



COLOMBIA
50% MAR



Corporación para el Desarrollo Sostenible del
Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina

**Contribución al conocimiento de la calidad del agua y
sedimentos, y la determinación de una metodología
para tasas de sedimentación en la cuenca el Cove**



Santa Marta, octubre de 2012.

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

Contribuir al conocimiento de la calidad del agua y sedimentos, y la determinación de una metodología para tasas de sedimentación en la cuenca el Cove

INFORME TÉCNICO

CUERPO DIRECTIVO

Director
Francisco A. Arias Isaza

Subdirector
Coordinador de investigaciones
Jesús Antonio Garay Tinoco

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

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

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 Correa

Coordinadora (E)
Programa de Geociencias Marinas (GEO)
Blanca Oliva Posada Posada

Coordinador
Coordinación de Servicios Científicos
Carlos Augusto Pinilla González

Preparado por:

Programa Calidad Ambiental Marina

Juan Pablo Parra

Marko Tosic

Santa Marta, D.T.C.H., octubre de 2012

Cítese como:

Imagen portada: Fotografía manglar el Cove

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. ALCANCE DEL ESTUDIO	5
2.1. OBJETIVO GENERAL	5
2.2. Objetivos específicos por componentes.....	5
3. ArEa DE ESTUDIO	7
3.1. Generalidades.....	7
3.2. Diseño de muestreo	9
3.3. Descripción de las estaciones de muestreo.....	10
4. Calidad de aguas y sedimentos	16
4.1. Métodos.....	16
4.1.1. Muestreo	16
4.1.2. Fase de Laboratorio	16
4.1.3. Análisis de información del muestreo de aguas y sedimentos.....	19
5. Resultados obtenidos.....	20
5.1. Calidad de aguas y de sedimentos.....	20
5.1.1. Calidad de Aguas.....	20
5.1.2. Calidad de Sedimentos	28
5.2. Sedimentación	35
5.2.1. Muestreo de testigos sedimentarios.....	36
5.3. Criterio de evaluación de testigos sedimentarios.....	38
6. CONCLUSIONES GENERALES Y CONSIDERACIONES FINALES.....	41
7. LITERATURA CITADA.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1 Vista general de la isla de San Andrés y zonificación de las principales unidades ecológicas en el área de estudio (Mapa elaborado por LABSIS de INVEMAR).	7
Figura 3-2 Ubicación de las estaciones de muestreo, 1. "Laguna" Duppy Gully, 2. Canal del arroyo El Cove, 3. Rodal de Manglar, 4. Bahía El Cove Frente al manglar (<i>tomada de: Google Earth</i>).....	9
Figura 3-3 Estación 01 "Laguna" Duppy Gully en la cuenca el Cove San Andrés Islas. (A) muestreo marzo de 2012; (B) muestreo agosto de 2012.	11
Figura 3-4 Estación 02, canal arroyo El Cove que vierte hacia el costado norte del rodal de manglar en la cuenca el Cove San Andrés Islas. (A) muestreo marzo de 2012 (B) inspección lluvias octubre 2011, (C) muestreo agosto de 2012.	12
Figura 3-5 Estación 03 Manglar, rodal de manglar en la cuenca el Cove San Andrés Islas, se evidencia que la especie predominante es el <i>Rizophora mangle</i> y la ubicación de porquerizas dentro de la zona de manglar, (A) muestreo marzo de 2012 ; (B) muestreo agostos de 2012; (C) inspección lluvias octubre de 2011.....	14
Figura 3-6 Estación 04 (A) y 05 (B) hacia dentro y fuera bahía el Cove respectivamente.	15
Figura 3-7 (A) Estación 06 vertimiento Proactiva y (B) estación 07 pozo numero 25.....	15
Figura 4-1 Unidad de laboratorios del INVEMAR (LABCAM) y personal especializado realizando los análisis de las muestras de aguas y sedimentos colectadas en las estaciones de muestreo ubicadas en la cuenca El Cove.....	17
Figura 5-1 (A) Equipo de muestreo corer Uwitec; (B) corte de testigo sedimentario.	37
Figura 5-2 Perfiles de PPI de sedimentos tomados en cada uno de los muestreos (A) marzo y (B) agosto de 2012, en la estación 01 Cuenca el Cove en san Andrés Islas.....	39
Figura 5-3 Perfiles de PPI de sedimentos tomados en cada uno de los muestreos (A) marzo y (B) agosto de 2012, en la estación 03 manglar en la cuenca El Cove en san Andrés Islas.	40
Figura 5-4 Perfiles de PPI de sedimentos tomados en cada uno de los muestreos (A) marzo y (B) agosto de 2012, en la estación 04 adentro bahía El Cove y (C) estación 05 centro bahía El Cove tomado en agosto de 2012, en san Andrés Islas.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1	Coordenadas de las estaciones monitoreadas en los muestreos de marzo y agosto de 2012, en la cuenca El Cove, para determinación de parámetros fisicoquímicos en aguas y sedimentos.	10
Tabla 4-1	Parámetros medidos, estación y métodos de análisis en aguas y sedimentos de las estaciones ubicadas en la cuenca el Cove.	17
Tabla 5-1	Resultados de parámetros <i>in situ</i> medidos en las estaciones de muestreo en bahía el Cove durante los monitoreos de marzo (mar) y agosto (ago) de 2012.....	20
Tabla 5-2	Resultados de parámetros fisicoquímicos medidos en las estaciones de muestreo en bahía el Cove, los monitoreos de marzo (mar) y agosto (ago) de 2012.....	21
Tabla 5-3	Resultados de nutrientes medidos en las estaciones de muestreo en bahía el Cove, durante el monitoreo de marzo de 2012.	23
Tabla 5-4	Límites de detección de plaguicidas organoclorados y organofosforados analizados en aguas de las estaciones de muestreo en bahía el Cove.	25
Tabla 5-5	Resultados de metales traza en aguas estaciones monitoreadas en cuenca el Cove, San Andrés Islas, en marzo (mar) y agosto (ago) de 2012.	27
Tabla 5-6	Resultados de metales mayoritarios en aguas estaciones monitoreadas en cuenca El Cove, San Andrés Islas, en marzo (mar) y agosto (ago) de 2012.	28
Tabla 5-7	Textura de sedimentos en las estaciones monitoreadas en marzo y agosto de 2012, ubicadas en la cuenca El Cove en San Andrés Islas.....	29
Tabla 5-8	Contenido de materia orgánica oxidable en sedimentos en las estaciones monitoreadas en marzo y agosto de 2012, ubicadas en la cuenca El Cove en San Andrés Islas.	29
Tabla 5-9	Concentraciones de materia orgánica oxidable (MO oxidable) en diversas zonas costeras.....	30
Tabla 5-10	pH, salinidad y conductividad en sedimentos en las estaciones monitoreadas en marzo y agosto de 2012, ubicadas en la cuenca El Cove en San Andrés Islas.....	31
Tabla 5-11	Resultados de metales en sedimento superficial en las estaciones monitoreadas en monitoreadas en marzo y agosto de 2012, ubicadas en la cuenca El Cove en San Andrés Islas vs niveles PEL de la NOAA.	32
Tabla 5-12	Resultados de elementos mayoritarios en sedimento superficial en las estaciones monitoreadas en monitoreadas en marzo y agosto de 2012, ubicadas en la cuenca El Cove en San Andrés Islas vs niveles PEL de la NOAA.	33
Tabla 5-13	Resultados de perfil de plaguicidas organoclorados, organofosforados y triazinas analizados en sedimentos de las estaciones de muestreo en bahía el Cove durante el monitoreo de marzo de 2012.	33
Tabla 5-14	Ubicación de puntos de muestreo para análisis de perfil sedimentario, en la cuenca El Cove en San Andrés Islas, durante los muestreos de marzo y agosto de 2012.	36

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2000, la UNESCO otorgó al Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, el título de Reserva de Biósfera Seaflower, lo cual lo convirtió en la reserva de mayor área marina en el mundo y su inclusión en el programa MAB le permite al departamento insular colombiano promover un modelo de desarrollo sostenible mediante el cual se puedan desarrollar actividades comerciales e industriales que apunten hacia el progreso y al mismo tiempo a conservar su frágil ecosistema (INVEMAR, 2006).

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, tiene una población proyectada de 77084 habitantes, y la principal actividad industrial en la isla es el turismo, y asociada a esta economía coexisten otras actividades como la navegación y el buceo. La disposición final de residuos sólidos y los vertimientos de aguas servidas son los factores que generan el mayor riesgo de deterioro ambiental de sus ecosistemas (INVEMAR, 2006).

En la Isla de San Andrés, el 78 % de la cuenca de El Cove fue categorizada como zona nuclear, la cual ha recibido desde el momento de declaratoria de reserva un marcado interés y prioridad en la gestión de la Corporación para poder llevar a cabo las acciones propias tanto dadas por la categoría de zona núcleo, como por el Decreto 1729 de 2002, que define el proceso para el ordenamiento de cuencas (Plan de ordenamiento de la cuenca de El Cove, 2005-2014). En los estudios para realizar el Plan de ordenamiento, ésta cuenca se describe como la más importante, localizada en la parte central con una extensión de 430 hectáreas, donde se encuentran las mayores reservas de agua dulce de la Isla. La cuenca drena en época de lluvias en el arroyo de El Cove, el cual al igual que todos los de la zona es intermitente y en época de lluvias prolongadas puede alcanzar descargas hasta un metro cúbico por segundo (INVEMAR, 2006). Entre los principales problemas que están generando impactos ambientales sobre la cuenca se describen los centros poblados a lo largo de los corredores viales, que no poseen uso adecuado de residuos sólidos ni líquidos, lo cual constituye un riesgo de contaminación a las aguas subterráneas por infiltración y las aguas superficiales por escorrentía. Otras actividades como la agricultura tradicional, que utilizan tala y quema, la ganadería y la porcicultura, fueron identificadas también como actividades que contribuyen al deterioro de la cuenca, dadas las condiciones de baja tecnología y responsabilidad ambiental con la que se desarrollan.

En la parte baja de la cuenca se encuentra un pequeño rodal de manglar de 1,04 ha, que recibe los aportes estacionales del arroyo de El Cove provenientes de toda la cuenca. Este manglar permanece inundado por acción de las corrientes de marea y estacionalmente recibe aportes de aguas dulces de un arroyo (ie. gully) proveniente de la cuenca del Cove (López-Rodríguez et al., 2009). Es un bosque homogéneo, dominado por la especie *R. mangle* con alturas que no superan los 10 m y sin áreas de regeneración natural. Uno de los principales problemas que se ha identificado en el área es la alta sedimentación, además de que recibe directamente vertimientos clandestinos de aguas residuales (López-Rodríguez et al., 2009).

Debido a todos los factores que afectan ambientalmente la cuenca y al rodal de El Cove, el conocimiento de la calidad del agua y estudios sobre la sedimentación, se hacen necesarios como herramientas para la planificación y manejo específico entorno a sus problemáticas y potencialidades, con el fin de conciliar la conservación con el uso dado a los recursos naturales, procurando su desarrollo sostenible.

2. ALCANCE DEL ESTUDIO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Contribuir con el conocimiento de la calidad del agua y sedimentos, y en la determinación de una metodología apropiada para la evaluación de las tasas de sedimentación en la cuenca El Cove.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS POR COMPONENTES

Sedimentación

- Identificar y priorizar sitios de interés para realizar análisis de tasas de sedimentación en la cuenca El Cove
- Determinar la viabilidad del análisis de tasas de sedimentación y fechado por la técnica de radionúclidos en la cuenca El Cove.
- Generar una propuesta metodológica para la determinación de la tasa de sedimentación de la cuenca El Cove

Calidad de aguas y sedimentos

- Caracterizar la calidad de aguas y sedimentos en la cuenca del El Cove.

3. ÁREA DE ESTUDIO



Figura 3-1 Vista general de la isla de San Andrés y zonificación de las principales unidades ecológicas en el área de estudio (Mapa elaborado por LABSIS de INVEMAR).

3.1. GENERALIDADES

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina está localizado en el occidente del mar Caribe a 12°32'N y 81°43'W a 800 km de la costa continental de Colombia (Figura 3-1). El Archipiélago tiene un área que cubre alrededor de 350.000 km², equivalente al 10% del área del mar Caribe, de los cuales tan sólo 52,5 km² corresponden a las zonas insulares emergidas, o el equivalente a las superficies terrestres de las tres islas principales: San Andrés, Old Providence y Santa Catalina. Hacen parte de su jurisdicción los islotes Bolívar (South South-East Cay), Albuquerque (South South-West), Cotton Haynes; los cayos Grunt, Johnny, Rose,

Roncador, Serrana, Serranilla, Quitasueño, Rocky, Crab, Santander, Basalt y Palm, Bottom House, Baily, Three Brothers, y los bancos Alicia y Bajo Nuevo. El área del mar territorial es de 981442 km² (López- Rodríguez et al., 2009).

Por su localización en la zona de convergencia intertropical (ZCIT), el archipiélago se caracteriza por las altas temperaturas y la influencia de los vientos Alisios del NE. Las temperaturas máximas medias se presentan en los meses de mayo a junio y las mínimas medias en febrero, teniendo como temperatura media anual 26,7 °C. Los meses menos cálidos son diciembre, enero y febrero, por la influencia de los vientos alisios del noreste (INVEMAR, 2003).

La influencia de los vientos alisios, que soplan del noreste, determinan en parte las épocas lluviosas que comienzan en el mes de mayo, y alcanzan su máximo en los meses de octubre y noviembre prolongándose hasta diciembre; durante estos meses se registra el 80 % de la lluvia anual, que en promedio es de 1.912 mm/año. El comportamiento de la precipitación a lo largo del ciclo hidrológico es unimodal (López- Rodríguez et al., 2009). Las altas temperaturas y los vientos se conjugan en un clima cálido semi - húmedo. La estación seca inicia en enero, siendo mayor en los meses de febrero, marzo y abril, mayo es una época de transición hacia el periodo húmedo (López-R Rodríguez et al., 2009). Durante el año, el 84 % del tiempo el viento sopla con una dirección E - NE, propia de los vientos Alisios que vienen del Hemisferio Norte; un 9% viene del norte, 3 % son vientos del S - E y el resto tienen otras direcciones que se presentan con más frecuencia asociadas a las lluvias. La velocidad media de los vientos es siempre inferior a 12 m/s y muestra un máximo de diciembre a marzo, un máximo relativo en julio y agosto, y un mínimo entre septiembre y noviembre, Las velocidades en diciembre – enero, son en promedio de 8 m/s y en septiembre – octubre bajan hasta 3 m/s (López- Rodríguez et al., 2009).

Las escorrentías terrestres juegan un papel importante en la calidad de las aguas marinas, sin embargo, en la isla de San Andrés no existen cursos permanentes de agua, sólo arroyos temporales asociados a la época de lluvias (Cove, 1982; IGAC, 1992 En: INVEMAR, 2003).

La isla sólo posee red de acueducto en la cabecera municipal (North End), donde se encuentra la zona residencial, comercial y hotelera de mayor densidad (Barrera et al., 2001). Por su parte el alcantarillado representa aproximadamente un 12 % de cobertura (alcantarillado; DANE, 2009). Anteriormente, las aguas residuales eran descargadas directamente sobre la zona costera (CONPES, 2005). En el 2008 la disposición de las aguas se mejoró con la puesta en operación del emisario submarino al noroccidente de la isla.

Por su naturaleza de isla, los volúmenes de residuos sólidos generados son altos, alrededor de 90 ton/día (entre San Andrés y Providencia), en su mayoría están compuestos por artículos desechables, no retornables, baterías de automóviles y enlatados; cifra que aumenta en un 33 % en temporadas altas de turismo. Estos residuos son recogidos por el servicio de aseo y dispuestos fuera de la zona del estudio en los botaderos de Magic Garden, un relleno sanitario sin compactación o separación (Garay et al., 2002; Superservicios, 2008) con un sistema de recirculación para 50% de sus lixiviados, mientras que la otra 50% desemboca en un caño que drena con bajo caudal a un humedal (Carvajalino et al. 2011).

Desde el punto de vista hídrico, la cuenca El Cove, con un área espacial de 2,8 km², representa el sector más importante de la isla por contener el mayor lente de agua dulce subterránea y por

ser la zona de mayor recarga del acuífero. La recarga está representada, principalmente, por el agua lluvia; si se asume que la infiltración en toda la cuenca es uniforme y que ésta es del orden de 480 mm/año, la recarga de las aguas subterráneas sería de 60 litros/segundo. Se considera que en la actualidad el caudal seguro de explotación de la cuenca El Cove es sólo de 40 litros /seg (INVEMAR, 2003)

3.2. DISEÑO DE MUESTREO

El monitoreo contempló el muestreo de aguas y sedimentos superficiales en cuatro estaciones en la cuenca El Cove, sugeridas por funcionarios de Coralina (Figura 3-1) una estación ubicada en "Laguna" Duppy Gully, la segunda en el canal del arroyo El Cove antes del rodal de manglar, la tercera dentro del rodal de manglar, y una cuarta estación en la bahía El Cove frente al manglar (Tabla 3-1). A solicitud de la corporación durante la primera salida se tomaron parámetros in situ y se analizaron metales pesados en muestras de aguas en tres puntos adicionales, Estación 05 Bahía Fuera Cove, Estación 06 vertimiento Proactiva y Estación 07 Pozo25 (Tabla 3-1). El presente informe final presenta los resultados obtenidos durante el primer muestreo realizado entre los días 20 y 23 de marzo de 2012 y el segundo muestreo entre los días 14 y 15 de agosto de 2012.



Figura 3-2 Ubicación de las estaciones de muestreo, 1. "Laguna" Duppy Gully, 2. Canal del arroyo El Cove, 3. Rodal de Manglar, 4. Bahía El Cove Frente al manglar (*tomada de: Google Earth*).

Tabla 3-1 Coordenadas de las estaciones monitoreadas en los muestreos de marzo y agosto de 2012, en la cuenca El Cove, para determinación de parámetros fisicoquímicos en aguas y sedimentos.

Estación	Latitud	Longitud	Muestras Tomadas
Estación 01 "Laguna" Duppy Gully	12,53972	-81,7211	Aguas y sedimento
Estación 02 Canal salida	12,52701	-81,7269	Aguas* y Sedimento
Estación 03 Manglar	12,52581	-81,7272	Aguas y sedimento
Estación 04 Bahía adentro Cove	12,53972	-81,7211	Aguas y sedimento
Estación 05 Bahía Fuera Cove**	12,52701	-81,7269	Aguas y sedimento*
Estación 06 V. Proactiva**	12.5389	-81.7205	Aguas y sedimento
Estación 07 Pozo25**	12,53604	-81,7179	Agua subterránea

*Monitoreado solamente en el muestreo de agosto

** Estaciones incluidas a solicitud de la corporación

3.3. DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

Estación 01 "Laguna" Duppy Gully: Estación ubicada en la "Laguna" "Duppy Gully", con una profundidad aproximada de 1,0 metro (Figura 3-3). La "Laguna" Duppy Gully se encuentra en el centro de la cuenca El Cove, con una elevación de 40 m, unos 1,6 km de la costa, permitiendo esta estación una representación de la influencia de la cuenca arriba sobre los aguas del área de estudio. La "Laguna" está expuesta por la poca cobertura a la radiación solar directa, y que en combinación con la baja profundidad puede explicar el color verde del agua que se puede observar en las imágenes Figura 3-3. En el momento de los muestreos no se evidenció una entrada de agua por escorrentía o arroyo, por lo cual se considera que el agua en esta "Laguna" proviene de aguas subterráneas y del aporte de las lluvias. La falta de influencia de aguas superficiales en el día de muestreo se corrobora por los resultados de los parámetros de calidad fisicoquímica estuvieron dentro del rango de calidad definido por el Decreto 1594 de 1984, Art. 45; (Minsalud, 1984). El substrato de la "Laguna" se compone por lodo comprimido sobre un fondo rocoso, resultando que se obtuvieron testigos cortos de 18 y 25 cm aproximadamente hasta que se tocó el fondo rocoso.



Figura 3-3 Estación 01 "Laguna" Duppy Gully en la cuenca el Cove San Andrés Islas. (A) muestreo marzo de 2012; (B) muestreo agosto de 2012.

Estación 02 Canal salida arroyo el Cove: Está ubicada en el arroyo principal de la zona costera de El Cove, unos 5 m arriba de la carretera costera (Figura 3-4). Este arroyo representa el drenaje principal de la cuenca El Cove, donde toda la escorrentía del área interior de la cuenca confluye durante los eventos de lluvia. El arroyo tiene dimensiones aproximadas de 5 m de ancho y 1 m de profundidad. Debajo de la carretera el arroyo pasa por un Box Culvert y luego continúa unos metros antes de descargar al costado norte del rodal de manglar.

En este punto de muestreo no se encontró agua durante el monitoreo de marzo (Figura 3-4, A), sin embargo se aprecia las evidencias que en la época de lluvias por allí pasa un arroyo estacional con un alto volumen de agua (Figura 3-4, B), este arroyo vierte directamente al rodal de manglar de la cuenca el Cove. El muestreo realizado en agosto de 2012, fue en una temporada lluviosa donde se observó la formación del arroyo y se tomaron muestras de aguas (Figura 3-4, C).



Figura 3-4 Estación 02, canal arroyo El Cove que vierte hacia el costado norte del rodal de manglar en la cuenca el Cove San Andrés Islas. (A) muestreo marzo de 2012 (B) inspección lluvias octubre 2011, (C) muestreo agosto de 2012.

Estación 03 Manglar: Estación ubicada en el rodal de manglar, a unos 60 m al norte de la carretera y unos 35 m al este de la bahía de El Cove. El área de la estación tiene poca densidad de manglar permitiendo su acceso, la especie que prolifera es el *Rhizophora Mangle* Figura 3-5. Durante el muestreo de marzo del 2012, el sustrato se encontró relativamente seco y comprimido, debido a la falta de lluvias en este periodo y la exposición a la radiación solar por la poca cobertura. Se evidencia manglar de poca altura, sin regeneración natural y prácticamente no se evidencia un flujo de agua dentro del manglar, sin embargo, el agua que se encontró tiene salinidad de cero y el menor valor de oxígeno de las estaciones muestreadas (lo cual indicaría la entrada de agua dulce que según la bibliografía se debe a vertimientos clandestinos de aguas residuales, López-Rodríguez et al., 2009), al costado sur se ubican viviendas con porquerizas que vierten residuos hacia el manglar (Figura 3-5 A, B y C).





Figura 3-5 Estación 03 Manglar, rodal de manglar en la cuenca el Cove San Andrés Islas, se evidencia que la especie predominante es el *Rizophora mangle* y la ubicación de porquerizas dentro de la zona de manglar, (A) muestreo marzo de 2012 ; (B) muestreo agosto de 2012; (C) inspección lluvias octubre de 2011.

El muestreo de agosto de 2012 se realizó inmediatamente después de una fuerte lluvia por lo que se encontró inundado el rodal de manglar, sin embargo el sustrato estaba bastante compacto que demuestra un periodo seco largo, sin embargo el agua en el manglar presentaba coloración y olor a aguas residuales domésticas, se evidenció la construcción de una porqueriza en la zona sur del rodal de manglar.

Estación 04 y 05 Bahía el Cove: En la bahía el Cove se realizan diversas actividades que pueden afectar la calidad de sus aguas como son: la ubicación de viviendas a los alrededores con porquerizas, ubicación de embarcaciones de pescadores y la entrada de aguas del canal temporal el Cove. Al interior de la bahía se encuentra una zona de manglar y viviendas de pobladores de la zona y un canal que drena de esta zona.

La estación 04 Bahía el Cove Dentro se encuentra unos 50 m del canal que drena de la zona manglar (Figura 3-6, A), mientras que la estación 05 Bahía fuera Cove se encuentra unos 100 m del canal que drena de la zona manglar. Ambas estaciones están en la mitad del ancho de la bahía (ancho aproximado de 100 m) y tienen profundidades de aproximadamente 1,5 m. El sustrato que se encuentra en la estación 04 se compone por una mezcla de lodo y arena, con cobertura de pastos.

En las áreas más alejadas de la bahía, el fondo está constituido principalmente de rocas coralinas, resultando que al intentar tomar testigos de sedimentario se evidenció que el fondo no es lo suficientemente permeable para lograrlo (Figura 3-6, B).

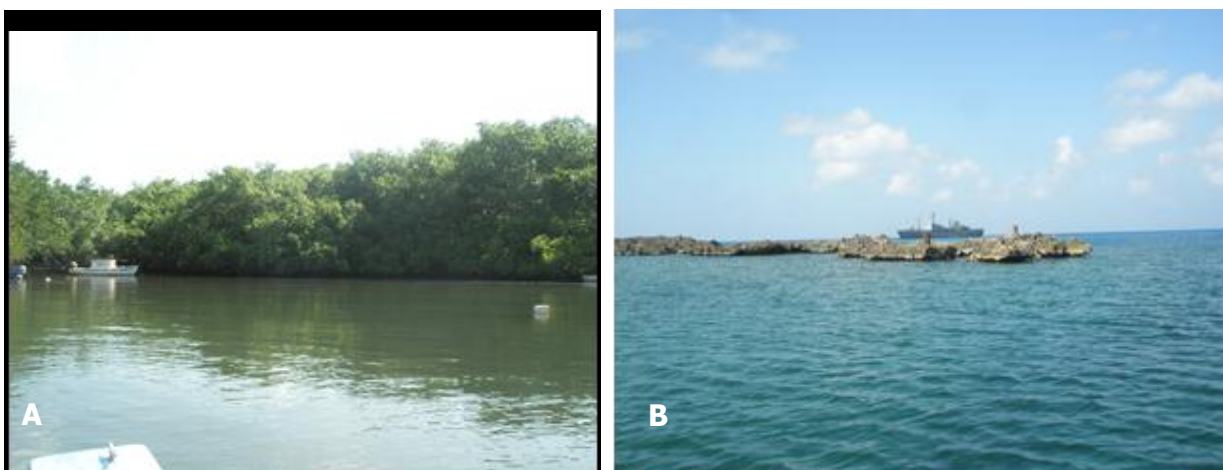


Figura 3-6 Estación 04 (A) y 05 (B) hacia dentro y fuera bahía el Cove respectivamente.

Estación 06 vertimiento Proactiva y estación 07 pozo numero 25: La estación 06 se encuentra en un arroyo donde se encuentra una descarga de aguas del proceso de la planta de agua potable de la empresa Proactiva. Este arroyo está ubicado cerca la estación 01 “Laguna” Duppy Gully y drena hacia el gully principal de la cuenca, sin embargo, en el momento de muestreo en marzo, el agua del arroyo se encuentra relativamente estancada (Figura 3-7, A). Durante el muestreo del mes de agosto, por las lluvias este punto se presentaba como un pequeño arroyo.

La estación 07 corresponde al pozo de extracción de agua subterránea número 25. Se encuentra en la cuenca arriba en una elevación de aproximadamente 30 m. El accede el agua del pozo a través de un válvula del tubo de extracción que sube el agua subterránea hacia del superficie de la tierra (Figura 3-7, B).



Figura 3-7 (A) Estación 06 vertimiento Proactiva y (B) estación 07 pozo numero 25.

4. CALIDAD DE AGUAS Y SEDIMENTOS

4.1. MÉTODOS

4.1.1. *Muestreo*

Las muestras de aguas y sedimentos fueron tomadas por personal de la Unidad de Laboratorios (LABCAM) del INVEMAR, pues los protocolos de certificación de laboratorios, las cadenas de custodia y toda la documentación que soporta la idoneidad y adecuado manejo de las mismas, dependen de este hecho. El muestreo se realizó con el acompañamiento de personal de CORALINA.

Durante el muestreo del mes de marzo de 2012 en las estaciones 02 (canal el Cove) no se encontró agua por lo tanto no se midieron los parámetros *in situ* temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno y se recolectaron muestras de agua para los análisis de color, turbidez, sólidos suspendidos totales, nutrientes, metales pesados y plaguicidas como se muestra en la Tabla 4-1, mientras en el muestreo del mes de agosto se encontró agua en todas las estaciones y adicionalmente por solicitud de la corporación se realizó el análisis de plaguicidas en la estación 07. En las cuatro estaciones determinadas en la propuesta inicial se colectaron muestras de sedimento superficial para analizarles el contenido de materia orgánica, metales pesados y plaguicidas organoclorados, organofosforados y triazinas (Tabla 4-1). Durante el muestreo de marzo en las estaciones 01 "Laguna" Gully, 03 manglar y 04 en la bahía El Cove se tomaron testigos sedimentarios para el análisis de pérdidas por ignición (PPI), durante el muestreo de agosto se tomaron testigos sedimentarios además en la estación 05 en la bahía El Cove.

Después de obtenidas las muestras, éstas se preservaron según el tipo de análisis y se refrigeraron para ser transportadas hasta el laboratorio de CORALINA donde se realizó el procesamiento de los parámetros que se debían realizar inmediatamente como filtración para SST, extracciones de plaguicidas y corte de testigos sedimentarios. Con respecto al análisis de sedimentos, una vez recibidas las muestras en el laboratorio, se congelaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta el momento del análisis.

4.1.2. *Fase de Laboratorio*

Las muestras colectadas fueron procesadas en la unidad de laboratorios del INVEMAR (LABCAM, Figura 4-1) que se encuentra acreditada por el IDEAM bajo la norma ISO 17025. Las variables monitoreadas y los métodos aplicados en el monitoreo de aguas marinas y sedimentos siguieron los estándares internacionales (Tabla 4-1) y requisitos legales del monitoreo de este tipo de aguas (Strickland y Parsons, 1972, Standard Methods APHA *et al.*, 2005 y Garay *et al.*, 2003).



Figura 4-1 Unidad de laboratorios del INVEMAR (LABCAM) y personal especializado realizando los análisis de las muestras de aguas y sedimentos colectadas en las estaciones de muestreo ubicadas en la cuenca El Cove.

Tabla 4-1 Parámetros medidos, estación y métodos de análisis en aguas y sedimentos de las estaciones ubicadas en la cuenca el Cove.

Matriz	Parámetro	Método de análisis
Aguas	Temperatura	Medición electrométrica con termocupla acoplada a sonda portátil
	Oxígeno disuelto	Medición en campo con electrodo de membrana WTW-OXI 330 (Standard Methods N° 4500-O G, APHA <i>et al.</i> , 2005).
	pH	Medición electrométrica con electrodo combinado a sonda portátil WTW pH-315i (Standard Methods N° 4500-H, APHA <i>et al.</i> , 2005).
	Salinidad	Medición electrométrica acoplado a sonda WTW –3210 (Standard Methods 2510 –B, APHA, <i>et al.</i> , 2005).
	Turbidez	Medición Nefelométrica con turbidímetro HACH (Standard Methods N° 2130-B)
	Color	Método fotométrico con colorímetro digital (Standard Methods 2120-B, APHA <i>et al.</i> , 2005).
	Materia orgánica oxidable	Digestión con $KMnO_4$ en medio básico, de acuerdo al manual de técnicas del INVEMAR (Garay <i>et al.</i> , 2003)

Matriz	Parámetro	Método de análisis
	Sólidos Suspendidos Totales	Método gravimétrico, secado 103-105°C (Standard Methods N° 2540- D, APHA <i>et al.</i> , 2005).
	Nitrógeno amoniacal	Método colorimétrico del azul de indofenol (Garay <i>et al.</i> , 2003).
	Nitratos	Método colorimétrico basado en la reducción con cadmio y reacción por sulfanilamida (Garay <i>et al.</i> , 2003).
	Nitritos	Método colorimétrico de la sulfanilamida (Garay <i>et al.</i> , 2003).
	Fosfatos	Método colorimétrico del ácido ascórbico (Standard Methods N° 4500-P E, APHA <i>et al.</i> , 2005).
	Plaguicidas Organofosforados	Extracción líquido – líquido con Diclorometano fraccionamiento en columna de florisil y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM – (PNUMA,2008)
	Plaguicidas Organoclorados	Extracción líquido – líquido con Diclorometano fraccionamiento en columna de florisil y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM – (PNUMA,2008)
	Níquel (Ni)	
	Cromo (Cr)	Metales Disueltos en aguas: Filtración y Tratamiento con APDC y Metil isobutil cetona para extracción selectiva de los metales, reextracción en fase ácida con HNO ₃ 1N y posterior cuantificación mediante espectrometría de Absorción Atómica con llama, en un equipo Shimadzu, AA 6300 (Standard Methods N° 3111-C, APHA <i>et al.</i> , 2005).
	Cobre (Cu)	
	Cadmio (Cd)	
	Zinc (Zn)	
	Plomo (Pb)	
	Hierro (Fe)	
	Magnesio (Mg)	Metales totales en aguas continentales: Dilución y cuantificación mediante espectrometría de Absorción Atómica con llama, en un equipo Shimadzu, AA 6300 (Standard Methods N° 3111-B, APHA <i>et al.</i> , 2005).
	Calcio (Ca)	
	Potasio (K)	
	Perdidas por ignición	Método gravimétrico, calcinación a 550°C (IGAC, 1990)
	Materia Orgánica Oxidable	Digestión con KMnO ₄ en medio básico, de acuerdo al manual de técnicas del INVEMAR (Garay <i>et al.</i> , 2003)
	Salinidad, conductividad	Medición electrométrica con electrodo combinado a sonda portátil WTW pH-315i (Standard Methods N° 4500-H, APHA <i>et al.</i> , 2005).
Sedimento	pH,	Medición electrométrica acoplado a sonda WTW –3210 (Standard Methods 2510 –B, APHA, <i>et al.</i> , 2005).
	Granulometría	Método gravimétrico (dispersión en hexametáfosfato de sodio y cribado en diferentes tamices; Dewis y Freitas (1984)
	Plaguicidas Organofosforados y Triazinas	Extracción con Diclorometano- acetona fraccionamiento en columna de florisil y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM – (PNUMA,2008)

Matriz	Parámetro	Método de análisis
	Plaguicidas Organoclorados	Extracción Diclorometano- acetona fraccionamiento en columna de florisil y lectura cromatográfica GC-MSD Modo SIM – (PNUMA,2008)
	Cadmio (Cd)	
	Cobre (Cu)	
	Cromo (Cr)	
	Zinc (Zn)	Digestión total por el método EPA- 3050B y cuantificación por espectrometría AA (Standard Methods No. 3500 APHA <i>et al.</i> , 2005)
	Hierro (Fe)	
	Níquel (Ni)	
	Plomo (Pb)	

Desde el punto de vista técnico, los controles de calidad de laboratorio incluyeron análisis de blancos de campo, blancos de proceso, curvas de calibración, cálculos de límites de detección, estimación de porcentajes de error y réplicas del 10 % de las muestras analizadas, además de la calibración de los equipos utilizados en campo y laboratorio.

4.1.3. Análisis de información del muestreo de aguas y sedimentos

La evaluación de la calidad del agua se basó en los lineamientos del decreto 1594 de 1984 (Minsalud, 1984), para aquellos parámetros de calidad que tienen valores definidos.

En el caso de metales y plaguicidas en aguas y sedimentos, debido a la falta de normatividad nacional que determine los niveles umbral de riesgo, se usaron los valores de referencia propuestos por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA; Buchman, 2008).

5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1. CALIDAD DE AGUAS Y DE SEDIMENTOS

5.1.1. Calidad de Aguas

En el **iError! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las tablas de resultados de las variables fisicoquímicas y contaminantes medidas en las muestras de agua colectadas durante los muestreos realizados marzo y agosto de 2012 en la grilla de estaciones ubicadas en la zona de la cuenca El Cove. En la Tabla 5-1 se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos medidos *in situ* en el agua, durante los dos muestreos en la zona de estudio.

Tabla 5-1 Resultados de parámetros *in situ* medidos en las estaciones de muestreo en bahía el Cove durante los monitoreos de marzo (mar) y agosto (ago) de 2012.

Estación	Temp (°C)		Cond. mS/cm		Sal		pH		O ₂ Dis (mg/L)		Sat. O ₂ (%)	
	mar	ago	mar	ago	mar	ago	mar	ago	mar	ago	mar	ago
Estación 01 "Laguna" Duppy Gully	29,1	28,2	2,4	0,3	0,0	0,1	8,06	7,62	5,38	4,41	78,0	69,0
Estación 02 Canal el Cove	ND	24,9	ND	0,2	ND	0,1	ND	7,78	ND	3,55	ND	55,8
Estación 03 Manglar	33,3	26,7	2,2	5,9	0,0	3,2	8,38	7,54	4,29	3,08	6,1	46,8
Estación 04 Bahía adentro Cove	28,5	28,4	43,7	51,7	30,3	33,8	8,19	8,02	5,34	4,26	76,0	60,2
Estación 05 Bahía Fuera Cove	28,8	28,5	55,9	56,0	34,6	34,4	8,36	8,08	5,40	5,26	78,0	83,9
Estación 06 V. Proactiva	27,5	26,5	5,0	0,3	0,2	0,1	7,82	7,86	6,32	5,05	78,0	77,0
Estación 07 Pozo 25	26,5	27,1	2,3	1,1	0,0	0,5	7,80	6,79	6,95	4,45	82,0	62,5

ND: No se determino por ausencia de agua al momento del muestreo

Los cambios de salinidad en la superficie del agua se deben principalmente a los procesos de mezcla, evaporación y precipitación. En la zona de estudio la salinidad a nivel superficial estuvo en el intervalo de 0,0 a 32,6 y 0,1 a 34,4 unidades de salinidad en los muestreos de marzo y agosto respectivamente. Las estaciones 01 "Laguna" Duppy Gully, 02 Canal el Cove, 06 vertimiento proactiva y 07 pozo 25, presentaron salinidad de 0,0 a 0,5 por lo cual se trata de aguas dulces provenientes de fuentes subterráneas en el caso de las estaciones 01 y 07, fuentes superficiales (escorrentía) en el caso de la estación 02, mientras la estación 06 vertimiento proactiva se debe analizar la fuente de estas aguas, ya que en el momento del muestreo no se habían presentado lluvias en la zona para inferir que se trata de escorrentías. La estación 03 manglar en el muestreo de agosto mostro salinidad de 3,2 que se puede atribuir al lavado de los suelos del manglar. La salinidad en la bahía presento valores entre 30,3 y 34,6 propias de área de influencia marina.

La temperatura es una variable que marca en ciertos casos el desempeño biológico de las especies; cuando se presentan cambios abruptos en los valores normales, algunos organismos se ven gravemente afectados (Odum, 1972; Kjerfve et al., 1981). La variación de los valores de la temperatura entre estaciones se debe a la hora de tomada la muestra dada por la radiación solar del momento del muestreo. Siendo el valor más alto en la estación 03 manglar debida a la poca profundidad del agua en el punto de muestreo (Figura 3-5) y a que se trataba de agua estancada esto se comprueba con la baja temperatura medida en el muestreo de agosto, mientras la menor temperatura se determinó en la estación 07 pozo 25 que se debe a que es agua subterránea transportada a través de tubería protegida de la luz solar. En general las temperaturas en el muestreo de agosto fueron menores a la medidas en marzo lo que se atribuye a que los días del muestreo habían llovias.

El valor de pH normal para aguas marinas varía entre 7,8 a 8,3 debido a la presencia de carbonatos alcalinos y alcalinotérreos (sodio, potasio, calcio, etc.) y la absorción de CO₂ (Dietrich *et al.*, 1980; Kiely, 1999). Como se muestra en la Tabla 5-1 Resultados de parámetros *in situ* medidos en las estaciones de muestreo en bahía el Cove durante los monitoreos de marzo (mar) y agosto (ago) de 2012., las estaciones 04 y 05 estuvieron dentro de este intervalo al tratarse de aguas marinas. No obstante, los valores más bajos se registraron en las estaciones 06 vertimiento Proactiva y 07 pozo 25 que se debe a aguas dulces, tal como las estaciones 01, 02 y 03 en el muestreo de agosto. Desde el punto de vista de la legislación colombiana, los valores de pH en el área de estudio estuvieron dentro del rango permisible (6,5 - 8,5) establecido en la legislación colombiana para preservación de fauna y flora (Decreto 1594 de 1.984, Art. 45; Minsalud, 1984) y dentro del valor de calidad ambiental para aguas marinas y estuarinas (6,0 - 8,5) referido en normas internacionales como la de Chile (CONAMA, 2009).

La distribución de la concentración de oxígeno disuelto (OD) en cada estación se muestra en la Tabla 5-1. Durante el muestreo de marzo los valores de oxígeno disuelto en todas las estaciones se registraron por encima del límite inferior de calidad (4,0 mg/L) establecido para destinación de preservación de fauna y flora (Decreto 1594 Minsalud, 1984). Sin embargo, en agosto (época lluviosa) el OD en las estaciones 02 Canal y 03 Manglar estuvieron por debajo del límite inferior, sugiriendo que hubo fuentes de aguas residuales en adición al agua de escorrentía. La estación con el menor valor de OD en los dos muestreos fue la estación 03 manglar en marzo se debe que al tratarse de agua estancada con un poco profundidad es de esperarse estos bajos contenidos de oxígeno, mientras en agosto con aguas de escorrentía se esperaría un valor mayor sin embargo los valores fueron bajos (3,08 mg/L) lo que se puede atribuir que hay una mezcla con aguas residuales domesticas que como se había descrito anteriormente la apariencia del agua lo mostraba.

Tabla 5-2 Resultados de parámetros fisicoquímicos medidos en las estaciones de muestreo en bahía el Cove, los monitoreos de marzo (mar) y agosto (ago) de 2012.

Estación	Color (Hanzen)		Turbidez (NTU)		SST (mg/L)	
	mar	ago	mar	ago	mar	ago
Estación 01 "Laguna" Duppy Gully	250,0	340	17,6	38,2	208,0	8,6

Estación 02 Canal el Cove	ND	1000	ND	507,0	ND	68,4
Estación 03 Manglar	550,0	1050	115,0	189,5	115,0	70,0
Estación 04 Bahía adentro Cove	0,0	100	0,8	17,5	0,8	102,5
Estación 05 Bahía Fuera Cove	ND	20	ND	4,7	ND	68,0
Estación 06 V. Proactiva	ND	100	ND	12,5	ND	2,5
Estación 07 Pozo 25	ND	0	ND	0,1	ND	1,1

ND: No se determinó por ausencia de agua al momento del muestreo o no estaban incluidas en la propuesta inicial

Los parámetros Color, turbidez y sólidos suspendidos totales (SST) en el muestreo realizado en marzo de 2012, se midieron en las estaciones determinadas en la propuesta técnica aprobada, en la estación 02 en el momento del muestreo no había agua. Durante el muestreo realizado en agosto de 2012 estos parámetros se analizaron en todas las estaciones incluyendo las sugeridas por la corporación.

La turbidez es originada por la materia suspendida y coloidal, como los limos, arcillas y material fino que puede ser materia orgánica e inorgánica, plancton y otros organismos microscópicos (APHA, AWA y WEF, 2005). Esta variable afecta la atenuación de luz, incrementando la oxidación de la materia orgánica por las bacterias que se encuentran adheridas a las partículas de material suspendido, esto disminuye los niveles de oxígeno disuelto pero también actúa como un factor limitante y como un control de la producción primaria en la columna de agua (Boyes y Elliott, 2006). Los mayores valores de turbidez durante el monitoreo de marzo se midieron en las estaciones 03 Manglar y 01 "Laguna" Duppy Gully (115,0 y 17,6 NTU respectivamente), mientras que en el monitoreo de agosto las estaciones 02 canal el Cove y 03 Manglar (507,0 y 189,5 NTU respectivamente), estos valores están en correlación con el alto contenido de sólidos en suspensión (Tabla 5-2).

De acuerdo a los requerimientos establecidos por el Decreto 1594/84 (Minsalud, 1984), los cuerpos de agua destinados a preservación de fauna y flora o para recreación, no deben presentar turbiedad o color en valores que interfieran con la actividad fotosintética normal del ecosistema. Los registros mostraron que el color del agua en las estaciones 01, 02 y 03 mostraron los valores más altos que se puede deber a ser aguas estancadas con alto contenido de materia orgánica en la época seca (marzo), mientras en las lluvias el aumento del color se puede deber a los lixiviados y escorrentías, que se encuentra en concordancia con los altos contenidos de sólidos en suspensión y turbidez en estas estaciones (Tabla 5-2). Mientras el aumento del valor de color (de 0,0 a 100 unidades Hanzen) en la estación ubicada en la bahía el Cove (estación 04) se debe al aporte de las escorrentías, no obstante este valor está en el especificado en la norma de calidad de aguas marinas de Chile (100 unidades Hanzen; CONAMA, 2009), situación que se correlaciona con la baja turbidez, la alta transparencia y el bajo contenido de sólidos en suspensión en esta zona.

Nutrientes

En el ambiente marino se ha demostrado que el nitrógeno y el fósforo son factores limitantes para la producción fotosintética de carbono orgánico, pero un exceso de ellos puede

desencadenar una sobreproducción de organismos fitoplanctónicos, proceso conocido como eutrofización (Odum, 1972; Paerl, 2006). Estos compuestos son imprescindibles en la síntesis de compuestos orgánicos durante el proceso fotosintético, por lo cual reciben la denominación de compuestos biolimitantes (Broecker y Peng, 1982; Chester, 1990). La escasez de estos compuestos en zonas de actividad fotosintética, limitaría la productividad primaria, sobre todo en épocas de intenso calor, incidiendo directamente sobre la vida marina. Por esta razón, los compuestos biolimitantes tienen un comportamiento característico en la columna de agua, encontrándose prácticamente agotados en la superficie (donde se lleva a cabo la fotosíntesis) e incrementan a medida que aumenta la profundidad, convirtiéndose el fondo marino en un reservorio de estos nutrientes (Broecker y Peng, 1982; Chester, 1990).

Tabla 5-3 Resultados de nutrientes medidos en las estaciones de muestreo en bahía el Cove, durante el monitoreo de marzo de 2012.

Estación	Nitrito ($\mu\text{g/L}$)		Nitrato ($\mu\text{g/L}$)		Amonio ($\mu\text{g/L}$)		Fosfato ($\mu\text{g/L}$)	
	mar	ago	mar	ago	mar	ago	mar	ago
Estación 01 "Laguna" Duppy Gully	<0,6	11,7	37,0	0,8	3,9	24,3	3,7	96,3
Estación 02 Canal el Cove	ND	13,4	ND	<0,6	ND	45,1	ND	191,0
Estación 03 Manglar	1,3	19,6	35,9	23,9	84,3	157,1	96,9	145,7
Estación 04 Bahía adentro Cove	<0,6	2,3	446,9	6,4	5,4	14,8	12,2	9,2
Estación 05 Bahía Fuera Cove	ND	1,5	ND	7,1	ND	12,9	ND	4,5
Estación 06 V. Proactiva	ND	1,6	ND	<0,6	ND	18,1	ND	89,8
Estación 07 Pozo 25	ND	2,8	ND	103,5	ND	23,9	ND	17,4

ND: No se determinó por ausencia de agua al momento del muestreo o no estaban incluidas en la propuesta inicial

El nitrógeno inorgánico disuelto en los sistemas acuáticos se encuentra en tres formas básicas: como nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$), nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$) y nitrógeno amoniacal, el cual a su vez está presente principalmente bajo forma disociada iones amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$) (Chester, 1990). Por otra parte el amonio es soluble en agua y su especiación es afectada principalmente por la temperatura, el pH y la fuerza iónica. En solución acuosa, el amoniaco ionizado o ión amonio (NH_4^+) y el amoniaco no ionizado (NH_3) se encuentran estrechamente relacionados a través del equilibrio químico (CCME, 2010). En la Tabla 5-3 se muestran las concentraciones de amonio registrados en las estaciones muestreadas, siendo la estación 03 manglar donde se presentó el mayor valor (84,3 y 157,1 $\mu\text{g/L}$ en marzo y agosto respectivamente) de esta variable en los muestreos realizados que puede ser atribuido a la descomposición de materia orgánica en aguas estancadas, y a los vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes de las viviendas circundantes, como ha sido documentado por Amaya y Abdulasiz (2004), aunque esta concentración se encuentran en el rango típico propuesto para aguas costeras 0 – 350 $\mu\text{gN-NH}_4/\text{L}$ (Carpenter y Capone, 1983). Con fines de establecer un criterio de calidad, las

concentraciones de nitrógeno amoniacal fueron comparadas con el límite permisible propuesto en la legislación ambiental de Brasil (CONAMA, 1986), en la cual se establece un valor máximo de 400 $\mu\text{gN-NH}_4/\text{L}$ en aguas marinas, para propósitos de preservación de flora y fauna acuática. Debido a que los resultados obtenidos en el área de estudio no superan el valor que establece la norma, se considera que no hay riesgo para eventuales procesos de eutrofización en los ecosistemas acuáticos.

Las concentraciones de nitritos oscilaron entre $<0,6$ y $1,3 \text{ N-NO}_2 \mu\text{g/L}$ en la época seca (marzo) y $2,3$ y $19,6 \text{ N-NO}_2 \mu\text{g/L}$ en la época de lluvias (agosto); los nitratos entre $35,9 - 446,9 \text{ N-NO}_3 \mu\text{g/L}$ en la época seca y $2,3$ y $103,5 \text{ N-NO}_3 \mu\text{g/L}$ en la época lluviosa (Tabla 5-3). De los compuestos nitrogenados los nitritos fueron la especie de nitrógeno analizada menos abundante, lo cual es normal ya que son especies intermedias entre el amonio y el nitrato formadas durante procesos de amonificación y nitrificación y las pérdidas de nitrógeno inorgánico por desnitrificación (Marín et al., 1999). Los valores registrados de nitritos (Tabla 5-3) en las estaciones monitoreadas se encuentran en el rango típico de aguas costeras $0 - 28 \mu\text{g N-NO}_2/\text{L}$ (Carpenter y Capone, 1983). Es de interés el valor de nitratos que se registró en la estación 04 Bahía el Cove ($446,9 \text{ N-NO}_3/\text{L}$, Tabla 5-2), ya que rebasa el referenciado en la norma de calidad de aguas marinas de Australia ($160 \mu\text{g/L}$; ANZECC, 2000), hay varias posibles fuentes que podrían generar una concentración tan alta, como descargas de aguas residuales domésticas, drenaje de tierras agrícolas con alta aplicación de fertilizantes o aportes de desechos de materia orgánica debido a actividades pecuarias, sin embargo, al deberse a un dato puntual y que varío en el siguiente muestreo, no es posible definir la fuente, por lo tanto se recomienda continuar el monitoreo de esta variable.

Tanto los compuestos del fosfato como los del nitrógeno se encuentran presentes en las aguas residuales, aguas de escorrentías de lugares fertilizados y son constituyentes de varios tipos de desechos industriales. Las concentraciones de fosfatos en las muestras superficiales se determinaron en el intervalo de $3,7$ a $191,0 \mu\text{g P-PO}_4/\text{L}$ (Tabla 5-3), el mayor valor en la época seca y el segundo en la época de lluvia se registró en la estación 03 manglar que puede ser atribuido de igual manera que el amonio a la falta de circulación de aguas y a los vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes de las viviendas circundantes, el valor registrado es mayor a la concentración permisible establecido por la legislación de Australia para aguas naturales ($15 \mu\text{g/L}$; ANZECC, 2000), mientras en la estación 02 canal el Cove se presentó el mayor valor en el muestreo de agosto (lluvias) se atribuye al lavado de los suelos de ya que se trata de un arroyo estacional.

Plaguicidas

Los plaguicidas son sustancias químicas orgánicas o inorgánicas que se utilizan para controlar plagas. Según sus usos, se agrupan en insecticidas, fungicidas, herbicidas, nematocidas, acaricidas, defoliantes y roenticidas, entre otros. Las mayores categorías son insecticidas, fungicidas y herbicidas (Bonilla et al., 2000). Uno de los primeros plaguicidas y tal vez el más común es el DDT que se usó para combatir las plagas en la agricultura y los mosquitos transmisores de malaria. En la actualidad existe una gran diversidad de sustancias usadas como plaguicidas en el mundo y otras que se usaron que actualmente están prohibidas, muchas de las cuales generan preocupación debido a su toxicidad, persistencia y amplificación en la biota marina y costera (Bonilla et al., 2000).

En la Tabla 5-4 se muestran los resultados del perfil de plaguicidas organoclorados y organofosforados en aguas medidos en las estaciones de muestreo en la cuenca El Cove, durante el muestreo de marzo (época seca) no se encontró agua que permitiera realizar el análisis en las estaciones 02 y 03; mientras en el muestreo de agosto (lluvias) se encontró agua en todas las estaciones y se pudo realizar el análisis de plaguicidas, adicionalmente por solicitud de la corporación se realizó este análisis en aguas del pozo 25 (Estación 07). En las estaciones medidas se evidencia que ningún compuesto rebasó el límite de detección de la técnica analítica aplicada (Tabla 5-4). Estos resultados podrían relacionarse con las escasas fuentes de plaguicidas reportadas que existen en el área de estudio, debido a la insipiente agricultura que existe en la zona y a las restricciones que existen para la utilización de plaguicidas, especialmente los organoclorados.

Tabla 5-4 Límites de detección de plaguicidas organoclorados y organofosforados analizados en aguas de las estaciones de muestreo en bahía el Cove.

Tipo de Plaguicida	Plaguicida	Límites de detección (µg/L)
Organoclorado	α-HCH	<0,006
	β-HCH	<0,006
	γ-HCH	<0,006
	δ-HCH	<0,006
	Heptacloro	<0,006
	Aldrin	<0,006
	Heptacloro Epoxido	<0,012
	op-DDE	<0,006
	γ-Clordano	<0,063
	α-Clordano	<0,126
	Endosulfan I	<0,016
	Endosulfan II	<0,063
	Endosulfan Sulfato	<0,063
	ppDDE	<0,006
	Dieldrin	<0,006
	op-DDD	<0,006
	Endrin	<0,012
	op-DDT	<0,016
	pp-DDD	<0,006
	Cis-Nanoclor	<0,018
	Endrin Aldehido	<0,006
	pp-DDT	<0,012
	Endrin Cetona	<0,006
Metoxicloro	<0,012	
Organofosforado	Diuron	<0,016
	Diazinon	<0,016

Clorotalonil	<0,008
Metil Paration	<0,016
Bromacil	<0,016
Clorpirifos	<0,016
Fenaminfos	<0,016
Cis-Permetrina	<0,008
trans-Permetrina	<0,008

Metales pesados

Si bien, las cantidades traza de metales están siempre presentes en las aguas superficiales debido a la meteorización de las rocas y los suelos, en países desarrollados las descargas industriales y mineras resultan ser las principales fuente, sin embargo, por deposición aérea también se incorporan metales traza en las aguas superficiales. Como sucedía con el plomo, este elemento era emitido a la atmósfera a partir de los gases de emisión de los automóviles, entra en el ciclo hidrológico, aumentando su concentración y generando posteriormente efectos toxicológicos graves sobre el hombre y los ecosistemas acuáticos.

En Colombia, la carencia de una norma que permita establecer los límites permisibles de metales en aguas marino costeras, genera dificultad para la interpretación y evaluación de los resultados, por lo cual se utilizan como alternativas los niveles permisibles de estándares o normativas ambientales internacionales de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica NOAA (Buchman, 2008).

En la Tabla 5-5, se muestran los resultados de los metales analizados en cada una de las estaciones monitoreadas en los muestreos de marzo y agosto de 2012. Durante los dos muestreos realizados, el plomo (Pb), cadmio (Cd) presentaron valores por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada en todas las estaciones, por otra parte el cromo (Cr) se registró únicamente en la estación E02 (34,0 µg/L) monitoreada en agosto durante las lluvias, las demás estaciones estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada y de igual manera el níquel (Ni) se registró únicamente en el mes de agosto en las estaciones E01 y E02 (5,74 y 5,47 µg/L respectivamente). El cobre (Cu) presentó el mayor valor en la estación 01 (13,1 µg/L) en el muestreo de marzo, siendo este "Laguna" posiblemente de aguas subterráneas no rebasaría los límites de riesgo en la normatividad internacional para este tipo de aguas, por otra parte en las demás estaciones el rango estuvo entre <0,50 y 4,0 µg/L estando por debajo de los valores indicados como de riesgo en normatividad internacional (Tabla 5-5) para este tipo de aguas; en cuanto al zinc (Zn) en las estaciones marinas (Estaciones 04 y 05) presentaron valores por debajo de los niveles de riesgo para este tipo de aguas (>90 µg/L; Buchman, 2008), en cuanto a las estaciones 01, 02, 03, 06, y 07 se evidencia que el Zn tiene una procedencia de agua subterránea con un rango de 6,2 a 385,8 µg/L, sin registrar un valor superior al indicado como de riesgo en la normatividad internacional para aguas subterráneas (>5000 µg/L; Buchman, 2008), sin embargo se evidencia una disminución de la concentración de este elemento en el muestreo de agosto (lluvias), que podría deberse al efecto de dilución.

Tabla 5-5 Resultados de metales traza en aguas estaciones monitoreadas en cuenca el Cove, San Andrés Islas, en marzo (mar) y agosto (ago) de 2012.

Estación	Pb µg/L		Cd µg/L		Cr µg/L		Cu µg/L		Zn µg/L		Ni µg/L	
	mar	ago	mar	ago	mar	ago	mar	ago	mar	ago	mar	ago
Estación 01 "Laguna" Duppy Gully	<0,15	<0,15	<0,25	<0,25	<0,50	<0,50	13,1	4,0	179,0	45,5	<0,50	5,74
Estación 02 Canal el Cove	ND	<0,15	ND	<0,25	ND	34,0	ND	1,0	ND	68,9	ND	5,47
Estación 03 Manglar	<0,15	<0,15	<0,25	<0,25	<0,50	<0,50	<0,50	3,1	157,6	63,8	<0,50	<0,50
Estación 04 Bahía adentro Cove	<0,15	<0,15	<0,25	<0,25	<0,50	<0,50	1,8	3,9	5,4	14,4	<0,50	<0,50
Estación 05 Bahía Fuera Cove	<0,15	<0,15	<0,25	<0,25	<0,50	<0,50	2,0	1,8	7,9	2,4	<0,50	<0,50
Estación 06 V. Proactiva	<0,15	<0,15	<0,25	<0,25	<0,50	<0,50	<0,50	3,5	19,7	6,2	<0,50	<0,50
Estación 07 Pozo 25	<0,15	<0,15	<0,25	<0,25	<0,50	<0,50	<0,50	1,6	385,8	4,5	<0,50	<0,50
NOAA, Aguas Marinas (Buchman,2008)	210*		40*				4,8*		90*		74*	
NOAA, Aguas continentales (Buchman,2008)	65*		2*				13*		120*		470*	
NOAA, Aguas subterráneas (Buchman,2008)	15		5		100		1300		5000		20	

* Concentración que puede producir efectos agudos ND: No Determinado.

En el caso de los elementos mayoritarios Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y potasio (K), no se analizaron en aguas marinas (estación 04 y estación 05 ubicadas en la bahía El Cove) por que estos elementos son característicos en este tipo de aguas (marinas) y no presentan mayor información de su estado ambiental. La estación 03 manglar muestra una influencia marina con los valores más altos de Mg y K que pueden deberse a la entrada de agua salada a la zona de manglar y se observa una disminución en su concentración en el muestreo de agosto por la entrada de agua dulce (Tabla 5-6). En general en aguas subterráneas la concentración de Ca, Mg y K depende del tipo de acuífero que se trate, por lo general acuíferos aluviales tienen concentraciones de Ca entre 14 y 201 mg/L, Mg entre 26 y 1.114 mg/L y K generalmente menos a 1,5 mg/L (Rodríguez et al., 2002). Durante los muestreo las estaciones con mayor influencia de aguas subterráneas como las estaciones 01, 06 y 07, sus valores estuvieron dentro del rango normal para este tipo de aguas (Tabla 5-6). El hierro Fe registró la mayor concentración en el muestreo de marzo en la estación 03 manglar (31,2 µg/L), este valor es alto se puede asociar a la presencia del manglar y a las aguas vertidas en esta área, rebasa a los indicados como de riesgo en la normatividad internacional. En la estación 02 canal se observa la mayor concentración de Fe durante el muestreo de agosto lo que se puede relacionar al lavado de los suelos y de los residuos sólidos (chatarra) en la rivera de este canal.

Tabla 5-6 Resultados de metales mayoritarios en aguas estaciones monitoreadas en cuenca El Cove, San Andrés Islas, en marzo (mar) y agosto (ago) de 2012.

Estación	Mg mg/L		K mg/L		Ca mg/L		Fe mg/L	
	Mar	Ago	mar	Ago	mar	ago	mar	ago
Estación 01 "Laguna" Duppy Gully	1,81	2,81	3,09	3,84	20,73	34,82	1,07	0,250
Estación 02 Canal el Cove	ND	2,43	ND	4,99	ND	17,67	ND	23,14
Estación 03 Manglar	360,09	124,2	179,99	43,24	11,57	27,76	31,19	2,15
Estación 04 Bahía adentro Cove	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,010	<0,001
Estación 05 Bahía Fuera Cove	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<0,001	<0,001
Estación 06 V. Proactiva	3,35	2,27	1,56	1,79	41,81	28,19	0,010	0,225
Estación 07 Pozo 25	6,62	8,99	6,31	1,90	122,78	449,41	<0,001	0,002
NOAA, Aguas Marinas (Buchman,2008)								0,3*
NOAA, Aguas continentales (Buchman,2008)								1,0*
NOAA, Aguas subterráneas (Buchman,2008)								0,3

* Concentración que puede producir efectos agudos ND: No Determinado.

5.1.2. Calidad de Sedimentos

En esta sección se presenta el análisis de los resultados obtenidos para sedimentos durante los muestreos realizados en la zona de la cuenca El Cove, en marzo y agosto de 2012.

Granulometría

El material fino de los sedimentos está compuesto por arenas finas, limos y arcillas, los cuales pueden resuspenderse como consecuencia de la acción de las olas y las corrientes (Petroni, 2005). Las arcillas son partículas de grano muy fino (<0,002 mm) con elevada actividad superficial y alta relación área/volumen que les otorga la capacidad de adsorber una mayor cantidad de contaminantes por unidad de masa, a diferencia de partículas con tamaño de grano superior (Eweis et al., 1999). Por lo anterior, determinar el contenido material fino en los sedimentos permite establecer la capacidad del material para retener un contaminante. Por su parte, los limos tienen una granulometría comprendida entre la arena fina y la arcilla, el diámetro de las partículas varía entre 0,002 mm y 0,06 mm y hacen parte del sedimento transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados (Petroni, 2005).

En la Tabla 5-7 se muestra la textura del sedimento en las zonas monitoreadas. En las estaciones E01, E03 y E04 prevaleció el material fino, conformado principalmente por limos y arcillas (material que pasa a través del tamiz de 63 µm) en contenidos superiores al 70 %, pudiendo atribuir la sedimentación de este tipo de partículas a la mayor carga de material

particulado que es arrastrado en las épocas de lluvias convirtiendo estas áreas en zonas de deposición de sedimento fino, mientras que en la estación E02 predominó el material > a 63 µm en la época seca (marzo), mientras en lluvias (agosto) predominan los limos que son arrastrados por el agua para ser depositados finalmente en la zona costera, lo cual puede deberse a la ubicación más alejada de la línea de costa y por no ser una zona de deposición sino un canal que conduce un arroyo en épocas de lluvias mientras en la época de verano se encuentra seco (Figura 3-4).

Tabla 5-7 Textura de sedimentos en las estaciones monitoreadas en marzo y agosto de 2012, ubicadas en la cuenca El Cove en San Andrés Islas.

Estación	Tamaño de Grano (%)						
	2 mm	1 mm	0,5 mm	250 µm	125 µm	63 µm	<63 µm
Estación 01 "Laguna" Duppy Gully	10,3 - 0,5	5,0 - 0,8	4,2 - 0,5	5,6 - 0,4	5,0 - 1,2	2,8 - 1,9	69,8 - 94,7
Estación 02 Canal salida	14,6 - 7,7	26,2 - 7,9	32,1 - 7,7	15,1 - 5,5	4,0 - 4,1	<0,2 - 2,7	7,9 - 64,5
Estación 03 Manglar	2,8 - 11,9	2,0 - 1,0	2,3 - 0,5	2,5 - 0,3	1,9 - 0,2	5,9 - <0,2	88,4 - 85,9
Estación 04 Bahía adentro Cove	10,1 - 10,8	4,0 - 4,9	2,7 - 6,1	2,7 - 8,4	2,2 - 15,1	5,7 - 8,1	78,1 - 46,6
Estación 05 Bahía Fuera Cove	7,9	5,7	6,1	6,5	4,6	2,6	66,6
Estación 06 V. Proactiva	4,9	4,9	6,8	7,2	5,5	6,1	64,6

Materia orgánica oxidable (MO)

El carbono orgánico se origina de forma natural en plantas y animales como resultado de su metabolismo, excreción y descomposición; no obstante, los efluentes de industrias que utilizan compuestos orgánicos también son fuente significativa de emisión de carbono orgánico (COT) y materia orgánica (MO) al ambiente. Si bien no se conocen implicaciones de que el COT provoque efectos adversos sobre la salud humana y animal, la determinación de éste parámetro en sedimentos es de gran importancia, ya que elevadas concentraciones en las aguas superficiales generan una disminución muy importante del oxígeno disuelto, ocasionando la pérdida de biodiversidad marina. La acumulación del carbono orgánico en sedimentos marinos está condicionada por una serie de factores, siendo los más importantes la productividad biológica y la disponibilidad de oxígeno (Valdés et al., 2004).

Tabla 5-8 Contenido de materia orgánica oxidable en sedimentos en las estaciones monitoreadas en marzo y agosto de 2012, ubicadas en la cuenca El Cove en San Andrés Islas.

Estación	M.O. oxidable (mg/g)	
	Mar	ago
Estación 01	82,4	45,3

"Laguna" Duppy Gully		
Estación 02 Canal salida	13,3	24,3
Estación 03 Manglar	287,0	164,8
Estación 04 Bahía adentro Cove	34,4	103,3

Las concentraciones de MO oxidable (Tabla 5-8), mostraron la misma tendencia espacial que los contenidos de limos y arcillas en el sedimento, como se analizó en el apartado de granulometría (Tabla 5-7), siendo las estaciones que presentaron los valores superiores de MO y mayor porcentaje de limos y arcillas (Estaciones 01, 03 y 04, Tabla 5-8), las cuales, con su elevada relación área/volumen y mayor actividad superficial, pueden adsorber mayor cantidad de material orgánico por unidad de masa que las partículas mayores (arenas). El contenido de MO oxidable estuvo dentro del intervalo de ecosistemas costeros y sistemas de playas y arrecifes (Tabla 5-9), excepto en la estación 03 manglar en la cual se registraron muy altos contenidos de materia orgánica en los muestreos de marzo y agosto (287,0 y 164,8 mg/g respectivamente) comparado con otros sitios de manglar (Tabla 5-9), estos valores se pueden relacionar a las actividades que se realizan en las estribaciones del rodal de manglar como son la presencia de porquerizas, sumado al vertimiento de aguas residuales domésticas.

Tabla 5-9 Concentraciones de materia orgánica oxidable (MO oxidable) en diversas zonas costeras.

Estaciones	MO (mg/g)	Referencia
Bahía de Buenaventura	2,4 - 37,5	Solano et al., 2008
Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela	15,3 - 147,0	Márquez, et al., 2005
Baja California, México Sedimentos de Manglar tropical	40,4 - 129 *	Giani et al., 1996
Estuario Jiulongjiang, China (Sedimentos de manglar subtropical)	17,5 - 30,4*	Alongi et al., 2005
Arrecife coralino insular de Moorea, polinesia Francesa	2,2 - 71*	Schrimm, et al., 2004
Playas en la Bahía de Taganga	1,1 - 6,4	Troncoso et al., 2008
Golfo de Uraba	21,1 - 61,1*	Bolaño et al., 2009
Estaciones cuenca El Cove.	13,3 - 287,0	Presente estudio

* Valor fue medido como carbono orgánico total mediante analizador elemental y convertido a MO con el coef. de Vammelen (1,72).

pH y conductividad

En la Tabla 5-10 se puede muestran los valores de pH y salinidad en sedimentos de las estaciones muestreadas, se puede observar una poca homogeneidad en los valores de pH de los sedimentos de las estaciones monitoreadas, en las cuales la variación fue hasta de 1,3 unidades de pH. El rango de valores estuvo comprendido entre 6,7 y 8,0; las estaciones que presentaron los pH mas altos son las ubicadas en la bahía que puede ser debido al contacto del sedimento

con el agua de mar que tiene un pH básico. Las estaciones que presentaron un menor pH ligeramente ácido coinciden con las estaciones con mayor contenido de materia orgánica y que debido a la degradación de la materia orgánica depositada en el sedimento durante la cual hay liberación de CO₂ que hace que el pH descienda (Chester, 1990; Fang et al., 2005).

Con referencia a la salinidad y conductividad se evidencia que la estación de manglar está influenciada por la entrada de agua marina que deja sales en los sedimentos, teniendo sedimentos ligeramente salinos en la zona de manglar (Tabla 5-10). Como es normal las estaciones de la bahía muestran sedimentos salinos y las estaciones 01, 02 y 06 vertimiento proactiva, al ubicarse en la zona del interior de la cuenca son sedimentos sin un mayor contenido de sales.

Tabla 5-10 pH, salinidad y conductividad en sedimentos en las estaciones monitoreadas en marzo y agosto de 2012, ubicadas en la cuenca El Cove en San Andrés Islas.

Estación	pH		Cond (mS/cm)		Sal	
	Mar	ago	Mar	ago	mar	ago
Estación 01 "Laguna" Duppy Gully	6,7	7,3	0,1	0,3	0,0	0,1
Estación 02 Canal salida	7,3	7,2	0,2	0,2	0,0	0,1
Estación 03 Manglar	6,9	7,8	28,6	8,9	17,8	4,2
Estación 04 Bahía adentro Cove	7,4	7,8	33,7	51,7	21,3	33,8
Estación 05 Bahía Fuera Cove	7,7	8,0	50,9	56,0	32,6	34,4
Estación 06 V. Proactiva	7,2	7,6	0,38	0,3	0,1	0,1

Metales pesados

Los estudios de contaminación por metales pesados en el medio marino-costero son de interés debido a su toxicidad, porque no se degradan por la actividad microbiana; por el contrario, pueden ser enriquecidos por los organismos que a veces forman complejos organometálicos y porque en concentraciones que sobrepasan los niveles naturales provocan serios problemas ecológicos, como resultado de procesos de bioacumulación y de biomagnificación a través de la cadena trófica (Ansari et al., 2004).

Los metales pesados tienen un origen natural (actividades volcánicas, erosión, procesos de drenaje de cuencas) y antropogénico (procesos industriales de minerales y metales, disolución de metales sólidos de desechos y descargas domésticas). La mayoría de los metales juegan un papel importante en el metabolismo de los organismos ya que son constituyentes enzimáticos, sin embargo, a altas concentraciones y bajo ciertas condiciones del medio, estos mismos elementos pueden resultar tóxicos. (Márquez et al., 2005).

En la Tabla 5-11 se muestran las concentraciones de Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Cromo (Cr), Zinc (Zn) y Níquel (Ni) en sedimentos de las estaciones muestreadas en la cuenca El Cove, durante el muestreo realizado en marzo y agosto de 2012. En general los rangos de concentración de Cd (<0,17 a 4,68 µg/g), Pb (10,16 a 24,60 µg/g), Zn (15,0 a 98,3 µg/g) y Cu (<0,17 a 42,14 µg/g) estuvieron muy por debajo los niveles considerados como de riesgo en guías internacionales tanto para sedimentos marinos como para sedimentos de agua dulce (Tabla 5-11), por lo cual se considera que estos sedimentos no están contaminados por estos elementos. Es de relevancia el dato de Cr obtenido en la estación 04 que aunque no rebasa el valor de referencia para sedimentos marinos, si esta alrededor de 8 veces mayor que en las demás estaciones, es importante continuar el monitoreo con el fin de identificar la fuente de este elemento; por otra parte el Ni en las estaciones 01, 02 y 03 rebasa los valores de riesgo para sedimentos de aguas dulces, sin embargo se podría aducir que este elemento puede ser constituyente del material geológico, ya que en aguas los valores estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica aplicada.

Tabla 5-11 Resultados de metales en sedimento superficial en las estaciones monitoreadas en monitoreadas en marzo y agosto de 2012, ubicadas en la cuenca El Cove en San Andrés Islas vs niveles PEL de la NOAA.

Estación	Pb µg/g		Cd µg/g		Cr µg/g	Cu µg/g		Zn µg/g		Ni µg/g	
	mar	ago	mar	ago	mar	mar	ago	mar	Ago	mar	ago
Estación 01 "Laguna" Duppy Gully	11,35	13,94	<0,17	0,27	18,70	28,56	35,58	73,3	65,2	70,14	78,20
Estación 02 Canal salida	10,16	24,60	0,82	<0,17	13,34	29,55	<0,80	78,7	15,6	68,21	5,33
Estación 03 Manglar	15,10	16,19	0,20	4,68	6,45	19,38	42,14	61,8	98,3	22,00	80,66
Estación 04 Bahía adentro Cove	16,17	15,07	<0,17	<0,17	156,50	17,18	27,61	58,5	67,6	26,87	33,27
Estación 05 Bahía Fuera Cove	19,89	11,72	<0,17	<0,17	32,29	<0,80	34,88	21,8	74,9	3,05	41,75
Estación 06 V. Proactiva	16,01	16,20	<0,17	0,37	7,96	<0,80	26,49	15,0	63,6	<0,80	42,84
NOAA, PEL (1) (Buchman,2008)	112		4,21		160	108		271		42,8	
NOAA, PEL (2) (Buchman,2008)	91,3		3,53		90	197		315		36	

PEL: Nivel para efectos probables. (1) Sedimento marino (2) sedimento aguas dulces

Con referencia a los elementos mayoritarios se puede evidenciar que la constitución de estos sedimentos es muy variada entre estaciones (Tabla 5-12), ya que mientras en la estación 05 los sedimentos son netamente calcáreos (altos contenidos de Ca), en la estación 04 muy cercana los sedimentos tienen un origen más terrígeno, sin embargo durante el muestreo de agosto el Ca del vertimiento de proactiva mostro valores altos lo que puede estar relacionado a los residuos del tratamiento del agua que se realiza en esta planta. Las mayores concentraciones de Fe se registraron en la estación 02 (86,9 a 106,2 µg/g) lo que puede relacionarse a la presencia de residuos sólidos (Chatarra) en la rivera de este canal.

Tabla 5-12 Resultados de elementos mayoritarios en sedimento superficial en las estaciones monitoreadas en monitoreadas en marzo y agosto de 2012, ubicadas en la cuenca El Cove en San Andrés Islas vs niveles PEL de la NOAA.

Estación	Fe mg/g		Mg mg/g		K mg/g		Ca mg/g	
	mar	Ago	mar	ago	mar	mar	Ago	mar
Estación 01 "Laguna" Duppy Gully	43,91	54,24	0,81	0,75	0,01	0,85	0,08	0,09
Estación 02 Canal salida	86,93	106,21	2,67	5,27	1,11	1,02	118,79	114,87
Estación 03 Manglar	26,79	37,41	5,25	0,55	3,04	2,05	3,04	3,14
Estación 04 Bahía adentro Cove	40,18	70,31	6,27	ND	2,03	ND	210,25	ND
Estación 05 Bahía Fuera Cove	18,14	49,29	11,40	ND	2,08	ND	2158,40	ND
Estación 06 V. Proactiva	4,58	1,42	1,38	1,21	0,10	0,10	17,39	2213,97

PEL: Nivel para efectos probables. (1) Sedimento marino (2) sedimento aguas dulces

Plaguicidas

Aunque los insecticidas organoclorados fueron ampliamente utilizados en la agricultura y en los programas de control de la malaria desde 1940 hasta 1960, fueron cuestionados debido a su persistencia en el medio ambiente, en la vida silvestre y en los seres humanos. El costo relativamente bajo de estos insecticidas y la falta de sustitutos eficaces (en particular para el DDT), han permitido que se sigan usando en algunos pocos países, aunque cada vez se viene disminuyendo su uso (Marrs y Ballantyne, 2004). En Colombia, se ha venido prohibiendo el uso de estos compuestos desde los años 70, sin embargo, a mediados de los años 90 aún se usaban algunos de ellos dentro de las formulaciones comerciales. El Endosulfan por ejemplo, es uno de los compuestos prohibidos hace menos tiempo, sin embargo, el 2005 el Instituto Colombiano de Agricultura (ICA), informó del decomiso de 8000 litros de Endosulfan, en el 2006 de 3000 a 500 litros y en el 2007 de 300 litros (Caracol, 2007 en PNUMA, 2011).

En los sedimentos analizados de las estaciones muestreadas en la cuenca el Cove, el único plaguicida organoclorado que se registró sobre el límite de detección de la técnica analítica aplicada fue del grupo del DDT's (Tabla 5-13) con concentraciones desde <2,0 a 3,4 ng/g, encontrando la mayor concentración en la estación 03 manglar, no obstante este valor está muy por debajo del valor de riesgo de la NOAA (374 ng/g, Buchman, 2008).

Tabla 5-13 Resultados de perfil de plaguicidas organoclorados, organofosforados y triazinas analizados en sedimentos de las estaciones de muestreo en bahía el Cove durante el monitoreo de marzo de 2012.

Tipo de Plaguicida	Plaguicida	Estación 01 "Laguna" Duppy Gully (ng/g)	Estación 02 Canal salida (ng/g)	Estación 03 Manglar (ng/g)	Estación 04 Bahía adentro Cove (ng/g)	Estación 05 Bahía Fuera Cove (ng/g)
--------------------	------------	---	---------------------------------	----------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------

Contribución al conocimiento de la calidad del agua y sedimentos, y la determinación de una metodología para tasas de sedimentación en la cuenca el Cove

Organoclorado	α-HCH	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	β-HCH	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	γ-HCH	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	δ-HCH	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Heptacloro	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Aldrin	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Heptacloro Epoxido	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	op-DDE	3,0	<2,0	3,4	2,4	<2,0
	γ-Clordano	<6,0	<6,0	<6,0	<6,0	<6,0
	α-Clordano	<6,0	<6,0	<6,0	<6,0	<6,0
	Endosulfan I	<6,0	<6,0	<6,0	<6,0	<6,0
	Endosulfan II	<6,0	<6,0	<6,0	<6,0	<6,0
	Endosulfan Sulfato	<6,0	<6,0	<6,0	<6,0	<6,0
	ppDDE	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Dieldrin	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	op-DDD	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Endrin	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	op-DDT	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	pp-DDD	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Cis-Nanoclor	<6,0	<6,0	<6,0	<6,0	<6,0
	Endrin Aldehido	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	pp-DDT	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Endrin Cetona	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
	Metoxicloro	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0
	Organofosforado	Diuron	<4,0	<4,0	<4,0	<4,0
Diazinon		<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Clorotalonil		<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Metil Paration		<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Bromacil		<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Clorpirifos		<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Fenamifos		<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Cis-Permetrina		<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
trans-Permetrina	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	
Triazina	Prometon	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
	Simazina	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
	Atrazina	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
	Propazina	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
	Terbutilazina	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
	Secbumeton	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0

Simetrina	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Ametrina	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Prometrina	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Terbutrina	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0

En cuanto a los plaguicidas organoclorados o de uso actual en los sedimentos de todas las estaciones muestreadas su concentración estuvo por debajo de la técnica analítica aplicada, de igual manera las triazinas (Tabla 5-13).

5.2. SEDIMENTACIÓN

Los sedimentos son definidos generalmente como la mezcla de partículas orgánicas e inorgánicas producidas por la acción del intemperismo y la erosión de rocas, que son luego transportadas por el viento, el agua (fluvial o marina) o el hielo, hacia un sitio de depósito (Chester, 1990). Comprende a todas las partículas detriticas, orgánicas e inorgánicas que eventualmente sedimentan en el fondo de un cuerpo de agua. Consecuentemente es una matriz de materiales que puede ser relativamente heterogénea en términos de sus características físicas, químicas y biológicas. Como se ha mencionado los sedimentos son el resultado de la acumulación de diversos tipos de constituyentes, tanto derivados del transporte continental como de origen biogénico generados in situ; y debido a su contenido de materia orgánica y de material arcilloso, pueden ser excelentes acarreadores y acumuladores de elementos tanto naturales como de origen antropogénico, tales como los metales pesados o compuestos orgánicos persistentes (i.e. hidrocarburos poliaromáticos y plaguicidas). En áreas en las que la acumulación de sedimentos ha ocurrido sin bioturbación, mezclado físico o episodios de erosión, la columna sedimentaria se constituye en un registro integral de las tendencias temporales de los cambios ocurridos en los cuerpos de agua a lo largo del tiempo, que contiene valiosa información histórica sobre las características del ambiente en el momento de su formación y de las modificaciones temporales resultado de las actividades antropogénicas (Sánchez-Cabezas et al., 2011). Por lo anterior, la columna sedimentaria es un compartimiento natural muy útil para la reconstrucción de eventos ambientales en el pasado, y tales registros pueden proveer datos específicos acerca de los flujos antropogénicos de los contaminantes procedentes del desarrollo urbano e industrial (Axelsson et al., 1989; Valette-Silver, 1993).

La sedimentación es uno de los procesos físicos más importantes en las aguas de todo el mundo. Billones de toneladas de materia en suspensión se depositan en los cuerpos de agua, Sin embargo, las partículas asentadas pueden ser resuspendidas varias veces antes de su deposición final en los sedimentos de fondo (Kozerski, 1994). Especialmente durante los periodos de tormentas e inundaciones, la resuspensión es un factor importante en la acumulación de material particulado en lagos, ríos, y las regiones costeras.

El estudio de la tasa de sedimentación y la tasa de acumulación másica (MAR) son útiles para entender los procesos de transporte de sedimentos y el flujo de los principales componentes de los sedimentos, como el litógeno y sus componentes orgánicos, muy importantes en los estudios geoquímicos. La exportación de partículas derivadas de la producción primaria, junto con la entrada terrestre a través de escorrentía de los ríos y la erosión costera son las fuentes

principales del material depositado en los sedimentos costeros, además, el transporte eólico de partículas litogénicas podría constituir un aporte importante (Muñoz et al., 2004). El tamaño, la forma y composición de las partículas son factores importantes que determinan el transporte y la preservación en el perfil sedimentario. Las tasas de sedimentación generalmente son estudiadas en algunas escalas temporales, que van desde días hasta meses, utilizando trampas de sedimentos (Ciavola et al., 2002). No obstante este método en la actualidad se encuentra en debate, debido a que una trampa cilíndrica como las que se usan generalmente, se ve influenciada por los remolinos que se forman alrededor de la boca de la trampa de tal forma que la captura de las partículas se realiza de forma selectiva por el tamaño de partícula (Kozerski, 1994).

Actualmente se han desarrollado técnicas que permiten determinar tasas de sedimentación y acumulación másica, estos procedimientos se basan en técnicas con radionúclidos que cada vez están al alcance de más laboratorios (Sánchez-Cabezas et al., 2011). El ^{210}Pb se ha utilizado ampliamente en los estudios de procesos de sedimentación y, a pesar de algunas limitaciones de la metodología, ha demostrado ser una herramienta útil para estimar las tasas de sedimentación (Muñoz et al., 2004). Además que esta técnica permite fechar sedimentos de hasta unos 100 años de antigüedad lo que permite obtener datos específicos acerca de los cambios temporales tanto en las tasas de acumulación sedimentaria como en los flujos de contaminantes; sin embargo, la interpretación apropiada de esta valiosa información depende básicamente de la obtención de una tasa de acumulación confiable (Sánchez-Cabezas et al., 2011). Este método es comúnmente usado en asociación con ^{137}Cs , un radionúclido artificial cuya distribución global en los sedimentos tiene su origen en las pruebas atómicas que se realizaron alrededor del mundo, mayormente a mediados de la década de 1960.

Una de las condiciones que debe cumplir una zona para la aplicación de reconstrucción histórica por ^{210}Pb es la obtención de perfiles sedimentarios no alterados que permita obtener muestras cuyas propiedades estén preservadas para los propósitos analíticos del estudio. Uno de los factores más importantes a evitar es el mezclado de los estratos sedimentarios, que es equivalente a la homogeneización del registro histórico y a la consecuente pérdida de resolución en la descripción de los cambios ambientales (Sánchez-Cabezas et al., 2011). Para minimizar el riesgo de muestrear sedimentos mezclados es importante conocer lo mejor posible las características hidrodinámicas, batimétricas y sedimentológicas del área de estudio, así como las actividades antrópicas que se desarrollan en sus alrededores.

5.2.1. Muestreo de testigos sedimentarios

Teniendo en cuenta que el paso más importante en el diseño de la estrategia de muestreo es definición del objetivo de este estudio específico, es la identificación de una zona adecuada aplicación de la técnica de ^{210}Pb para la determinación de la tasa de sedimentación en la El Cove. Para ello se propuso un plan de muestreo de cinco puntos que abarcan desde la alta de la cuenca hasta la bahía el Cove (

Tabla 5-14).

Tabla 5-14 Ubicación de puntos de muestreo para análisis de perfil sedimentario, en la cuenca El Cove en San Andrés Islas, durante los muestreos de marzo y agosto de 2012.

Estación	Descripción del punto
Estación 01 "Laguna" Duppy Gully	Laguna somera (<1,5 metros de profundidad); se tomo testigo sedimentario
Estación 02 Canal salida	Canal por el cual se transporta el agua y material que vierte la cuenca, No fue posible tomar testigo sedimentario en el muestreo realizado en marzo.
Estación 03 Manglar	Parche de manglar zona de deposición de material en época de lluvias se tomo testigo sedimentario
Estación 04 Bahía adentro Cove	Zona interna de la bahía el cove, se tomo testigo sedimentario
Estación 05 Bahía Fuera Cove	Zona afuera de la bahía el cove, no fue posible tomar testigo sedimentario material de fondo coralino, durante la segunda salida se ubico una zona con sedimento fino en la cual el muestreador logro perforar y tomar muestra.

Durante el muestreo se utilizó un corer de gravedad marca Uwitec que permite obtener testigos sedimentarios de hasta un metro de largo (Figura 5-1, A) en zonas someras.

Una vez tomados los testigos sedimentarios se dejaron reposar en el laboratorio, para asegurar la sedimentación de partículas en suspensión en la superficie acuosa del núcleo. Se eliminó la mayor cantidad posible del agua sobrenadante, usando tubería flexible de plástico transparente (diámetro menor a 1 cm) teniendo cuidado de no resuspender la capa superficial. Los testigos se cortaron utilizando el instrumento de corte de acero inoxidable del corer UWITEC, se cortaron secciones de 1,0 cm de espesor, cuidando de enjuagar los instrumentos de corte con agua destilada entre muestras (Figura 5-1, B).

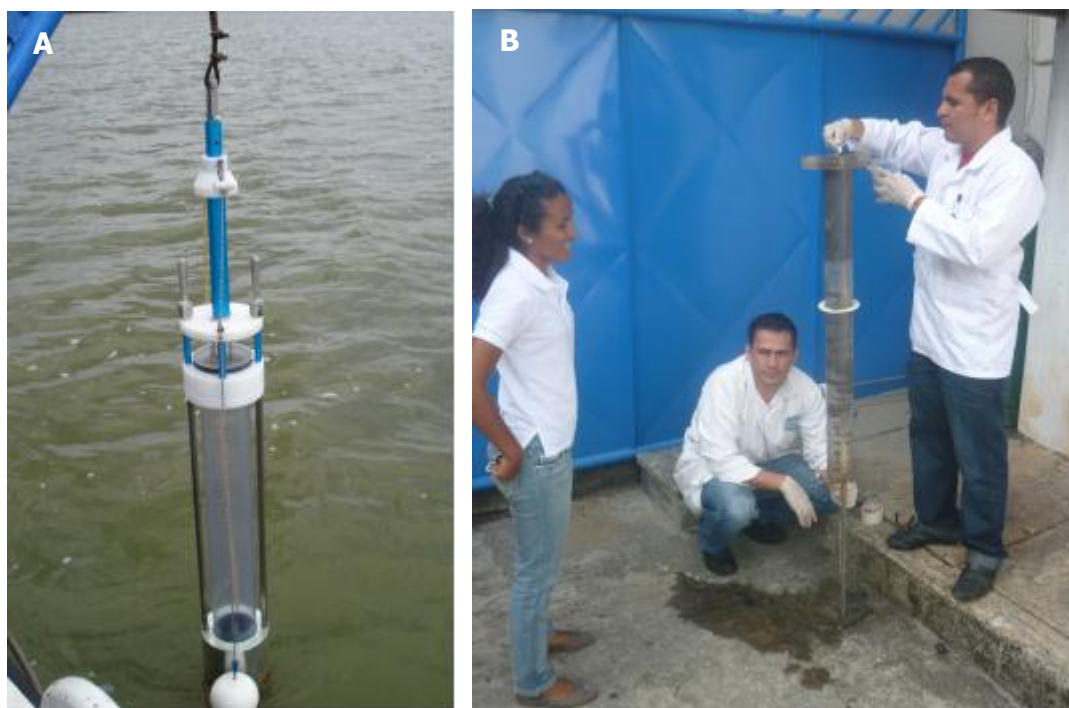


Figura 5-1 (A) Equipo de muestreo corer Uwitec; (B) corte de testigo sedimentario.

5.3. CRITERIO DE EVALUACIÓN DE TESTIGOS SEDIMENTARIOS

La recolección de un testigo sedimentario inalterado en la zona costera puede resultar difícil debido a todas las posibles fuentes de perturbación del sedimento que existen (p.e. alta actividad biológica, mezcla física, entre otras). Por esta razón, antes de iniciar los análisis de ^{210}Pb se deberá asegurar que se cuenta con un testigo sedimentario que sea útil para la obtención de geocronologías (Ruiz-Fernández y Sánchez-Cabeza, 2009), dado que el análisis de ^{210}Pb es costoso y elaborado, para cuya selección se realizará con base en los criterios de pérdidas por ignición (PPI) que son una buena aproximación de las concentraciones de la materia orgánica de los sedimentos y el perfil de PPI respecto a la profundidad permite estimar de manera gruesa, si las concentraciones de la materia orgánica presentan la tendencia típica de decaimiento exponencial, resultado de la descomposición por acción bacteriana (Ruiz-Fernández y Sánchez-Cabeza, 2009). Los perfiles típicos de degradación de la materia orgánica normalmente sólo pueden ser observados en una columna sedimentaria mínimamente alterada, así que un perfil de concentraciones de PPI que muestre esta tendencia, indicaría la ausencia de mezcla en el testigo sedimentario, y por lo tanto, buenas posibilidades de proveer un fechado confiable con el método de ^{210}Pb (Ruiz-Fernández y Sánchez-Cabeza, 2009).

Teniendo en cuenta la obtención de un testigo sedimentario útil para la aplicación de la técnica de ^{210}Pb , de cada testigo tomado se determinó la humedad en cada sección secando a una temperatura de 45°C en estufa, se calculó el porcentaje de humedad de la muestra utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{(\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}) \times 100}{\text{Peso fresco}}$$

El análisis de pérdidas por ignición, se tomo una alícuota de peso conocido (~0,5 g) de cada sección del testigo sedimentario y se calino en un crisol de porcelana, a 450°C durante 8 horas. La muestra se dejo enfriar hasta 80-100°C y se transfirió a un desecador, donde se dejó enfriar a temperatura ambiente antes de volver a pesarse (Ruiz-Fernández y Sánchez-Cabeza, 2009). Las PPI se calculan utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{PPI (\%)} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso calcinado}) \times 100}{\text{Peso inicial}}$$

Evaluación de perfiles de PPI

Se evaluó los perfiles de sedimentos por perdidas por ignición PPI en cada una de las estaciones muestreadas en marzo y agosto de 2012, en la cuenca El Cove. La estación 01 el Gully al ser una "Laguna" en el cual convergen arroyos en la época de lluvias se consideró como un sitio adecuado para evaluar la sedimentación de la cuenca, sin embargo durante los dos muestreos realizados se evidenció que la "Laguna" presenta poca altura de la columna de agua (<1,0 m) y la profundidad sedimento es muy baja <25 cm hasta donde se encontró roca. Del perfil de PPI se encontró mezclado en la superficie <8,0 cm (Figura 5-2, A, B), no obstante a partir de este punto se encontró una tendencia constante del contenido de materia orgánica volátil en los dos testigos tomados, es de resaltar que los dos testigos tomados muestran una tendencia similar a lo largo de todo el perfil, por lo que se podría inferir que todo el "Laguna" tiene un comportamiento similar. Sin embargo debido a la poca profundidad de la columna sedimentaria no se muestra una tendencia exponencial que se esperaría para un buen fechado con ²¹⁰Pb, por lo tanto no se recomienda este sitio como posible punto de muestreo para determinación de tasas de sedimentación y reconstrucción histórica por técnicas nucleares.

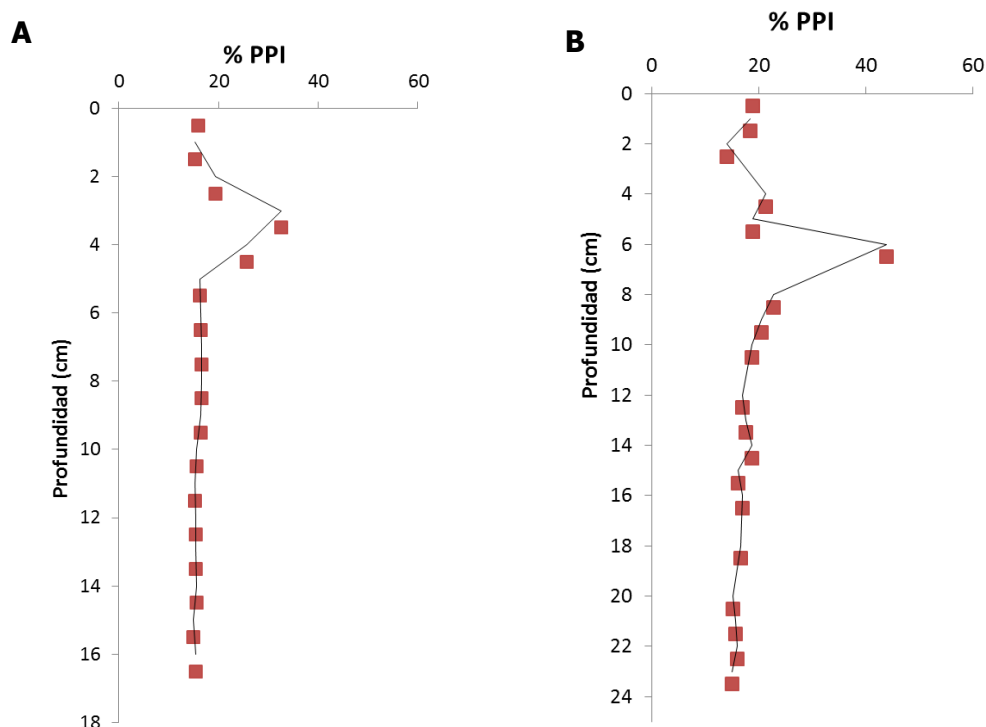


Figura 5-2 Perfiles de PPI de sedimentos tomados en cada uno de los muestreos (A) marzo y (B) agosto de 2012, en la estación 01 Cuenca el Cove en san Andrés Islas.

Los perfiles de sedimento obtenidos en la estación 03 manglar fueron de 27 y 33 cm de profundidad en marzo y agosto respectivamente (Figura 5-2, A y B), el perfiles de PPI mostraron tendencias muy diferentes mientras en el de marzo se evidencia una relación inversa a la esperada en la cual el contenido de materia orgánica volátil incrementa con la profundidad, mientras en de agosto muestra un perfil mezclado hasta los 20 cm de profundidad, lo cual muestra que la zona de manglar no tiene una tendencia similar en toda su extensión con relación al comportamiento de la mineralización de la materia orgánica y por consiguiente a la deposición de sedimentos, con esta interpretación de los perfiles tomados se determina este sitio como no apto para el fechado por ^{210}Pb .

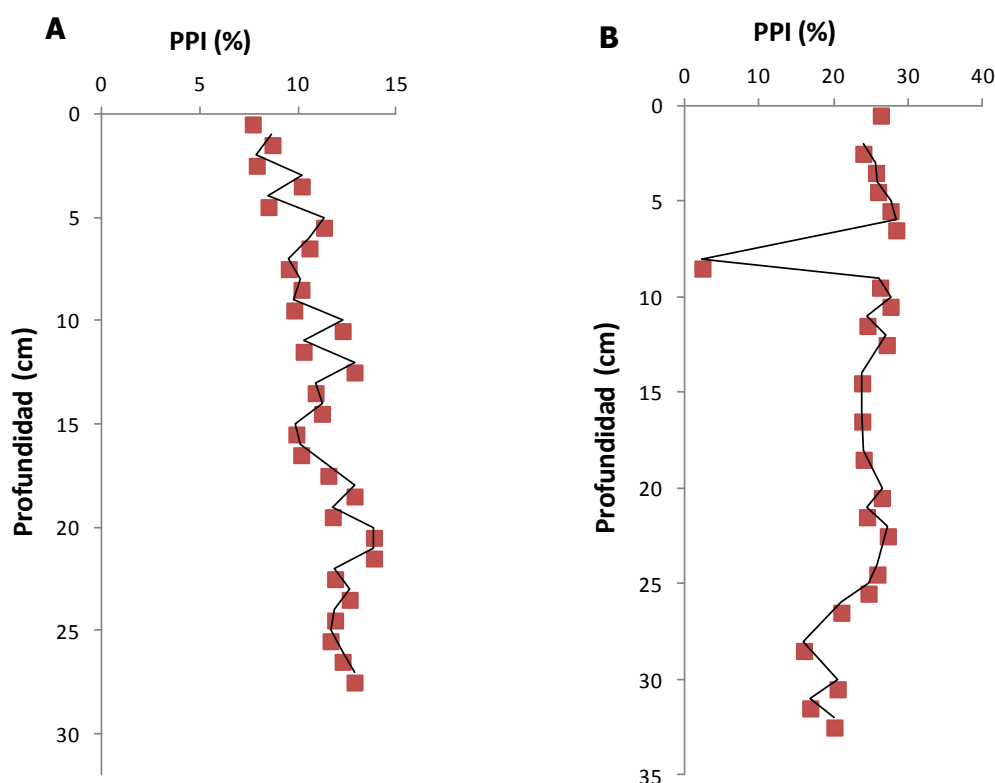


Figura 5-3 Perfiles de PPI de sedimentos tomados en cada uno de los muestreos (A) marzo y (B) agosto de 2012, en la estación 03 manglar en la cuenca El Cove en san Andrés Islas.

En la estación 04 ubicada en la bahía El Cove, se tomaron perfiles sedimentarios de una profundidad de 31 y 28 cm en los muestreos de marzo y agosto respectivamente. En la Figura 5-2, A se puede observar la tendencia del perfil de materia orgánica volátil obtenido en marzo de 2012 el cual muestra una disminución exponencial en los primeros centímetros y una porción de mezcla de los 6 a los 9 cm, luego continua con una tendencia decreciente hasta los 20 cm a partir de donde la tendencia es más estable, mientras el perfil de agosto muestra un poco de mezcla en la superficie <5 cm, luego una disminución exponencial hasta los 15 cm y al final una tendencia constante hasta los 28 cm Figura 5-2, B. Con la interpretación de estos perfiles de PPI se puede tomar como el sitio como adecuado para determinar la tasa de sedimentación y el fechado con la técnica nuclear de ^{210}Pb .

Por otra parte se obtuvo un perfil sedimentario hacia el centro de la bahía el Cove en el muestreo de agosto Figura 5-2 B, el cual muestra a lo largo del perfil de PPI una clara disminución y tendencia exponencial, por lo cual se considera como un perfil adecuado para realizar la datación por ^{210}Pb y lograr obtener una tasa de sedimentación histórica en la bahía el Cove que es donde llega gran parte del sedimento arrastrado durante los periodos de lluvias de la parte alta de la cuenca El Cove.

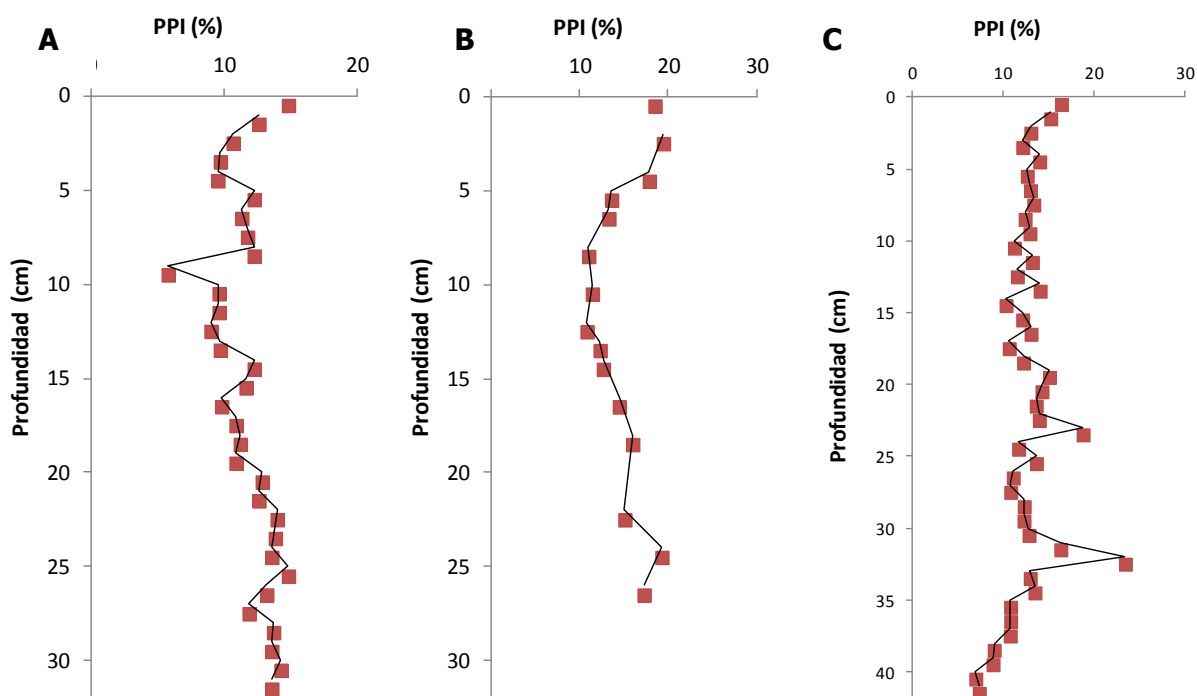


Figura 5-4 Perfiles de PPI de sedimentos tomados en cada uno de los muestreos (A) marzo y (B) agosto de 2012, en la estación 04 adentro bahía El Cove y (C) estación 05 centro bahía El Cove tomado en agosto de 2012, en san Andrés Islas.

6. CONCLUSIONES GENERALES Y CONSIDERACIONES FINALES

Con referencia a la calidad de las aguas en las estaciones muestreadas durante el monitoreo de marzo y agosto de 2012, se puede evidenciar que las estaciones muestreadas difieren en tipo de aguas, encontrándose desde aguas de "Laguna" como la estación 01 Gully, agua estancada y afectada por vertimiento de aguas residuales (estación 03 manglar), aguas marinas (estaciones 04 y 05), agua subterránea y agua de un vertimiento. Sin embargo ninguna de las estaciones con referencia a los parámetros fisicoquímicos (temperatura, oxígeno disuelto y salinidad) mostró valores que indicaran alguna afectación. En cuanto a los nutrientes la estación de la bahía El Cove (04) tuvo concentraciones muy altas de nitrato en el muestreo de marzo sin embargo en el siguiente muestreo la concentración estuvo dentro del valor considerado como fue normal para este tipo de aguas, lo que sugiere una influencia antropogénica, pero se requiere mayor información para identificar la fuente, el amonio y los fosfatos en la estación 03 manglar mostro valores altos con relación a las demás estación lo que puede relacionarse a la entrada de aguas residuales a esta zona. Con relación a los tóxicos orgánicos no se evidencia algún impacto por plaguicidas organoclorados y ni organofosforados en el agua de las estaciones monitoreadas en la cuenca El Cove. Los metales pesados analizados no mostraron concentraciones que rebasaran los valores de referencia de guías internacionales.

Los análisis del sedimento muestran que con relación a la textura prevalecieron los limos y arcillas en las estaciones analizadas excepto la estación 02 en el muestreo de marzo donde se encuentran acumulaciones de arenas finas y medio finas, sin embargo en el muestreo realizado durante las lluvias en agosto de evidencia un incremento de los limos en el sedimento superficial que puede tratar del material arrastrado por el agua que baja por este canal. Los mayores contenidos de limos facilitan una mayor acumulación de material orgánico que se evidencia en los mayores valores de materia orgánica oxidable obtenidos en estas estaciones. Los contenidos de materia orgánica en el sedimento muestran que la estación 03 manglar presenta un valor muy alto hasta para las zonas de manglar esto unidos a lo altos valores de amonio y fosfatos en el aguas se concluye que la entrada de aguas residuales a esta zona es marcada. Con relación a los metales pesados el plomo, cadmio, cobre y zinc mostraron concentraciones muy por debajo de los valores de riesgo en guías internacionales, mientras que el níquel mostro concentraciones que rebasan los valores de riesgo sin embargo se podría atribuir estas concentraciones al material geológico ya que no se evidencias fuentes de este elemento en la zona. Los plaguicidas en general no fueron detectados sin embargo en las estaciones 01, 03 y 04 se registraron trazas de DDE que indicarían que en algún momento se utilizo el DDT en la zona, sin embargo las concentraciones encontradas están muy por debajo de los valores indicados como de riesgo en guías internacionales.

El análisis de los perfiles de pérdidas por ignición mostró que la zona de la bahía el Cove (estación 04 y 05) es la zona más adecuada para la aplicación de técnicas nucleares para la medición de tasas de sedimentación y realizar reconstrucción histórica de la contaminación y se pueden utilizar los testigos tomados durante este estudio para realizar el análisis y que se encuentran en custodia en el INVEMAR. Estos resultados sugieren además que las estaciones del "Laguna" Duppy Gully (01) y del manglar (03) no son adecuadas para la aplicación de técnicas nucleares para obtener tasa de sedimentación, la cual implicaría la necesidad aplicar metodologías alternativas para el análisis de tasas de sedimentación en estas estaciones como el uso de trampas de sedimentos para estas zonas. Para un estudio de tasas de sedimentación y reconstrucción histórica de la contaminación, con los datos obtenidos de contaminantes en sedimentos superficiales se recomienda evaluar la entrada de plaguicidas organoclorados.

7. LITERATURA CITADA

- ALONGI, D.M, J. PFITZNER, L.A. TROTT, F. TIRENDI, P. DIXON, y D.W. KLUMPP. 2005. Rapid sediment accumulation and microbial mineralization in forests of the mangrove *Kandelia candel* in the Jiulongjiang Estuary, China. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 63: 605-618.
- AMAYA, A. y P. ABDULAZIS, 2004. Informe de los monitoreos sistemáticos en la isla de San Andrés y providencia. Periodo 1997 – 2004. Implantación del Sistema de Monitoreo, Control Y Evaluación de la Calidad Ambiental en el Archipiélago. Subdirección de Gestión Ambiental. CORALINA. 32 p
- ANSARI, T. M., I. L. MARR y N. TARIQ. 2004. Heavy metals in marine pollution perspective-a mini review. *Journal of Applied Science*, 4: 1-20.

- ANZECC. 2000. Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. Australian New Zealand Environment & Conservation Council, Sidney, 225 pp.
- APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION), AWWA (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION) Y WEF (WATER ENVIRONMENT FEDERATION). 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. United States of America.
- AXELSSON, V. y F. EL-DAOUSHY. 1989. Sedimentation in the Edsviken bay studied by the X-ray and the Pb-210 methods. Geografiska Annaler 71A. BARRERA, S. 2001. Plan nacional de gestión de aguas residuales. Primer informe de avance. Ministerio del medio Ambiente y Universidad de los Andes. Bogotá. 86 p.
- BONILLA, J., J. PEINADO, M. URDANETA Y E. CARRASCAL. 2000. Informe nacional sobre el uso y manejo de plaguicidas en Colombia, tendiente a identificar y proponer alternativas para reducir el escurrimiento de plaguicidas al mar Caribe. Bogotá, 108 p.
- BOLAÑO, M., L. ECHEVERRY, B. CADAVID, P. BAUTISTA, C. SÁNCHEZ, y C. URIBE. 2009. Calidad de aguas, sedimentos y comunidades hidrobiológicas en Bahía Colombia, Golfo de Urabá. Informe Técnico Final, para la empresa Puerto Bahía de Colombia Urabá S.A. Santa Marta, 85 p + Anexos.
- BOYES, S. y M. ELLIOTT. 2006. Organic matter and nutrient inputs to the Humber estuary, England. Mar. Poll. Bull. 53:136–143.
- BUCHMAN, M.F. 2008. Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs). NOAA OR&R report 08-1 Seattle WA, office of response and restoration division, national oceanic and atmospheric administration, 34p.
- BROECKER, W.S. y T.H. PENG. 1982. Tracers in the sea. Lamont-Doherty Geological Observatory. Nueva York, 690 p.
- CARPENTER J. y G. CAPONE. 1983. Nitrogen in the marine environment. Academic press, INC. New York. 900pp CCME. CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. 2010. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Ammonia. Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment. 8p.
- CARVAJALINO M., D. RODRÍGUEZ, L.J. VIVAS-AGUAS y M. TOSIC. 2011. Diagnóstico nacional de la información de vertimientos puntuales a aguas marinas del país (33-71pp). En: INVEMAR-MADS. 2011. Desarrollo de fundamentos para el establecimiento de los parámetros y los límites máximos permisibles de los vertimientos puntuales a las aguas marinas en Colombia. Informe Técnico. Convenio interadministrativo de asociación No. 104 de 2011. INVEMAR/MADS. Santa Marta. 189 p
- CHESTER, R. 1990. Marine Geochemistry. Chapman y Hall, Londres 2nd edition, Blackwell Science, 528 p.

- CIAVOLA, P.; C. ORGANO; L. LEÓN-VINTRÓ Y P.I. MITCHELL. 2002. Sedimentation Processes on Intertidal Areas of the Lagoon of Venice: Identification of Exceptional Flood Events (Acqua Alta) Using Radionuclides. *Journal of Coastal Research*. 36:139-147.
- CONAMA, 1986. Consejo nacional del medio ambiente. Resolución No. 20 de 1986. Brasil.
- CONAMA, 2009, Consejo Nacional del Medio Ambiente. Norma de calidad primaria para la protección de aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo. Decreto 144, 05 marzo, 2009. Republica de Chile. 10 p.
- CONPES. Consejo Nacional de Política Económica y Social. 2005. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de San Andrés: Proyecto de Importancia Estratégica para el País en el Marco del Programa de Modernización Empresarial del Sector. DNP: DDUPA/MAVDT/SSPD. Documento Conpes 3350. Bogotá. 12 p.
- DANE, 2009. Sistema de Consulta Información Censal. Censo 2005 DANE. Censo básico. Procesado con Redatam+SP, Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE), CEPAL, Santiago, Chile. 26 de febrero 2009. <http://www.dane.gov.co/>
- DIETRICH, G., K. KALLE, W. KRAUSS y G. SIEDLER. 1980. General oceanography. An introduction. A Wiley-Interscience Publication, New York. 626 pp.
- EWEIS, J.B., S.J. ERGAS, D.P. Y. CHANG y E.D. SCHROEDER. 1999. Principios de biorrecuperación: Tratamientos para la descontaminación de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y físico-químicos. Mc. Graw-Hill. Madrid. 327 p.
- FANG, T., X. LIA y G. ZHANG. 2005. Acid volatile sulfide and simultaneously extracted metals in the sediment cores of the Pearl River Estuary, South China. *Ecotoxicol. Environ. Safety*. 61: 420–431
- GARAY, J., B. MARÍN, G. RAMÍREZ, J. BETANCOURT, W. TRONCOSO, M. GÓMEZ, B. CADAVID, M. VÉLEZ, D. ROZO, L. ARIAS y J. VIVAS. 2002. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. –REDCAM-. Informe Técnico. Instituto de investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” INVEMAR. Santa Marta. 260 p.
- GARAY, J.; RAMIREZ G.; BETANCOURT, J.; MARIN, B., CADAVID B., PANIZZO, L.; LESMES, J., SANCHEZ, H. y A. FRANCO. 2003. Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. INVEMAR, Santa Marta, 177p. (Serie Documentos Generales N° 13).
- GIANI. L., Y. BASHAN, G. HOLGUIN, y A. STRANGMANN. 1996. Characteristics and methanogenesis of the Balandra lagoon mangrove soils, Baja California Sur, Mexico. *Geoderma*, 72: 149-160.
- INVEMAR. 2006. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. REDCAM. Informe Técnico 2006. INVEMAR. Santa Marta. 344 p.
- INVEMAR. 2003. Programa holandés de asistencia para estudios de cambio climático, Colombia: Definición de la vulnerabilidad de los sistemas bio-geofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (Caribe Continental, Caribe

- Insular y Pacífico) y medidas para su adaptación. VII Tomos, Resumen Ejecutivo y CD-Atlas Digital. Programa de Investigación para la Gestión Marina y Costera - GEZ, Santa Marta, Colombia. ISBN: 958-97264-2-9.
- KOZERSKI H. P. 1994. Possibilities and limitations of sediment traps to measure sedimentation and resuspension. *Hydrobiologia* 284: 93- 100,
- KJERFVE, B., L.H. STEVENSON, J. A. PROLE, T.H. CHRZANOWSKI y W.M. KITCHENS. 1981. Estimation of material flux in an estuarine cross section: A critical analysis of spatial measurement density and errors. *Limnol. Oceanog.* 26 (2): 325-335.
- KIELY, G. 1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Mc. Graw Hill. España. 133 pp.
- LÓPEZ-RODRÍGUEZ, A.; GARCÍA, M.; SIERRA-CORREA, PC.; HERNÁNDEZ-ORTIZ, M.; MACHACÓN, I.; LASSO, J.; BENT, O.; MITCHEL A.; SEGURA, C.; NIETO, S. y ESPRIELLA, J. 2009. Ordenamiento Ambiental de los manglares del Archipiélago San Andrés, Providencia y Santa Catalina. 117 pág. + 2 anexos. Serie de documentos generales No 30.
- MARRS T.C. y B. BALLANTYNE (Ed.) 2004. Pesticide Toxicology and International Regulation. John Wiley & Sons, Ltda. Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England. 566p.
- MARIN, J.C.; H. LEDO; J.L. HERNANDEZ Y C. LOPEZ. 1999. Variación vertical y temporal de la productividad primaria y su relación con algunos elementos nutritivos en un reservorio de agua tropical, río Socuy. Venezuela. *Ciencia* 7(2), 163-180.
- MÁRQUEZ, A., J. BONILLA, G. MARTÍNEZ, W. SENIOR, D. AGUILERA y A. GONZÁLEZ. 2005. Estudio geoquímico de los sedimentos superficiales del litoral nororiental del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Instituto de Oceanografía, Universidad del Oriente* 44: 89-103.
- MINSALUD (Ministerio de Salud). 1984. Decreto No. 1594 del 26 de junio. 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. 52p.
- MUÑOZ, P.;C.B. LANGE; D. GUTIERREZ; D. HEBBELN; M.A. SALAMANCA; L. DEZILEAU; J.L. REYSS y L.K. BENNINGER. 2004. Recent sedimentation and mass accumulation rates based on 210Pb along the Peru-Chile continental margin. *Deep-Sea Research II.* (51) 2523-2541
- ODUM, E. P. 1972. Ecología. Nueva editorial Interamericana, 3ed. México, 640pp.
- PAERL, H. W. 2006. Assessing and managing nutrient-enhanced eutrophication in estuarine and coastal waters: Interactive effects of human and climatic perturbations. *Ecological Engineering*, 26: 40-54.
- PETRONI, R. 2005. Hidráulica marítima y de estuarios. Dunken. Buenos Aires. 527 p.
- PNUMA-UCR/CAR. 2011. REPCAR. Residuos de plaguicidas agrícolas en aguas costeras del caribe 2008-2011. Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Disponible en: www.cep.unep.org/repcar.

- RODRIGUEZ, R.; L. CANDELA; J. PROENZA; M. HIDALGO y V. SALVADO. 2002. Presencia de cromo, níquel y manganeso en las aguas subterráneas del municipio de Moa (Noreste de Cuba): Discusión sobre su origen. En groundwater and human developedment. IAH Selected Papers on Hydrogeology 6 (International Association of Hydrogeologists Selected Papers). 495-505 pp.
- RUIZ-FERNANDEZ, A.C. y J.A. SÁNCHEZ-CABEZAS (ed). 2009. Guía para el uso de sedimentos en la reconstrucción histórica de la contaminación en zonas costeras. Laboratorio de Radiometría Laboratorios del Medio Ambiente Marino. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Monaco. 151pp.
- SÁNCHEZ-CABEZAS, J.A.; M. DIAZ y A. C. RUIZ-FERNANDEZ (ed). 2011. Radiocronología de sedimentos costeros utilizando ^{210}Pb : modelos, validación y aplicaciones. Laboratorio de Radiometría Laboratorios del Medio Ambiente Marino. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Monaco. 137pp.
- SCHRIMM, M., R. BUSCAIL y M. ADJEROUD. 2004. Spatial variability of the biogeochemical composition of surface sediments in an insular coral reef ecosystem: Moorea, French Polynesia. *Estuarine Coastal Shelf Science*, 60: 515–528.
- SOLANO, O.D., J. BETANCOURT, H.F. SÁENZ, F. VILLALOBOS, B. CADAVID y J. SÁNCHEZ. 2008. Monitoreo de calidad de aguas, sedimentos, fauna asociada a manglar y bentos en el área de influencia del dragado en el puerto de Buenaventura. INVEMAR, Coordinación de Servicios Científicos. Informe Técnico Final para la empresa Jan de Nul, Santa Marta. 161p + anexos.
- SUPERSERVICIOS. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. 2008. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia 2008. 14p. Disponible en: www.superservicios.gov.co.
- 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.
- VALDÉS, J., A. SIFEDDINE y E.LÁLLIER-VÉRGES. 2004. Petrographic and geochemical study of organic matter in surficial laminated sediments from an upwelling system (Mejillones del Sur Bay, Northern Chile). *Organic Geochemistry*, 35: 881-894.
- VALETTE-SILVER N. 1993. The use of sediment cores to reconstruct historical trends in contamination of estuarine and coastal sediments. *Estuaries* 16:577-588.