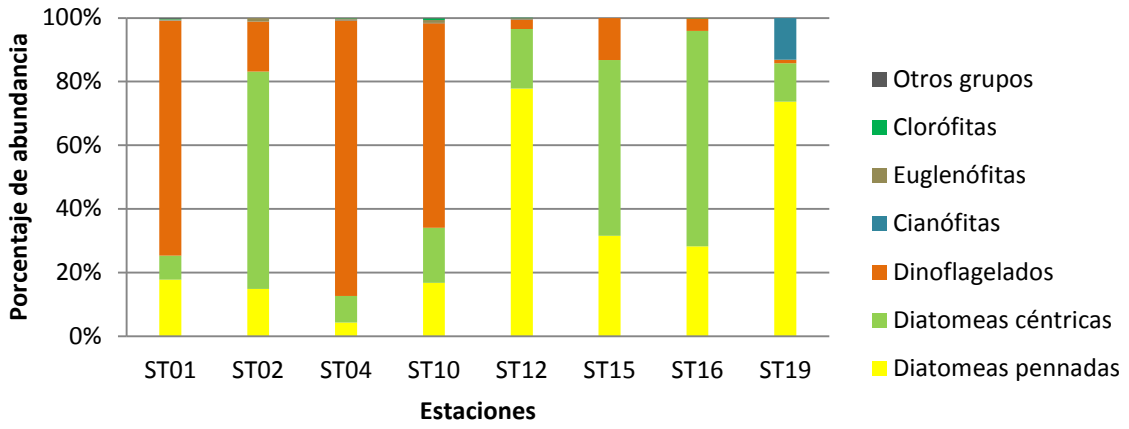


Figura 3.6.4. Porcentaje de abundancia por estación de los principales grupos encontrados en el área de estudio.

Los organismos pertenecientes a los géneros *Cylindrotheca, Skeletonema, Thalassionema, Pseudo-nitzschia, Nitzschia, Gymnodinium, Guinardia y Asterionellopsis* fueron los que se destacaron por su mayor abundancia al contribuir todos ellos con más del 45% de la abundancia total.

Los valores de diversidad estuvieron comprendidos entre 1,05 y 2,94 bits.

En las tablas 3.6.1 y 3.6.2 se puede observar los rangos de número de especies encontradas por Ramos (2005); Torres (2007); Cortes *et al*. (2008) e INVEMAR (2012), en zonas cercanas al área de estudio. El número de morfoespecies encontradas estuvo dentro del rango de los hallados por INVEMAR (2012) y Cortes *et al*. (2008), y cerca a los valores reportados por Torres (2007) (Tabla 3.6.1). El número de diatomeas céntricas y de dinoflagelados (que constituyeron los grupos más abundantes), también se encontraron entre los rangos reportados por estos autores, pero con un número mayor de diatomeas pennadas respecto a estos estudios. Se debe tener en cuenta que el muestreo se realizó en estaciones someras y muy próximas a la costa, lo que facilita la resuspensión y presencia de este tipo de organismo típicos del bentos (López-Fuerte y Siqueiros-Beltrones, 2006).

Tabla 3.6.1. Número de especies de la comunidad fitoplanctónica reportadas en trabajos realizados cerca al área de estudio. TM= total morfoespecies; DC= diatomeas céntricas; DP= diatomeas pennadas; DT= diatomeas totales (DC+DP); DI= dinoflagelados; CL= clorofitas; CI= cianófitas; EU= euglenofitas; OG= otros grupos y NMO= número de muestras observadas.

	Número de especies por grupo										
Localidad	**Periodo de muestreo**	**TM**	**DC**	**DP**	**DT**	**DI**	**CL**	**CI**	**EU**	**OG**	**NMO**	**Autores**
Punta Gaira	Julio-septiembre (2006). Total	100	49	26	75	21	3	1		-	8	Torres (2007)
	Surgencia	92	45	25	70	18	3	1		-	8	
	No surgencia	82	43	18	61	19	1	1		-	8	
Pozos Colorados	Mayo de 2008	143	49	24	73	62	1	4	-	3	24	Cortés *et al,* (2008)
Puente de la Barra-Rodadero	Agosto de 2012	65	-	-	40	16	3	5	1	-	7	INVEMAR (2012)
Presente estudio	Marzo de 2013	117	45	39	84	26	1	3	1	2	8	2013

Las especies de diatomeas céntricas y de dinoflagelados en mayor cantidad respecto a los demás grupos (figura 2), muestra la importancia general que tienen estos grupos en el fitoplancton marino (Graham y Wilcox, 2000). Igualmente para el Caribe colombiano y las zonas costeras de Santa Marta, este predominio ha sido reportado (Caicedo, 1977; Arias y Durán, 1982; Franco *et al.,* 1992; Torres *et al*., 1993; De la Hoz, 1995 y Ramos, 2005)

Las concentraciones celulares (Figura, 3.6.2), presentaron valores similares a los rangos reportados por Ramos (2005); Cortés *et al*., (2008) e INVEMAR (2012) (Tabla 3.6.2). Esta concentración celular si bien es baja comparada con sistemas altamente productivos, es considerada normal en sistemas como el Caribe y está relacionada con el bajo contenido de nutrientes que caracteriza la mayor parte del mar Caribe (Garay *et al.,* 1988; Corredor, 1992).

Tabla 3.6.2. Abundancias reportadas en trabajos realizados cerca al área de estudio.

Localidad	Periodo de muestreo	Rangos de densidad (Cél*L^{-1})	Autores
Bahía de Santa Marta	Agosto 2004- enero 2005	0-9.013.260	Ramos (2005)
Punta Gaira	Julio-septiembre (2006). Total	344,1-7.044,5	Torres (2007)
	Con surgencia	36,0-987,50	
	Sin surgencia	65,43-1.494,5	
Pozos Colorados	Mayo de 2008	8.560-80.500	Cortés *et al,* (2008)
Puente de la Barra-Rodadero	Agosto de 2012	<1´000.000	INVEMAR (2012)
Presente estudio	Marzo de 2013	9.900-450.000	2013

Considerando de manera simple el número de morfoespecies (117) como una medida de la riqueza (Ramírez, 1999) y al compararlo con los cercanos al área estudiada (Tabla 1), se puede afirmar que el área analizada presentó un riqueza alta, con valores menores a los registrados por Cortés *et al.,* (2008) para pozos Colorados pero mayores a los registrados por Torres (2007) en la bahía de Gaira, estos altos valores podrían atribuirse a la dinámica oceanográfica de la zona, al permitir la mezcla estacional de especies de aguas provenientes de la CGSM (Blanco, 1988) con las aguas marinas costeras y oceánicas y del microfitobentos, así como al tipo de muestreo, ya que al ser integrado para toda la columna de agua hay más probabilidad de obtener un mayor número de especies.

Los valores de diversidad estuvieron comprendidos entre 1,05 y 2,94 bits, estando casi todos dentro del rango obtenido por Cortés *et al.,* (2008) (entre 1,15 y 3,03 bits), a excepción del obtenido en la estación ST04 con un valor bajo de 1,05 bits; por Ramos (2005) quien encontró valores entre 1,73 y 2,92 bits; y por Torres (2007) con valores entre 2,35 y 2,91 bits para periodos de surgencia y entre 2,13 y 2,66 sin ella.

5. CONCLUSIONES

1. Se confirma que el incidente que se inició con el rescate de la barcaza TS-115 en la boya S23 provocó un derrame de carbón que se observa con el Sonar de Barrido Lateral (SSS) en la zona noreste de la boya S23 y se demostró con el registro de los sedimentos de los alrededores de la boya. El área afectada es de aproximadamente 10.194 m^2, en la cual estaría distribuido el depósito de carbón. Específicamente sobre la superficie lodo-arenosa de la zona de estudio.

2. Durante las inspecciones de buceo se evidenció la presencia de gran parte del carbón derramado por la barcaza TS-115 al noreste de la boya S23, principalmente en la zona que reúne las estaciones ST01, ST09, ST10 y ST11, donde gran parte del mineral está enterrado en el sedimento.

3. El vertimiento de carbón causado el 13 de enero de 2013 en inmediaciones de la boya 23 de Puerto Drummond LTD. ocasionó la formación de un montículo en inmediaciones de la coordenada 11°05'19,63"N, 74°15'39,42"W, con un área de 10.194,3 m^2, y espesor máximo de 0,91 m. Alrededor del área afectada los espesores varían hasta encontrarse en el fondo fragmentos aislados de tamaño grava sobre los sedimentos lodo-arenosos. Se estimó un volumen ocupado por el depósito de 1.575 m^3.

4. La escasa visibilidad en la columna de agua, especialmente en el fondo, no permitió la observación de la biota presente en el ecosistema (macrofauna >2 cm que vive sobre el fondo o en la columna de agua), sólo la presencia de algunas medusas de la especie *Stomolophus meleagris* en la parte superior de la columna.

5. A grandes rasgos, uno de los mayores impactos del derrame del carbón es el enterramiento, ahogamiento y aplastamiento ocasionado por la depositación masiva del mineral sobre las comunidades bentónicas presentes en los fondos blandos teniendo en cuenta que la mayor parte de los organismos residentes en el ecosistema se encuentra en los primeros centímetros del sedimento. Este impacto puede incidir en un eslabón clave de la cadena trófica al encontrase muchas especies de moluscos, crustáceos, anélidos, entre otros, de los cuales dependen otras especies, entre ellas peces de interés comercial.

6. La presencia de fragmentos como los del carbón más gruesos y pesados ajenos a las características del sustrato del ecosistema, puede alterar la ecología del ambiente al generar cambios en el tamaño de grano en los sedimentos, lo que afecta el establecimiento y distribución de individuos, especialmente de la infauna, ya que esta es una variable importante que define la distribución espacial de los organismos en el ecosistema de fondos blandos.

7. A lo largo de la trayectoria entre las boyas 23 y 1 no se identificaron acumulaciones de carbón, sin embargo, no se descarta la presencia de fragmentos del mineral en el fondo,

producto de la actividad y presencia de otras barcazas. La presencia de llantas en el fondo refleja parte de la incidencia que tiene la actividad portuaria a través de remolcadores, aun cuando esta no haya sido causada por el accidente con la barcaza ocurrido en enero de 2013.

8. Los parámetros fisicoquímicos medidos en las zonas aledañas al lugar donde se produjo el derrame de carbón ocasionado por la maniobra de rescate de la barcaza TS-115 en el puerto Drummond, no muestran alteración en la calidad del agua, ya que las concentraciones promedio de las variables analizadas estuvieron dentro de los límites permisibles establecidos por la normatividad colombiana para preservación de flora y fauna (Decreto 1594 de 1984) y entre los intervalos históricos reportados por la REDCAM en zonas cercanas. Esto se debe posiblemente a que el muestreo se llevó a cabo dos meses después del accidente y el medio tuvo suficiente tiempo para recuperarse de la posible alteración que haya ocurrido.

9. Los parámetros fisicoquímicos evaluados en el sedimento, no permiten establecer si su calidad se vio alterada después del derrame de carbón causado por el rescate de la barcaza TS-115, debido a que en Colombia no existe normatividad vigente con respecto a este tema y los estudios en zonas aledañas son pocos. No obstante, se evidenció que las concentraciones de materia orgánica están relacionadas con la presencia de carbón.

10. La macroinfauna asentada en el área de estudio de la terminal de carbón de puerto Drummond, corresponde a una comunidad típica de fondos blandos, caracterizada por la dominancia de los phyla Annelida (poliquetos) y Arthropoda en términos de abundancia y número de familias. Lo anterior concuerda con las tendencias reportadas en otros estudios del bentos en el Caribe colombiano.

11. En general los valores promedio de abundancia encontrados en el área de estudio fueron menores a los observados en otras áreas del Caribe; contrario al promedio del número de familias y biomasa húmeda, los cuales fueron mayores. Esto podría deberse a las diferencias en las características fisicoquímicas y granulométricas que afectan el desarrollo del bentos en las diferentes áreas.

12. Se logró observar una estructura comunitaria poco variable en cuanto a la relación de riqueza y abundancia, dado que los valores de los índices ecológicos mostraron poca variación entre las estaciones de muestreo.

13. En términos generales de acuerdo a la relación entre la abundancia y biomasa de los organismos observada en las curvas ABC no se observó perturbación en la comunidad asentada en el área de estudio, por lo que el caso de las estaciones ST01 y ST04 podría ser puntual y estar asociada a condiciones locales, que requerirían de un seguimiento en caso tal, que se decidan realizar futuros seguimientos en dicha área, para de este modo llegar a establecer si es una condición permanente en el área.

14. La comunidad macroinfaunal estuvo altamente correlacionada con las características granulométricas (arenas gruesas y arenas muy gruesas) y el pH; siendo conocido que

estos factores medioambientales guardan una estrecha relación con la distribución y establecimiento de las comunidades en el fondo marino.

15. La comunidad fitoplanctónica presentó en cuanto a su abundancia, composición, riqueza y diversidad un comportamiento normal para la zona de estudio de acuerdo con las comparaciones realizadas con otros estudios en áreas cercanas. Hay que tener en cuenta que desde la fecha en que ocurrió el incidente, hasta la de los muestreos, transcurrieron aproximadamente 67 días, por lo tanto, si hubo algún efecto del vertimiento de carbón sobre este componente, ya no es detectable. Esto puede explicarse por las características intrínsecas del fitoplancton que tiende a reaccionar rápido ante las perturbaciones ambientales, además de ser continuamente transportado por las corrientes.

6. BIBLIOGRAFÍA

Alvarez-Leon R., J. Aguilera, C. A. Andrade y P. Nowak. 1995. Caracterización general de la zona de surgencia en la Guajira colombiana. En: Rev. Acad. Colomb. Cienc. 19 (75): 679-694.

Arias, F. y J. Durán. 1984. Variación Anual del Fitoplancton en la Bahía de Cartagena. Bol. Cient. CIOH. No. 5. p. 61-116.

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WEF (Water Environment Federation). 2005. Standard methods for the examination of water and waste water, 20 edición. Washington, 1325 p.

Arango, C y O. Solano. 1999. A community analysis of the soft bottom Megafauna (Crustace, Mollusca) from the southwestern región of Santa Marta Colombian Caribbean. Bol. Invest. Mar. Cost. 28: 155-180.

Baguley, J. G, P. A. Montagna, L. J. Hyde, R. D. Kalke y G. T. Rowe. 2006. Metazoan meiofauna abundance in relation to environmental variables in the northern Gulf of Mexico deep sea. Deep-Sea Research I, 53: 1344–1362.

Balech, 1988. Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Publ. Espec. Inst. Esp. Oceanogr. nº 1. 310 p.

Blanco, J. 1988. Las variaciones ambientales estacionales en las aguas costeras y su importancia para la pesca en la región de Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis de Magister Biología Marina. Universidad Nacional de Colombia-INVEMAR. Santa Marta, 50p.

Beesley, P. L., G. J. B. Ross y C. J. Glasby. 2000. Polychaetes& Allies. The Southern Synthesis.Fauna of Australia.Volume 4A Polychaeta, Myzostomida, Ponogophora, Echiura, Sipuncula. CSIRO.Publishing. Melbourne. 465p.

Benavides- Serrato, M., G. H. Borrero-Pérez y C. M. Díaz-Sanchez. 2011. Equinodermos del Caribe colombiano I: Crinoidea, Asteroidea y Ophiuoridea. Serie de publicaciones especiales de Invemar 22. Santa Marta, 384p.

Bertness, M.D., S.D. Gaines y M.E. Hey. (Eds) 2001. Marine Community Ecology. Sinauer. pp. 339–366.

Birkett, L. y A. Mcintyre. 1971. Treatment and sorting of samples. pp. 156-168. En: Holme, N.A. y A.D. McIntyre (Eds). Methods for the study of marine benthos. I.B.P. Handbook N° 16. Editorial Blackwell scientific publications. Londres. 333p.

Blake, J. A. y P. V. Scott. 1997. Taxonomic Atlas of the benthic fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. Volume 11. The Crustacea Part 2: The isopoda, cumacea and tanaidacea. Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Barbara, California. 278p.

Blake, J. A., B. Hilbig y P. H. Scott. 1996a. Taxonomic Atlas of the benthic fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. Volume 6.The Annelida Part 3.Polychaeta: Orbiniidae to Cossuridae. Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Barbara, California. 418p.

Blake, J. A., P. V. Scott y A. Lissner. 1996b. Taxonomic Atlas of the benthic fauna of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel. Volume 14.Miscellaneous Taxa.Santa Barbara Museum of Natural History. Santa Barbara, California. 305p.

Blott, S.J. y Pye, K. (2001) GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1237-1248.

Boltovskoy, A. 1990. Muestreador de agua tubular con válvula de cierre autónomo. Revista Hidrobiología Tropical. 23: 171-173.

Bousfield, E. L. 1973. Shallow-water gammaridean amphipoda of New England. Cornell University Press. London. 311p.

Blott, S.J. y K. Pye, (2001) GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1237-1248.

Caetano, C. 2007. Sistemática da classescaphopoda (mollusca) no Brasil. Tesis de Doctorado. Universidad del Estado de Rio de Janeiro. Programa de Posgrado en Biología, Biociencias Nucleares. 199p.

Caicedo, I. 1977. Fitoplancton de la Bahía de Neguanje (Parque Nacional Natural Tayrona), Mar Caribe, Colombia. An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín. No. 9. p. 17-44.

Campbell, P.,R. Devlin. 1997. Increased CYP1A1 and ribosomal protein L5 gene expression in a teleost: the rsponse of juvenile Chinook salmon to coal dust exposure. Aquatic toxicology. 38(1-3):1-15).

Chernyshev, A. V. 2003. Classification system of the Higher Taxa of EnoplanNemerteans (Nemertea, Enopla).Russian Journal of Marine Biology. 29: 57-65.

Chester, R. 1990. Marine Geochemistry. Blackwell Science Ltd. Oxford. 506 p.

CIOH (Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas), 1999. Carta repartición de las facies sedimentarias escala 1:300.000.

Clarke, K. R. y M. Ainsworth. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. Mar. Ecol. Prog. Ser., 92: 205-219.

Clarke, K. R. y R. M. Warwick. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth. 172p.

Coan, E. V, P. Scott y F. Bernard. 2000. Bivalve seashells of Western North America: marine bivalve molluks from Arctic Alaska to Baja California. Santa Barbara Museum of Natural History.Santa Barbara, California. 763p.

Coelho, P.A., M.R. Porto y M.L. Koening. 1980. Biogeografia e bionomía dos crustaceous do litoral equatorial brasilero. Trab. Oceanogr. Univ. Fe. Pe., 15: 7-138.

Cognetti, C., M. Sará y G. Magazzù. 2001. Biología marina. Editorial Ariel. Barcelona. 624p.

Cohen, A., D. Peterson y R. Maddocks. 2007. Ostracoda. 417-446. En: Carlton, J. (Ed.) The Light & Smith Manual: Intertidal Invertebrates from Central California to Oregon. Fourth Edition.University of California Press, Berkeley and Los Angeles.

Corredor, 1992. Dinámica Espacio-Temporal de la Surgencia de la Guajira. Mem. VII Sem. Nal. Cien. Mar. Octubre 26 - 30. Santa Marta, Colombia. pp. 206 – 221

Cortés, F., A. Báez, H.F. Sáenz, M. Murcia, E. Escarria, J.P. Parra, L.A. Echeverri y D. Vega. 2008. Diagnóstico del medio biótico y caracterización de la calidad del agua y los sedimentos del Proyecto de adecuación de la línea submarina en el Terminal de Pozos Colorados de ECOPETROL S.A. INVEMAR, Coordinación de Servicios Científicos. Informe técnico final realizado para la firma Ingeniería y Geotecnia Ltda. Santa Marta. 225p + anexos.

Crisp, D. J. 1984. Energy flor measurements. p. 284-367. En: Holme N.A. y A.D. McIntyre (Eds). Methods for the study of the marine benthos. IBP Handbook 16. Blackwell, Oxford.

Cupp, E. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. University of California Press, Bulletin Scripps of institute of Oceanography 5(1): 1-138.

Cutler, E. B. 1994. The Sipuncula.Their systematics, biology and evolution.Cornell University Press. London. 453p.

De La Hoz, M. 1995. Estudio de la variación temporal y espacial del fitoplancton de la bahía del Rodadero, Santa Marta, para el período comprendido entre agosto y octubre de 1995. Seminario de investigación. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina. Santa Marta, Colombia. 55 p.

De La Lanza, G. 1986. Materia orgánica en los sedimentos del sistema lagunar Huizache y Caimanero: importancia, comportamiento y significado en modelos de predicción. An. Inst. Cienc. del Mar y Linol. Univ. Nal. Autón. México. 13(1): 251-286.

Díaz, J. M. y M. Puyana. 1994. Moluscos del Caribe Colombiano, un catálogo ilustrado. Colciencias y Fundación Natura Colombia. Santa Fe de Bogotá. 291p. 74 lám.

Ecoforest Ltda. 1992. Declaración del Efecto Ambiental para el Proyecto de Construcción y Montaje de Una Monoboya y Línea Submarina Terminal Pozos Colorados (Santa Marta). Informe Final para la Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol). 79 p + Anexos.

Edler, L. y M. Elbrächter. 2010. The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis 13 – 20. En: Karlson, B., Cusack, C. y Bresnan, E. Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis. Intergovernmental Oceanographic Commission of ©UNESCO. (IOC Manuals and Guides, no. 55.) Paris. 110 p.

Flach, E. y W. Bruin. 1999. Diversity patterns in macrobenthos across a continental slope in the NE Atlantic. Journal of Sea Research, 42: 303-323.

Franco, A.; D. Avendaño.; W. Bernan y M. Uribe. 1992. Contribución al Conocimiento del Plancton de Isla Tesoro, Parque Nacional Natural Corales del Rosario, Caribe colombiano. Mem. VII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar y Congreso Centroamericano y del Caribe en Ciencias del Mar (Octubre 26-30 de 1992. Santa Marta, Colombia). Vol. 2. p. 754-762.

Franco-Herrera, A., L.M. Grijalba-Bendeck, J.P. Ibañez y J.N. Daza. 2011. Carbón, clima, playas y peces: el caso de la zona costera del Departamento del Magdalena. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 176 p.

Garay, J., F. Castillo, C. Andrade, J. Aguilera, L. Niño, M. De la Pava, W. López y G. Márquez. 1988. Estudio Oceanográfico del área insular y oceánica del Caribe colombiano, Archipiélago de San Andrés y Providencia y Cayos Vecinos. Bol. Cient. CIOH. No.9. P. 3-72.

Garcia, C. B.; J. H. Sandoval y H. Salzwedel. 1992. Caracterización puntual de las comunidades macrozoobenticas en la plataforma continental de Ciénaga, Caribe colombiano. Memorias del VIII Seminario Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. Santa Marta. 2: 591-599.

Graham, L. y L. Wilcox. 2000. Algae. Edit Prentice Hall. 640 p.

Gibson, R. 2002. The invertebrate fauna of New Zealand: Nemertea (Ribbon Worms). Niwa (National Institute of Water and Atmospheric Research). 87p.

Marta, Serie de publicaciones periódicas No. 8. 183-198.

Guzman-alvis, A., G. Ramírez, F. Cortes, J. Ruiz, P. Latting, H.F. Saenz, O.D. Solano. 2003. Caracterización de aguas, sedimentos y comunidad macrozoobentonica en el área de influencia marina del terminal de Pozos Colorados (Santa Marta, año 2003), de ECOPETROL S.A. INVEMAR, Coordinación de Servicios Científicos. Informe técnico final. Santa Marta. 84p + anexos.

Guzman-Alvis, A., O.D. Solano, F. Cortes, J. Ruiz, G. Ramírez, R. Sarabia. 2002. Calidad de Aguas, Sedimentos y comunidades Macrozoobentonicas en el área del terminal de Pozos Colorados (junio 2002), de ECOPETROL S.A. INVEMAR, Coordinación de Servicios Científicos. Informe técnico final. Santa Marta. 100p + anexos.

Guzmán-Alvis A y O. D. Solano. 2002. Estado de los fondos blandos de la plataforma continental: 71-75 En Ospina-Salazar G.H. y Acero A. (eds). Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: año 2001. INVEMAR, Santa Marta, Serie de Publicaciones periódicas No. 8. 178p.

Guzmán-Alvis, A., O. D. Solano, M. E. Córdoba-Tejada y A. C. López-Rodríguez. 2001a. Comunidad macroinfaunal de fondos blandos someros tropicales (Caribe colombiano). Bol. Ins. Invest. Mar. Cost. Vol 30: 39-66.

Guzman-Alvis, A., O.D. Solano, F. Cortes, J. Ruiz, G. Ramírez, R. Sarabia. 2001b. Calidad de Aguas, Sedimentos y comunidades Macrozoobentonicas en el área del terminal de Pozos Colorados de ECOPETROL S.A. INVEMAR, Coordinación de Servicios Científicos. Informe técnico final. Santa Marta. 52p + anexos.

Guzman-Alvis, A. y J. M. Diaz. 1996. Soft-bottom macrobenthic assemblages off Santa Marta, Caribbean coast of Colombia. Carib. J. Sci., 32(2): 176-186.

Guzman-Alvis, A. y O. D. Solano. 1997. Estructura de la taxocenosis Annelida-Mollusca en la región de Mingueo, Guajira (Caribe Colombiano). Bol. Inst. Invest. Mar. Punta Betín, 26:35-52.

Guzman-Alvis, A. y J. M. Diaz. 1996. Soft-bottom macrobenthic assemblages off Santa Marta, Caribbean coast of Colombia. Carib. J. Sci., 32(2): 176-186.

Guzmán-Alvis, A. 1993. La comunidad macrozoobentónica de fondos blandos de la plataforma continental del departamento del Magdalena (Caribe colombiano). Tesis M.Sc. Universidad Nacional de Colombia, Santa Marta. 83p.

Gómez, L.A., K.P. Ibarra, J.M. Betancourt, D.F. Morales y M.P. Bolaño. 2011. Estudio granulométrico, de calidad de aguas, sedimentos y comunidades hidrobiológicas (bentónicas), en inmediaciones de la Sociedad Portuaria Río Córdoba, durante y después de la recuperación de la barcaza hundida en diciembre 2010. Informe Técnico de Avance (ITA) realizado para la empresa Sociedad Portuaria Río Córdoba S.A. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –INVEMAR-. Santa Marta. 119 p. + Anexos.

Guzmán-Alvis, A y N. Ardila. 2004. Estado de los fondos blandos en Colombia. p. 153-156. En: INVEMAR. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: año 2004. Serie de Publicaciones Periódicas, No. 8. Santa Marta.

Hahn, M., y J. Stegeman. 1994. Regulation of citochrome P4501A1 in the teleosts: Sustained induction of CYP1A1 mRNA, protein, and catalytic activity by 2,3,7,8-tetrachlorodibenzofuran in the marine fish *Stenotomus chrysops*. Toxicology and Applied Pharmacology. 127:187-198.

Hendler, G., Miller, J; Pawson, D y Kier, P. 1995. Sea Star, Sea Urchins and Alliens.Smithsonian Institution. Washington. 390p.

Herrera, J. 1993. Caraterización de la biocenosis macrozoobentónica de fondos blandos de la Bahía de Cartagena y su relación con algunos parámetros ambientales.Tesis de pregrado.Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano.170p.

Holme, N. A., and A. D. McIntyre. 1971. Methods of the study of marine benthos, IPB Handbook Nº16. Blackwell Sci. Publ., Oxford and Edimburgh. F. A. Davis, Philadelphia. 346p.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), 1990. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. IGAC. Bogotá. 499 p.

INVEMAR. 2003. Calidad de aguas, sedimentos y comunidades macozoobentónicas en el área de influencia del terminal de Pozos Colorados. Informe Técnico Final. Santa Marta.

INVEMAR. 2004a. Establecimiento de la Línea Base. Primera Fase del Plan de Monitoreo Ambiental del Proyecto Para el Tratamiento y Disposición Final de las Aguas Residuales de Cartagena de Indias. Informe Final. INVEMAR, ECOQUÍMIA Y BSI INSPECTORATE. Santa Marta. 677p

INVEMAR, 2004b. Monitoreo de ecosistemas representativos de Bahía Portete. Informe Final. 137 pp.

Invemar. 2004c. Levantamiento de información oceanográfica necesaria para las actividades en las plataformas Chuchupa "A y B". Coordinación de Servicios Científicos, INVEMAR. Informe final para ChevronTexaco. Santa Marta, 191p.

INVEMAR, 2010. Evaluación ambiental en inmediaciones del puerto de carbón Concesión Rio Córdoba-VALE por el hundimiento de la barcaza Caribe 225 CP-03-0031-AN. Concepto técnico BEM-049-10. INVEMAR-MADS. 21 pags.

INVEMAR. 2012. Concepto Técnico CPT-BEM-006-12 para establecer el estado de cumplimiento de los requerimientos impuestos por la ANLA mediante Autos 4466 de 2010 y 0481 de 2011 Expediente LAM0399 a la Sociedad Portuaria Río Córdoba- VALE para Ministerio de

Ambiente y Desarrollo Sostenible-Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. Santa Marta, 35p + anexos.

INVEMAR. 2012b. Concepto Técnico Informe final sobre la mortandad de peces en la zona costera del Dpto. Del Magdalena – Puente de la Barra hasta El Rodadero. Aproximación a una evaluación del Impacto. CPT-CAM-035-12. 69p.

INVEMAR, 2013. Informe técnico de la visita inicial relacionada con el incidente de la barcaza de carbón en el área de operaciones marinas de AMERICAN PORT COMPANY INC. Expediente 150. INVEMAR-ANLA. Santa Marta, 9 Págs.

INVEMAR. 2013b. Base de datos de la REDCAM. La información de la base de datos está disponible desde Internet en: http http://cinto.invemar.org.co/siam/redcam/estadisticas/index.jsp. Fecha de consulta: Abril de 2013.

Jean-Claude, Dauvin y D. Bellan-Santini. 1996. Ampeliscidae (Amphipoda) from the bay of Biscay. Journal of crustacean biology. Vol. 16 (1). pp. 149-168.

Johnson, P. y Helferty, M. 1990. The Geological interpretation of side-scan sonar. Reviews of Geophysics, 28(4): 357-380.

Kensley, B. y M. Schotte. 1989. Marine Isopod Crustaceans of the Caribbean. Smithsonian Institution Press. Washington D.C. 308p.

King, R. 2009. Ampeliscidae. Zootaxa. Vol. 2260. Pp. 132-142. Lecroy, S. 2001. An illustrated guide to the nearshore marine and estuarine Gammaridean, Amphipoda of Florida.Deparment of Environmental protection. 272p.

Kleiber, L., H. Fink, R. Niessner y U. Panne. 2002. Strategies for the analysis of coal by laser ablation inductively coupled plasma mass spectroscopy. Anal. Bioanal. Chem. 374: 109–114

Komarek, J. & K. Anagnostidis (1999). Cyanoprokariota 1 Teil: Chroococcales. H. Etts, G. Gartner, H. Heynig and D. Mollenhauer (Eds.) Jena, Gustav Fischer: 548 pp.

Komarek, J. & K. Anagnostidis (2005). Cyanoprokariota 2 Teil/ 2nd Part: Oscillatoriales. Susswasserflora von Mitteleuropa 19/2. B. Budel, L. Krienitz, G. Gartner and M. Schagerl (Eds.) Heidelberg, Elsevier/Spektrum: 759 pp.

Lindahl O. 1986. A dividable hose for phytoplankton sampling. In: Report of Working Group on Exceptional algal blooms. International Council for the Exploration of the Sea, C. M. 1986/L: 26, Annex 3.

Longhurst, A. R. y D. Pauly. 1987. Ecology of tropical oceans. Academic Press, San Diego, 407 p.

López-Fuerte, F. O., y D. Siqueiros-Beltrones (2006). Distribución y estructura de comunidades de diatomeas en sedimentos de un sistema de manglar. Hidrobiológica,16(1): 23-33.

Ludwig, J. A. y J. F. Reynolds. 1988. Statistical ecology. A premier on methods and computing.JohnWilesy and Sons. New York. 337p.

Macpherson E., 2002. Large-scale species-richness gradients in the Atlantic Ocean. Proc. R. Soc. Lond. B., 269: 1715-1720.

Margalef, R. 1982. Ecología. Sexta Reimpresión. Ediciones Omega S.A. Barcelona (España). 1.010p.

Mason, W. T. Jr. y P. P. Yevich. 1967. The use of phloxine B and rose bengal stains to facilite sorting benthic samples. Trans. Am. Microsc. Soc., 86 (2): 221-223.

Mckee, B. A., R. C. Aller, M. A. Allison, T. S. Bianchi, y G. S. Kineke. 2004. Transport and transformation of Dissolved and particulate materials on continental Margins influenced by Major Rivers: Benthic Boundary Layer and seabed processes. Continental shelf research. 24 (7-8): 899-926.

Méndez, M. N., V. Solís y A Carranza. 1986. La importancia de la granulometría en la distribución de organismos bentónicos. Estudio de playas del estado de Veracruz, México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 13 (3): 45-56.

MINSALUD (Ministerio de Salud). 1984. Decreto No. 1594 del 26 de junio de 1984. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III - Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. 52 p.

Mikkelsen, P. M. y R. Bieler. 2008. Seashells of Southern Florida: living marine mollusks of the Florida keys and adjacent regions. Bivalves.Princeton University Press.Italy. 503p.

Mills, E. 1971. Deep-sea amphipoda from the western north Atlantic Ocean. The family ampeliscidae. Limnology and Oceanography. Vol. 16 (2). pp. 357-386.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2008. Ocean Acidification. State of the Science. Fac Sheet. 2p.

Nicolaidou, A. y J.A. Nott. 1990. Mediterranean pollution from a ferro-nickel smelter: differential uptake of metals by some gastropods. Marine Pollution Bulletin 21 (3): 137-143.

Odum, E. P. 1984. Ecología. Tercera Edición. Nueva Editorial Interamericana S. A. De C. V. México. 639p.

Ortiz, M., A. Martín, I. Winfield, Y. Díaz y D. Atienza. 2004. Anfípodos (Crustacea: Gammaridea). Clave Gráfica para la Identificación de las Familias, Géneros y Especies Marinas y Estuarinas del Atlántico Occidental Tropical. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacal. Carrera de Biología. 162p.

Prieto, A., L. Ruíz y N. García. 2005. Diversidad y abundancia de moluscos de la epifauna en la comunidad sublitoral de Punta Patilla, Venezuela. Rev. Biol. Trop. Vol 53 (1-2): 135-140.

Ramírez, G. A. 1999. Ecología aplicada. Diseño y análisis estadístico. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santafé de Bogotá. 325p.

Ramos, L.M. 2005. Caracterización del fitoplancton de la bahía de Santa Marta, Caribe colombiano. Tesis (Bióloga). Universidad del Magdalena. Facultad de Ciencias Básicas. Santa Marta. Colombia. 113p.

Roe, P., J. L. Norenburg y S. A. Maslakova. 2006. Nemertea. En: The Light and Smith Manual Intertidal Invertebrates from central Califormia to Oregon. 4yh Edition. J. Carlton (Ed). 182-196.

Round, F.E., Crawford, R.M. y D.G. Mann. 1990. The Diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press. Cambridge. 747 p.

Rouse, G. y F. Pleijel. 2001. Polychaetes. Oxford University Press. UK. 354p.

SCOR-UNESCO. 1980. Determination of chlorophyll in seawater. Technical papers in marine science. UNESCO, N°35.

Sakai, K. 2005. Callianassoidea of the world (Decapoda, Thalassinidea).Crustaceana Monographs, 4.ED. Brill Leiden Boston. 255p.

Salazar-Vallejo, S. I., J. A. De Leon-Gonzales, y Salaices-Polanco, H. 1988. Poliquetos (Annelida-Polychaeta) de Mexico. Universidad Autonoma de baja California Sur, Libros Universitarios. 112p.

Sanders H. L y Hessler R. R. 1969. Ecology of the deep-sea benthos. Science 163:1419-1424.

Siboni, N., M. Fine, V. Bresler y Y. Loya. 2004. Coastal coal pollution increases Cd concentrations in the predatory gastropod Hexaplex trunculus and is detrimental to its health. Marine Pollution Bulletin 49: 111–118.

Silva, L.F.O., X. Querol, K.M. da Boit, S. Fdez-Ortiz de Vallejuelo, J.M. Madariaga. 2011. Brazilian coal mining residues and sulphide oxidation by Fenton´s reaction: accelerated weathering procedure to evaluate possible environmental impact. Journal of Hazardous Materials 186: 516–525.

Smith, R. I. 1964. Keys to Marine Invertebrate of the Woods Hole Region. Contribution N° 11 / Systematics-Ecology Program, MBL. Marine Biological Laboratory, Woods Hole, M.A. Chapter VII. Phylum Nemertea (Rhynchocoela).

Solano, O. D., G. Ramirez., F. Cortés., A. Baez., H. F. Saenz., J. León., M. L. Gómez., J. P. Parra., Y B. Cadavid. 2007a. Monitoreo de calidad de aguas, sedimentos y comunidades biológicas durante la perforación de pozos de gas en CHUCHUPA B. Informe final. INVEMAR, Santa Marta. 126p.

Solano, D. Vega, G. Ulloa, H.F. Sáenz, J.C. Márquez, M Murcia, M. Bolaño, S. Ruiz, S. Narváez, W. Gil y W. Zubiría. 2007b. Línea Base biótica, terrestre, marina y de calidad de aguas del área de influencia de la Fase II del proyecto GACE. INVEMAR, Coordinación de Servicios Científicos. Informe Técnico Final para la empresa Chevron Petroleum Company, Santa Marta. 148p + Anexos.

Soltwedel, T. 2000. Metazoan meiobenthos along continental margins: A review. Progress in Oceanography. 46: 59 - 84.

Soto, E. y G. Leighton. 1999. Indicadores biológicos de ecosistemas marinos de fondos blandos y su importancia en los programas de monitoreo ambiental. VI Jornadas del CONAPHI-CHILE. 15p.

Soule, D. F., J. D. Soule y H. W. Chaney. 1995. The Bryozoa. En: Blake, J.A., H.W. Chaney, P.H. Scott y A.L. Lissner (Eds). Taxonomic Atlas of the Santa Maria Basin and Western Santa Barbara Channel.13:1-344.

Southward, E. C. 2000. Class Polychaeta. Pp. 1-296 in Beesley, P.I., Ross, G.J.B. & Glasby, C.J. (eds) Polychaetes & Allies: The Southern Synthesis. Fauna of Australia. Vol. 4A

Polichaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula. CSIRO Publishing: Melbourne xii 465p.

Thomas, C. R. (Ed). 1996. IdentifiyinIdentifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press, San Diego, CA. 598p.

Torres, E. A. 2007. La comunidad fitoplanctónica presente en un evento de surgencia, frente a la costa del departamento del Magdalena, Caribe colombiano, año 2006. Tesis de grado. Facultad de Biología marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta 104 p.

Torres, A., F. Martínez, O. Duarte y R. Orozco. 1993. Caracterización del fitoplancton para el período comprendido entre los meses de agosto-septiembre de 1993 en la bahía de Gayraca, PNNT, Caribe Colombiano. Seminario de investigación. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Biología Marina, Santa Marta, Colombia. 62 p.

Troncoso W.; R. Navas; A. Osorno; M. Díaz; A. Bermúdez; J. Parra y J. Betancourt. 2008. Informe final del "Monitoreo de la calidad de aguas y sedimentos, y de los ecosistemas marinos en las zonas afectadas por el derrame de aceite de palma, bahías de Taganga y Santa Marta (Magdalena)", realizado para la firma TERLICA S.A. Santa Marta, 82 p + Anexos.

Trujillo, C. A., Z. Sosa y K. Linero. 2009. Estructura de la macroinfauna asociada a los fondos blandos del Caribe norte colombiano. Intropica. Vol.4: 99–110.

Vides, M.P. 1999. La macroinfauna de fondos blandos del Golfo de Salamanca (Caribe colombiano): Estructura espacial y dinámica temporal. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Tesis de grado. Facultad de Biología Marina. 91p.

Villafañe, V. E., y F. M. Reid. 1995. Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. En: K. Alveal, M. Ferrario, E. de Oliveira & E. Sar (eds). Manual de métodos ficológicos. Universidad de Concepción, Chile. 850 pp.

Villarreal H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina y A. M. Umaña. 2006. Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad. En Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad segunda edición (pp. 185-226). Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.

Walker-Smith, G. K. y G. C. B. Poore. 2001. A phylogeny of the Leptostraca (Crustacea) with keys to families and genera. Memoirs of Museum Victoria, 58(2): 383-410.

Williams, A. D. 1984. Shrimps, lobsters, and crabs of the Atlantic coast of the eastern United States Maine to Florida. Smithsonian Institution Press. Washington. 550p.

Yidi, E. y V., Sarmiento. 2011. Colombian Seashells from the Caribean Sea. GrafícheScarponi, Osimo. 384p.

7. ANEXOS

Anexo 7.1. Abundancia por estación (No. ind* 0,08 m^2) de la macroinfauna asentada en las estaciones de muestreo en la terminal de carbón de puerto Drummond.

Phyllum	Familia	ST01	ST02	ST04	ST05	ST07	ST10	ST12	ST14	ST15	ST16	ST17	ST19	Total
Annelida	Ampharetidae	0	2	8	1	2	0	1	0	2	0	2	0	18
	Amphinomidae	0	2	1	1	1	3	0	0	0	0	1	0	9
	Capitellidae	0	0	0	3	1	0	2	0	2	2	0	0	10
	Cirratulidae	0	1	1	2	0	0	1	0	2	1	1	1	10
	Cossuridae	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	1	0	5
	Dorvilleidae	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Eulepethidae	0	1	0	0	0	2	1	0	0	1	0	0	5
	Flabelligeridae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Glyceridae	0	0	2	0	2	0	0	8	0	2	1	2	17
	Goniadidae	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	1	0	4
	Lumbrineridae	0	1	5	3	4	2	5	0	0	1	1	3	25
	Magelonidae	0	1	11	2	2	6	1	3	6	0	3	0	35
	Maldanidae	0	1	1	4	4	0	0	0	0	0	0	0	10
	Nephtyidae	0	1	2	0	1	0	0	1	1	0	0	0	6
	Nereididae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Oenonidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2
	Onuphidae	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	4
	Opheliidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Orbiniidae	0	2	1	0	0	0	2	1	1	1	1	1	10
	Oweniidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	4
	Paraonidae	0	0	17	5	5	3	0	0	2	1	3	0	36

	Pilargidae	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	4
	Polynoidae	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3
	Sabellariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2
	Sabellidae	0	0	3	0	0	0	1	1	2	0	0	0	7
	Sigalionidae	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	3
	Spionidae	2	8	48	4	14	1	9	2	5	2	16	7	118
	Sternaspidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Syllidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Terebellidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	Trichobranchidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Arthropoda	Ampeliscidae	0	1	10	5	4	6	1	8	12	6	0	2	55
	Ampithoidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	Aoridae	0	0	0	0	2	0	5	0	0	0	0	1	8
	Callianassidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	Cylindroleberididae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	Diastylidae	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	5	8
	Diogenidae	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
	Gynodiastylidae	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	6
	Leuconidae	0	1	0	7	3	4	0	0	0	0	0	0	15
	Melitidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	Mysis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Oedicerotidae	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	5
	Ogyrididae	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	3
	Partes de Arthropoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Photidae	2	1	0	0	2	0	10	0	0	3	0	0	18
	Phoxocephalidae	0	1	0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	6
	Pinnotheridae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Echinodermata	Amphiuridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	Ophiuridae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

	Partes de Echinodermata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Echiura	Echiura	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Mollusca	Arcidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	Corbulidae	0	1	3	7	2	0	0	1	2	17	13	0	46
	Dentaliidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	lucinidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
	Nuculanidae	0	3	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	8
	Olividae	0	1	0	0	0	0	0	6	3	4	2	3	19
	Retusidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	Tellinidae	0	2	4	0	5	0	0	1	7	8	0	2	29
	Ungulinidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	Veneridae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Nemertea	Amphiporidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Lineidae	0	5	5	10	7	5	1	1	6	6	2	1	49
	partes de Nemertea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tubulanidae	0	0	5	0	1	1	0	0	0	0	0	1	8
Phoronida	Phoronida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Sipunculida	Aspidosiphonidae	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
	Phascolosomatidae	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Total abundancia		6	48	135	64	72	36	50	41	57	68	54	34	665
Total familias por estación		4	29	25	20	26	13	20	17	17	22	20	15	

Anexo 7.2. Biomasa húmeda por estación (No. ind* 0,08 m^2) de la macroinfauna asentada en las estaciones de muestreo en la terminal de carbón de puerto Drummond.

Phyllum	Familia	ST01	ST02	ST04	ST05	ST07	ST10	ST12	ST14	ST15	ST16	ST17	ST19	Total
Annelida	Ampharetidae	0	0,0001	0,005	0,0001	0,0117	0	0,0029	0	0,0001	0	0,0014	0	0,0213
	Amphinomidae	0	0,0001	0,004	0,0001	0,0001	0,0001	0	0	0	0	0,0001	0	0,0045
	Capitellidae	0	0	0	0,0001	0,0001	0	0,0001	0	0,0001	0,0001	0	0	0,0005
	Cirratulidae	0	0,0001	0,0001	0,0013	0	0	0,0001	0	0,0878	0,0001	0,0001	0,0001	0,0897
	Cossuridae	0	0	0,0001	0,0022	0	0	0	0	0,0001	0	0,0001	0	0,0025
	Dorvilleidae	0,0001	0	0,0001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0002
	Eulepethidae	0	0,0001	0	0	0	0,0213	0,0005	0	0	0,0012	0	0	0,0231
	Flabelligeridae	0	0	0,0054	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0054
	Glyceridae	0	0	0,0014	0	0,0031	0	0	0,0179	0	0,0015	0,0035	0,0006	0,028
	Goniadidae	0	0	0	0,0001	0	0	0	0,0074	0	0	0,002	0	0,0095
	Lumbrineridae	0	0,0001	0,0026	0,0021	0,0049	0,0012	0,002	0	0	0,0001	0,0038	0,0005	0,0173
	Magelonidae	0	0,0001	0,0193	0,0143	0,0001	0,0043	0,0001	0,0024	0,0008	0	0,0022	0	0,0436
	Maldanidae	0	0,0001	0,0001	0,004	0,0179	0	0	0	0	0	0	0	0,0221
	Nephtyidae	0	0,0136	0,0004	0	0,0059	0	0	0,0029	0,0001	0	0	0	0,0229
	Nereididae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0022	0	0,0022
	Oenonidae	0	0	0	0	0	0	0	0,0017	0	0	0,0007	0	0,0024
	Onuphidae	0,0001	0	0,1213	0	0	0	0	0	0,007	0,024	0	0	0,1524
	Opheliidae	0	0,0055	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0055
	Orbiniidae	0	0,0229	0,0001	0	0	0	0,0018	0,0001	0,0001	0,0201	0,0001	0,0001	0,0453
	Oweniidae	0	0	0,0436	0	0	0	0	0	0	0,068	0	0	0,1116
	Paraonidae	0	0	0,0043	0,0009	0,0021	0,0001	0	0	0,0001	0,0001	0,0034	0	0,011
	Pilargidae	0	0,0001	0,0001	0	0	0	0,0001	0	0	0,0001	0	0	0,0004

	Polynoidae	0	0,0014	0	0	0,0146	0	0	0	0	0	0	0,0001	0,0161
	Sabellariidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0001	0,0001	0	0,0002
	Sabellidae	0	0	0,0001	0	0	0	0,0001	0,0001	0,0068	0	0	0	0,0071
	Sigalionidae	0	0	0	0	0	0	0,0001	0,0156	0	0	0	0,0001	0,0158
	Spionidae	0,0001	0,0305	0,0779	0,0667	0,0189	0,0013	0,0063	0,0001	0,0254	0,0001	0,0326	0,0106	0,2705
	Sternaspidae	0	0	0	0,0001	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0001
	Syllidae	0	0	0,0001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0001
	Terebellidae	0	0	0	0	0,1098	0	0	0	0	0	0	0	0,1098
	Trichobranchidae	0	0,0151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0151
Arthropoda	Ampeliscidae	0	0,0001	0,0038	0,0018	0,0016	0,0036	0,0001	0,0038	0,0043	0,0014	0	0,0001	0,0206
	Ampithoidae	0	0	0	0	0	0	0,0001	0	0	0	0	0	0,0001
	Aoridae	0	0	0	0	0,0016	0	0,0038	0	0	0	0	0,0002	0,0056
	Callianassidae	0	0	0	0	0	0	0,0004	0	0	0	0	0	0,0004
	Cylindroleberididae	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0001	0	0	0	0,0001
	Diastylidae	0	0	0	0,0001	0	0	0,0001	0,0001	0	0	0	0,0011	0,0014
	Diogenidae	0	0	0	0	0	0	2,5564	0	0	0	0	0	2,5564
	Gynodiastylidae	0	0	0	0	0	0	0,0003	0	0	0,0002	0	0	0,0005
	Leuconidae	0	0,0001	0	0,0008	0,0006	0,0002	0	0	0	0	0	0	0,0017
	Melitidae	0	0	0	0	0,0001	0	0	0	0	0	0	0	0,0001
	Mysis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0003	0	0,0003
	Oedicerotidae	0	0	0	0	0	0	0	0,0003	0	0	0	0,0001	0,0004
	Ogyrididae	0	0	0	0,0004	0	0	0	0,0019	0	0	0,0006	0	0,0029
	Partes de Arthropoda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0001	0	0	0,0001
	Photidae	0,0003	0,0001	0	0	0,0012	0	0,0015	0	0	0,0006	0	0	0,0037
	Phoxocephalidae	0	0,0001	0	0,0007	0,0007	0,0002	0	0	0	0	0	0	0,0017
	Pinnotheridae	0	0	0	0	0	0,0007	0	0	0	0	0	0	0,0007
Echinodermata	Amphiuridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0339	0	0	0,0339
	Ophiuridae	0	0	0,0043	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0043

	Partes de Echinodermata	0	0	0,009	0	0	0	0	0	0	0,0137	0	0	0,0227
Echiura	Echiura	0	1,2083	0	0	0	0,0003	0	0	0	0	0	0	1,2086
Mollusca	Arcidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0029	0	0	0,0029
	Corbulidae	0	0,2155	0,0706	0,0357	0,0186	0	0	0,0029	0,5403	6,2743	3,4251	0	10,5830
	Dentaliidae	0	0,0118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0118
	lucinidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1232	0	0	0,1232
	Nuculanidae	0	0,0035	0	0,0036	0,4143	0	0	0	0	0	0	0	0,4214
	Olividae	0	0,0191	0	0	0	0	0	0,0095	0,0081	0,0603	0,0052	0,0372	0,1394
	Retusidae	0	0	0	0	0,0001	0	0	0	0	0	0	0	0,0001
	Tellinidae	0	0,0433	0,0445	0	0,0073	0	0	0,0007	0,0007	0,0248	0	0,0001	0,1214
	Ungulinidae	0	0	0	0	0,0002	0	0	0	0	0	0	0	0,0002
	Veneridae	0	0,0469	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0469
Nemertea	Amphiporidae	0	0,0005	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0005
	Lineidae	0	0,0032	0,002	0,0115	0,0046	0,0054	0,002	0,002	0,0011	0,0084	0,0009	0,0003	0,0414
	partes de Nemertea	0	0,0097	0,0028	0,0061	0,0016	0,0018	0,0009	0,0003	0,0003	0,0086	0	0	0,0321
	Tubulanidae	0	0	0,0082	0	0,0042	0,001	0	0	0	0	0	0,0006	0,014
Phoronida	Phoronida	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0004	0	0,0004
Sipuncula	Aspidosiphonidae	0	0,0001	0	0	0,0004	0	0	0	0	0	0	0	0,0005
	Phascolosomatidae	0	0,0018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0018
Total biomasa		0,0006	1,6539	0,4312	0,1527	0,6463	0,0415	2,5797	0,0697	0,6833	6,6679	3,4848	0,0518	16,4634
Total familias por estación		4	29	25	20	26	13	20	17	17	22	20	15	

Anexo 7.3 a. Resultados de los análisis del laboratorio de calidad ambiental sobre las variables profundidad, temperatura, transparencia, salinidad, conductividad, pH y oxígeno disuelto.

COLOMBIA 50% MAR
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andréis" - INVEMAR

FT – LABCAM – 13
Versión 04

PÁGINA 1 DE 2 | INFORME DE RESULTADOS-IR-052-2013

Programa CALIDAD AMBIENTAL MARINA
Laboratorio de Calidad Ambiental
Cerro Punta Betín – A.A. 1016 - Santa Marta, COLOMBIA
http: // invemar.org.co ivan.cuadrado@invemar.org.co

SOLICITANTE DEL ANÁLISIS	BEM-Concepto ANLA
DIRECCIÓN DEL SOLICITANTE	BEM-INVEMAR Calle 26 # 2-66Playa Salguero-Rodadero

Tipo de Muestreo	Muestreo realizado por	Análisis Subcontratados
Simple	Programa CAM	No

DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS

ESTACIÓN / LOCALIDAD	TIPO DE MUESTRA	FECHA DE RECOLECCIÓN	FECHA DE RECEPCIÓN LABCAM	ENTREGADA POR
ST01 Estación 1-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST01 Estación 1-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST02 Estación 2-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST02 Estación 2-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST04 Estación 4-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST04 Estación 4-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST10 Estación 10-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST10 Estación 10-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST12 Estación 12-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST12 Estación 12-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST15 Estación 15-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST15 Estación 15-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST16 Estación 16-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST16 Estación 16-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST19 Estación 19-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST19 Estación 19-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón

METODOLOGÍA

ENSAYOS	TECNICAS ANALITICAS
Profundidad	Medición con ecosonda portátil
Transparencia (TRANSP)	Disco Secchi
Temperatura (TEMP, °C)	Medición electrométrica con termocupla acoplada a sonda portátil WTW pH-315.
Salinidad (SAL), Conductividad (Cond. mS/cm)	Medición electrométrica de la conductividad con electrodo acoplado a sonda WTW-3210 (Standard Methods 2520)
Oxigeno disuelto (OD, mg/L)	Medición en campo con electrodo de membrana WTW-CIXI 3205 (Standard Methods N° 4500-O G).
pH	Medición electrométrica con sonda portátil WTW pH-315I (Standard Methods N° 4500-H)

CONTROL DE CALIDAD ANALITICA

ENSAYO	PRECISIÓN Desv. Est.	LIMITE DE DETECCIÓN	Analista (s)
Temperatura (TEMP, °C)	0,1	-	O. Aragón
Salinidad (en el rango de 0 -42 y temperatura 25 -35 °C)	0,2	-	O. Aragón
Oxigeno disuelto (OD, mg/L)	0,5%	-	O. Aragón
pH	0,5%	-	O. Aragón

Continuación Anexo 7.3.a.

COLOMBIA 50% MAR Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andréis" - INVEMAR	FT – LABCAM – 13 Versión 04
PÁGINA 2 DE 2	INFORME DE RESULTADOS-IR-052-2013

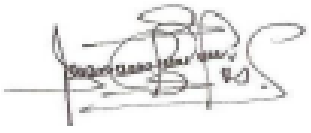
RESULTADOS DEL ANÁLISIS

ESTACIÓN/LOCALIDAD	PROF (m)	TRANSP (m)	TEMP (°C)	SAL	pH	OD (mg/L)	%O (%)
ST01 Estación 1-S	10,6	2,5	29,0	36,6	8,18	5,78	92,3
ST01 Estación 1-F			28,0	36,5	8,24	5,80	89,1
ST02 Estación 2-S	10,5	2,5	28,4	36,4	8,19	6,09	94,0
ST02 Estación 2-F			27,3	36,5	8,19	5,85	89,0
ST04 Estación 4-S	9,9	2,0	29,1	36,4	8,22	6,05	98,0
ST04 Estación 4-F			28,2	36,3	8,24	5,91	95,4
ST10 Estación 10-S	10,7	2,0	29,1	36,3	8,23	5,98	94,3
ST10 Estación 10-F			28,3	36,4	8,24	5,63	89,0
ST12 Estación 12-S	3,5	0,7	29,6	36,7	8,18	5,62	90,0
ST12 Estación 12-F			28,9	36,7	8,16	5,27	82,0
ST15 Estación 15-S	2,7	0,7	30,1	36,0	8,14	5,86	92,6
ST15 Estación 15-F			29,5	36,4	8,17	5,80	92,0
ST16 Estación 16-S	3,2	0,8	29,8	37,0	8,17	5,88	95,7
ST16 Estación 16-F			28,8	36,4	8,17	5,34	88,6
ST19 Estación 19-S	3,2	0,8	29,5	37,1	8,18	5,63	89,5
ST19 Estación 19-F			29,0	36,4	8,15	5,10	81,0

Fecha de iniciación de los ensayos	20-03-2013	Fecha de terminación de los ensayos	20-03-2013

Aprobó:

Karen Patricia Ibarra Gutiérrez (PQ- 3380)
Jefe de LABCAM (E)



Iván Darío Cuadrado Soto (PQ-3749)
Jefe de Calidad (E)

Fin del informe

Los resultados de este informe solamente son válidos para las muestras ensayadas y no deben ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización escrita de INVEMAR-CAM y el SOLICITANTE del análisis.

Anexo 7.3.b. Resultados de los Análisis de Turbidez y Clorofila a en las muestras tomadas en el lugar del incidente con la barcaza TS 115, del laboratorio de Calidad Ambiental.

COLOMBIA 50% MAR

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andréis" - INVEMAR

FT – LABCAM – 13

Versión 04

PÁGINA 1 DE 2 | INFORME DE RESULTADOS-IR-053-2013

Programa CALIDAD AMBIENTAL MARINA
Laboratorio de Calidad Ambiental
Cerro Punta Betín – A.A. 1016 - Santa Marta, COLOMBIA
http: // invemar.org.co ivan.cuadrado@invemar.org.co

SOLICITANTE DEL ANÁLISIS	BEM-Concepto ANLA
DIRECCIÓN DEL SOLICITANTE	BEM-INVEMAR Calle 26 # 2-66 Playa Salguero-Rodadero

Tipo de Muestreo	Muestreo realizado por	Análisis Subcontratados
Simple	Programa CAM	No

DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS

ESTACIÓN / LOCALIDAD	TIPO DE MUESTRA	FECHA DE RECOLECCIÓN	FECHA DE RECEPCIÓN LABCAM	ENTREGADA POR
ST01 Estación 1-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST01 Estación 1-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST02 Estación 2-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST02 Estación 2-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST04 Estación 4-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST04 Estación 4-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST10 Estación 10-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST10 Estación 10-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST12 Estación 12-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST12 Estación 12-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST15 Estación 15-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST15 Estación 15-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST16 Estación 16-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST16 Estación 16-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST19 Estación 19-S	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón
ST19 Estación 19-F	Agua marina	20/03/2013	20/03/2013	O. Aragón

METODOLOGÍA

ENSAYOS	TECNICAS ANALITICAS
Turbidez (NTU)	Medición Nefelométrica con turbidímetro HACH (Standard Methods N° 2130-B)
Clorofila a	Método tricromático SCORE, UNESCO, 1980.

CONTROL DE CALIDAD ANALITICA

ENSAYO	PRECISIÓN Desv. Est.	LIMITE DE DETECCIÓN	Analista (s)
Turbidez (NTU)	0,01	-	B. Cadavid
Clorofila a (µg/L)	0,10	0,07	B. Cadavid

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

ESTACIÓN/LOCALIDAD	Turbidez (NTU)	Clorofila a (µg/L)
ST01 Estación 1-S	2,14	0,60
ST01 Estación 1-F	2,30	-
ST02 Estación 2-S	2,30	0,47
ST02 Estación 2-F	4,77	-
ST04 Estación 4-S	3,74	0,56

Continuación Anexo 7.3.b

COLOMBIA 50% MAR Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andréis" - INVEMAR	FT – LABCAM – 13 Versión 04
PÁGINA 2 DE 2	INFORME DE RESULTADOS-IR-053-2013

ST04 Estación 4-F	3,13	-
ST10 Estación 10-S	3,20	<LD
ST10 Estación 10-F	1,60	-
ST12 Estación 12-S	12,6	3,38
ST12 Estación 12-F	23,0	-
ST15 Estación 15-S	11,5	4,02
ST15 Estación 15-F	17,6	-
ST16 Estación 16-S	9,04	2,78
ST16 Estación 16-F	10,85	-
ST19 Estación 19-S	13,0	3,11
ST19 Estación 19-F	23,0	-

Fecha de iniciación de los ensayos	20-03-2013	Fecha de terminación de los ensayos	22-03-2013

Aprobó:

Karen Patricia Ibarra Gutiérrez (PQ- 3380)
Jefe de LABCAM (E)

Iván Darío Cuadrado Soto (PQ-3748)
Jefe de Calidad (E)

Fin del informe

Los resultados de este informe solamente son válidos para las muestras ensayadas y no deben ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización escrita de INVEMAR-CAM y el SOLICITANTE del análisis.

Anexo 7.4. Resultados de los análisis del laboratorio de calidad ambiental sobre las variables pH, Materia orgánica, grasas y aceites, tomadas en el lugar del incidente con la barcaza TS 115.

COLOMBIA 50% MAR
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andréis" - INVEMAR

FT – LABCAM – 13
Versión 04

PÁGINA 1 DE 1 | **INFORME DE RESULTADOS-IR-054-2013**

Programa CALIDAD AMBIENTAL MARINA
Laboratorio de Calidad Ambiental
Cerro Punta Betín – A.A. 1016 - Santa Marta, COLOMBIA
http: // invemar.org.co **ivan.cuadrado@invemar.org.co**

SOLICITANTE DEL ANALISIS	BEM-Concepto ANLA
DIRECCIÓN DEL SOLICITANTE	BEM-INVEMAR Calle 25 # 2-55 Playa Salguero-Rodadero

Tipo de Muestreo	Muestreo realizado por	Análisis Subcontratados
Simple	Programa CAM	No

DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS

ESTACIÓN / LOCALIDAD	TIPO DE MUESTRA	FECHA DE RECOLECCIÓN	FECHA DE RECEPCIÓN LABCAM	ENTREGADA POR
ST01 Estación 1	Sedimento	22/03/2013	02/04/2013	D. Flórez
ST02 Estación 2	Sedimento	20/03/2013	20/03/2013	B. Cadavid
ST04 Estación 4	Sedimento	22/03/2013	02/04/2013	D. Flórez
ST10 Estación 10	Sedimento	22/03/2013	02/04/2013	D. Flórez
ST12 Estación 12	Sedimento	20/03/2013	20/03/2013	B. Cadavid
ST15 Estación 15	Sedimento	22/03/2013	02/04/2013	D. Flórez
ST16 Estación 16	Sedimento	20/03/2013	20/03/2013	B. Cadavid
ST19 Estación 19	Sedimento	20/03/2013	20/03/2013	C. Cadavid

METODOLOGÍA

ENSAYOS	TECNICAS ANALITICAS
pH	Medición electrométrica con sonda portátil WTW pH-315 (Standard Methods N° 4500-H+)
Materia orgánica volátil (M.O. mg/g)	Método gravimétrico, calcinación a 550°C (IGAC, 1990)
Grasas y Aceites (G y A, mg/g)	Método gravimétrico. Extracción Soxhlet con diclorometano:acetona (Standard Methods 5520 B)

CONTROL DE CALIDAD ANALITICA

ENSAYO	PRECISIÓN Desv. Est.	LIMITE DE DETECCIÓN	Analista (s)
pH	0.5%	-	B. Cadavid – D. Flórez
M.O., (mg/g)	-	2,0	B. Cadavid
G y A, (mg/g)	-	0,2	D. Flórez – J. Gallego

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

ESTACIÓN/LOCALIDAD	pH	M.O. (mg/g)	G y A (mg/g)
ST01 Estación 1	6,99	949,0	4,81
ST02 Estación 2	7,60	344,2	<LD
ST04 Estación 4	7,05	205,5	<LD
ST10 Estación 10	6,99	407,6	<LD
ST12 Estación 12	7,44	345,5	<LD
ST15 Estación 15	7,15	303,0	<LD
ST16 Estación 16	7,74	275,6	<LD
ST19 Estación 19	7,97	291,7	<LD

Fecha de iniciación de los ensayos	20-03-2013	Fecha de terminación de los ensayos	17-04-2013

Aprobó:

Karen Patricia Ibarra Gutiérrez (PQ- 3380)
Jefe de LABCAM (E)

Iván Darío Cuadrado Soto (PQ-3748)
Jefe de Calidad (E)

Fin del Informe

Los resultados de este informe solamente son válidos para las muestras ensayadas y no deben ser reproducidos parcial o totalmente sin autorización escrita de INVEMAR-CAM y el SOLICITANTE del análisis.

Anexo 7.5. Resultado de la correlación por rangos de Spearman entre los atributos comunitarios de la macroinfauna y las variables ambientales tomadas en el sedimento. En negrita valores significativos: probabilidades (en rojo)/coeficientes (en negrita).

	PH	G	AMG	AG	AM	AF	AMF	L-A	S	N	d	J'	H'(log2)	Biomasa
PH	1	0,4	0,13	0,09	0,27	0,04	0,02	0,67	0,27	0,73	0,09	0,53	**0,04**	0,11
G	-0,35	1	0,06	0,1	0,71	0,31	0,15	0,8	0,17	0,15	0,26	0,07	0,49	0,34
AMG	-0,59	0,71	1	0,01	0,13	0,71	0,28	0,38	0,08	0,07	0,06	**0,03**	0,28	0,15
AG	-0,63	0,62	0,95	1	0,07	0,53	0,17	0,49	0,15	0,06	0,1	**0,02**	0,26	0,1
AM	-0,44	0,14	0,57	0,69	1	0,95	0,31	0,26	0,9	0,38	0,61	0,15	0,8	0,57
AF	0,72	-0,38	-0,14	-0,24	-0,02	1	0,02	0,09	0,85	0,8	0,71	0,95	0,21	0,38
AMF	0,78	-0,55	-0,4	-0,52	-0,38	0,9	1	0,41	0,61	0,61	0,49	0,34	0,17	0,21
L-A	-0,18	-0,1	-0,33	-0,26	-0,43	-0,64	-0,31	1	0,26	0,15	0,31	0,26	0,75	0,53
S	0,44	-0,52	-0,67	-0,55	-0,05	0,07	0,19	0,43	1	0,06	0,01	0,19	0,04	0,05
N	0,14	-0,55	-0,69	-0,71	-0,33	-0,1	0,19	0,55	0,71	1	0,12	0,02	0,26	0,08
d	0,63	-0,43	-0,71	-0,62	-0,19	0,14	0,26	0,38	0,95	0,6	1	0,23	0,03	0,04
J'	-0,26	0,69	**0,83**	**0,88**	0,55	-0,02	-0,36	-0,43	-0,5	-0,88	-0,45	1	0,49	0,13
H'(log2)	**0,73**	-0,26	-0,4	-0,43	-0,1	0,48	0,52	0,12	0,76	0,43	0,83	-0,26	1	0,02
Biomasa	0,61	-0,36	-0,55	-0,62	-0,21	0,33	0,48	0,24	0,74	0,67	0,79	-0,57	0,9	1

PH: pH, G: gravas, AMG: arenas muy gruesas, AG: arenas gruesas, AM: arenas medias, AF: arenas finas, AMF: arenas muy finas, L-A: limos y arcillas, S: número de familias, N: abundancia, d: riqueza de Margalef, J': uniformidad de Pielo'u, H' (log_2): diversidad de Shannon-Weaner.

Anexos 7.6. Resultado de la correlación por rangos de Spearman entre los atributos comunitarios de la macroinfauna y las variables ambientales tomadas en aguas a nivel de fondo. En negrita valores significativos: probabilidades (en rojo)/coeficientes (en negrita).

	TEMP	COND	SAL	PH	OD	SATO	TURB	S	N	d	J'	H'(log2)	Biomasa
TEMP	1	0,38	0,65	0,04	0,1	0,43	0,05	0,53	0,66	0,57	0,28	0,8	0,57
COND	-0,36	1	0,0015	0,98	0,91	0,74	1	0,79	0,58	0,79	0,27	0,35	0,48
SAL	-0,19	0,91	1	0,59	0,56	0,33	0,61	0,81	0,24	0,93	0,2	0,52	0,69
PH	-0,72	0,01	-0,22	1	0,03	0,04	0,00012	0,82	0,98	0,56	0,56	0,17	0,2
OD	-0,62	0,05	-0,24	0,75	1	0,0029	0,12	0,33	0,43	0,69	0,91	0,82	0,73
SATO	-0,32	-0,14	-0,4	0,74	0,89	1	0,13	0,82	0,4	0,69	0,89	0,38	0,49
TURB	0,71	0	0,21	-0,96	-0,59	-0,58	1	0,61	0,71	0,47	0,38	0,16	0,16
S	-0,24	0,11	-0,1	-0,1	0,4	0,1	0,22	1	0,06	0,01	0,19	0,04	0,05
N	0,17	-0,23	-0,47	-0,01	0,32	0,35	0,16	0,71	1	0,12	0,02	0,26	0,08
d	-0,21	0,11	-0,04	-0,25	0,17	-0,17	0,3	0,95	0,6	1	0,23	0,03	0,04
J'	-0,4	0,44	0,51	0,25	0,05	-0,06	-0,36	-0,5	-0,88	-0,45	1	0,49	0,13
H'(log2)	0,1	0,38	0,27	-0,54	-0,1	-0,36	0,55	0,76	0,43	0,83	-0,26	1	0,02
Biomasa	0,21	0,3	0,17	-0,5	-0,14	-0,29	0,55	0,74	0,67	0,79	-0,57	0,9	1

TEMP: temperatura, COND: conductividad, SAL: salinidad, PH: pH, OD: oxígeno disuelto, SATO: saturación de oxígeno, TURB: turbiedad, S: número de familias, N: abundancia, d: riqueza de Margalef, J': uniformindad de Pielo'u, H' (log_2): diversidad de Shannon-Weaner.