



CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 317 DE 2018 PRY – GEO – 003 -19

MONITOREO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DE LA CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA 2018-2030

Primer informe técnico de avance – ITA01



Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de
Andréis” – INVEMAR

Santa Marta, marzo 28 de 2019

Informe Técnico de Avance No.1

CUERPO DIRECTIVO

Director

Francisco Armando Arias Isaza

Subdirector Coordinación Científica (SCI)

Jesús Antonio Garay Tinoco

Coordinadora Coordinación de Investigación e Información para la Gestión Marina y Costera (GEZ)
Paula Cristina Sierra Correa

Coordinador Programa Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)

David Alejandro Alonso Carvajal

Coordinador Programa Valoración y Aprovechamiento de Recursos Marinos (VAR)

Mario Rueda Hernández

Coordinadora Programa Calidad Ambiental Marina (CAM)

Luisa Fernanda Espinosa Díaz

Coordinadora Programa de Geociencias Marinas y Costeras (GEO)

Constanza Ricaurte Villota

Coordinador Coordinación de Servicios Científicos (CSC)

Julián Mauricio Betancourt Pórtela

Subdirectora Subdirección Administrativa (SRA)

Sandra Rincón Cabal

Programa Geociencias Marinas y Costeras

Constanza Ricaurte Villota

Martha Bastidas Salamanca

César Fernando García Llano

Juan Sebastián Ponce Bastidas

Julio Enrique Rodríguez

Francisco Briceño Zuluaga

Santa Marta, marzo 28 de 2019

Imagen portada: Boca del río Sevilla hacia el cuerpo principal de agua de la CGSM (febrero de 2019). César Fdo. García y Juan S. Ponce.

El INVEMAR, realiza investigación básica y aplicada de los recursos naturales renovables y del medio ambiente en los litorales y ecosistemas marinos y oceánicos de interés nacional con el fin de proporcionar el conocimiento científico necesario para la formulación de políticas, la toma de decisiones y la elaboración de planes y proyectos que conduzcan al desarrollo de éstas, dirigidos al manejo sostenible de los recursos, a la recuperación del medio ambiente marino y costero y al mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos, mediante el empleo racional de la capacidad científica del instituto y su articulación con otras entidades públicas y privadas.

Calle 25 No. 2 -55 Playa Salguero – Rodadero, Santa Marta, Colombia. PBX: (57) (5) 4328600

Fax: (57) (5) 4380801, [http:// www.invemar.org.co](http://www.invemar.org.co)

CLÁUSULA DERECHOS DE AUTOR

"De acuerdo con la Decisión Andina 351 de 1993, Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993 y demás normas modificatorias, complementarias y concordantes la presente propuesta de carácter científico goza de protección legal, siendo el INVEMAR el único titular de los derechos patrimoniales de autor, por lo que tiene el control sobre cualquier forma de utilización y ostenta la facultad exclusiva para autorizar o prohibir cualquier explotación que sobre la obra se realice, incluyendo la reproducción, comunicación, distribución pública, traducción, adaptación, arreglo o cualquiera otra forma de la obra. Por todo lo anterior para su utilización se requerirá autorización previa y expresa, no requerirá autorización para el ejercicio del derecho de cita en las reproducciones parciales para lo cual se deberá indicar expresamente la fuente y la autoría de INVEMAR"

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	2
3	METODOLOGÍA.....	2
3.1	Área de estudio	2
3.2	Métodos	4
4	RESULTADOS	7
4.1	Monitoreo hidrológico	7
4.2	Monitoreo sedimentológico	13
4.3	Observaciones aéreas.....	15
4.4	Otras actividades realizadas	17
5	CONCLUSIONES.....	19
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

1 INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la dinámica hidro-sedimentológica es fundamental para explicar los procesos biogeoquímicos y ecológicos que ocurren en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM). Desde el año 2016 y dada la importancia de los estudios físicos, INVEMAR planteó el “Estudio Integral de la Ciénaga Grande de Santa Marta”, el cual se desarrolló por fases y permitió, entre otras actividades, dar inicio al monitoreo hidro-sedimentológico del complejo lagunar (INVEMAR-MADS, 2016; INVEMAR-MADS-PNN, 2017, INVEMAR-MINAMBIENTE, 2018; INVEMAR-CORPAMAG, 2018).

El Convenio INVEMAR-CORPAMAG 317 de 2018 apunta a continuar y fortalecer este monitoreo, así como a desarrollar temas de investigación que aporten a mejorar la gestión del recurso hídrico en la ecorregión. Teniendo en cuenta la importancia de contar con series de tiempo robustas que permitan identificar cambios en los volúmenes de agua y sedimentos en diferentes épocas del año, se está dando continuidad al monitoreo hidrológico mensual iniciado en 2017 en los principales caños y ríos que desembocan en la CGSM, así como de los procesos sedimentológicos que ocurren al interior del espejo de agua principal.

En cuanto a temas de investigación que aporten a mejorar la gestión del recurso hídrico, en el año 2019 se está avanzando en la actualización de las curvas Caudal – Nivel (curvas Q-H) obtenidas en INVEMAR-CORPAMAG (2018) y en realizar la descripción de los sedimentos de fondo que transportan los ríos que provienen de la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM). Esta última actividad incluye la estimación de la cantidad de sedimento que se transporta por los afluentes, para lo cual se está implementando la técnica Helley – Smith para la cuantificación de dicho material con la utilización de un captador de sedimentos. Esta información permitirá definir una tasa de ingreso sedimentario complementaria a lo descrito en el 2018.

En este informe se reportan las actividades desarrolladas durante los meses de enero y febrero de 2019, los cuales son representativos de la época seca debido a las condiciones climáticas propias que experimenta el Caribe colombiano a principios de año y que particularmente para el 2019, se han visto exacerbadas por la manifestación de un fenómeno de El Niño que, para fecha de elaboración de este informe, se consideraba en desarrollo.

2 OBJETIVOS

General

Aunar esfuerzos técnicos y financieros entre el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” –INVEMAR– y la Corporación Autónoma Regional del Magdalena-CORPAMAG con el fin de adelantar el monitoreo hidro-sedimentológico de la Ciénaga Grande de Santa Marta 2018 – 2030.

Específicos

1. Continuar el monitoreo en los componentes hídrico y sedimentológico en la CGSM durante el periodo 2018-2030.
2. Emplear los resultados del monitoreo para avanzar en temas científicos de especial interés en la CGSM.

3 METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

Para dar continuidad a las actividades de monitoreo llevadas a cabo por INVEMAR en el complejo lagunar, en el 2019 se están visitando de forma mensual las estaciones de mediciones de caudal en las bocas de los ríos (Sevilla, Aracataca y Fundación) y caños (Clarín y Grande) así como en la boca de La Barra (Fig. 1). Adicionalmente, se visitan estaciones de monitoreo de niveles y caudales en puntos estratégicos de ríos (después de su paso por la zona agrícola) y caños (recién derivados del río Magdalena y antes de transitar por el complejo lagunar), también monitoreadas desde el 2017. Finalmente y con base en los resultados obtenidos en 2018, se optimizó la malla de estaciones dentro del espejo de agua principal y ciénaga de Pajarales para la medición de turbidez e instalación de trampas de sedimentos.

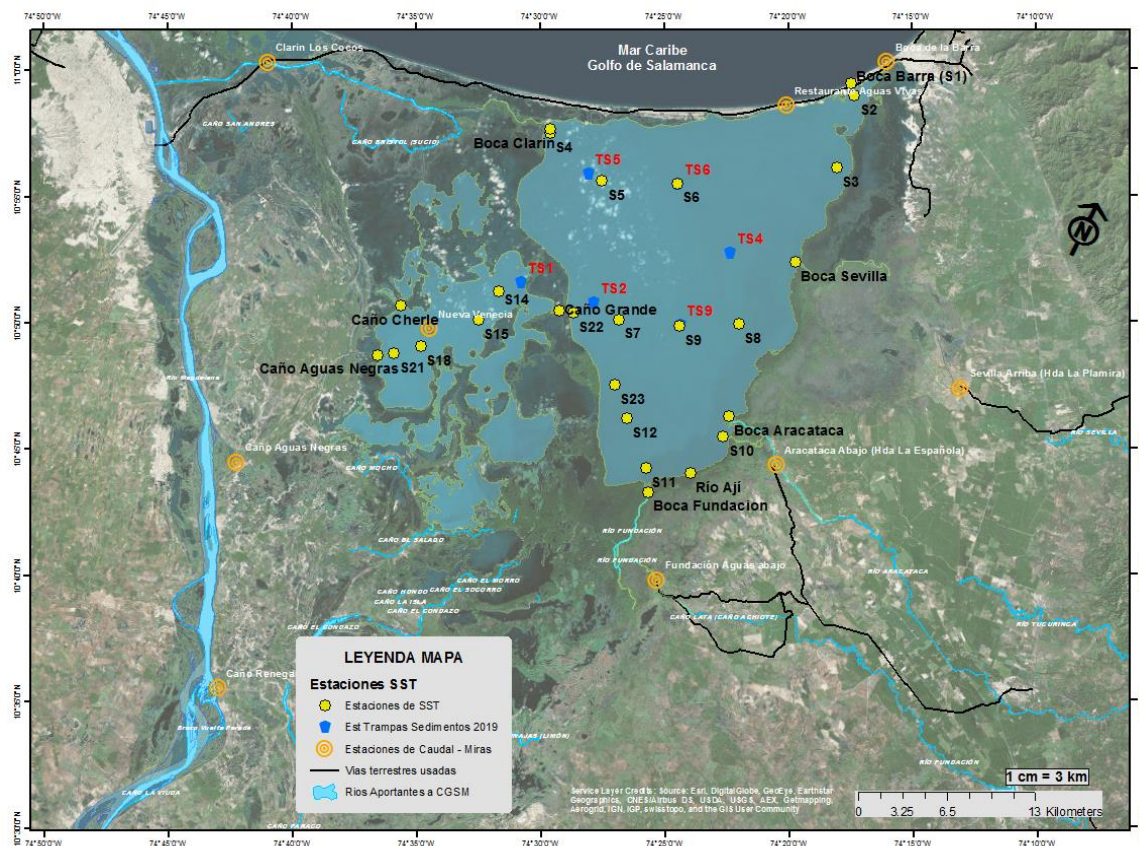


Figura 1. Mapa del complejo lagunar CGSM donde se observa la distribución de las estaciones del monitoreo hidro-sedimentológico (caudales, niveles y sedimentos)

Durante los meses de enero y febrero de 2019 se presentó un periodo de sequía como es habitual para el Caribe colombiano, el cual se ha visto recrudecido por condiciones El Niño. Los reportes generados por autoridades internacionales como NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) y CIIFEN (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno El Niño), indican que en el Pacífico tropical se mantiene activo el estado de alerta El Niño de magnitud débil, debido a que se mantiene el esperado arribo de una onda Kelvin cálida en el mes de marzo que contribuya al aumento de la temperatura superficial del mar, ocasionando que las condiciones de El Niño débil continúen durante los meses de marzo abril y mayo de 2019 en el hemisferio norte con un 55% de probabilidad. A nivel nacional y según el último reporte del IDEAM (14/02/2019), se evidenció una afectación continental principalmente en los niveles de los ríos, de modo que el Cauca y Magdalena presentaron una tendencia general al descenso, lo cual se espera que afecte directamente su navegabilidad. Durante el recorrido terrestre del mes de febrero (sobre la carretera Palermo-Sitio Nuevo, paralela al río Magdalena), se pudo evidenciar el bajo nivel del río; dando indicios de que el agua que estuvo ingresando a los caños del complejo Pajarales era menor a lo normal (Fig. 2).



Figura 2. Cárcavas riverañas expuestas en el río Magdalena sobre el sector de Palermo (febrero de 2019).

En el caso de los ríos que descienden de la SNSM, INVEMAR-CORPAMAG (2018) identificaron que estos presentan sus niveles más bajos durante el primer trimestre del año y que después de su paso por la zona agrícola, sus niveles descienden aún más. Esta fuerte presión hídrica a principios de año se ve reforzada bajo una condición El Niño, como la presentada al momento de elaboración de este informe.

3.2 Métodos

Turbidez y salinidad

En las estaciones al interior del espejo de agua principal y ciénaga de Pajarales, se realizaron mediciones de transparencia del agua con disco Secchi, así como toma de muestras de agua de superficie para posterior determinación de sólidos suspendidos totales (SST) en laboratorio por el método gravimétrico. Estos últimos no son reportados en el presente informe por estar aún en proceso de determinación y análisis. En estas estaciones también se hicieron mediciones puntuales de salinidad superficial con sonda multi-paramétrica, con el fin de usar estos datos

como marcador de la señal de los ríos e influencia marina. Adicionalmente, se midieron profundidad y magnitud y dirección del viento para posteriores asociaciones entre variables.

Caudales

Para la medición de caudales en los primeros meses del año y teniendo en cuenta la condición de bajos niveles de los ríos, se empleó un molinete marca *Rickly Hidrological* (Fig. 3). Este es un método sencillo y confiable para determinar caudal en las situaciones de poca profundidad, donde no se pueden usar métodos acústicos (tecnología ADCP). Su funcionamiento se basa en impulsos eléctricos que se producen al interior de una rueda que gira al ser empujada por la fuerza del caudal. Dependiendo su fuerza, varía el número de revoluciones en un tiempo de 40s. Luego, con ayuda de una tabla de equivalencias, se puede calcular la velocidad de la corriente por secciones; esto, multiplicado por la suma de las áreas parciales de una sección transversal, resulta en un caudal estimado bastante preciso (Ec. 1).

$$Q_p = A_p * V_p. Media \quad (Ec. 1)$$

Q_p = Caudal parcial

A_p = Área parcial

$V_p. Media$ = Velocidad media de la sección parcial.

Teniendo los caudales parciales, se suman para calcular el caudal total. Si se suman todas las áreas parciales con las velocidades parciales se obtiene el caudal total del aforo.



Figura 3. Uso del molinete para la medición de caudal en ríos de poca profundidad.

Sedimentos

Para poder calcular el flujo de masa total (FMT) de sedimentos en la CGSM, se instalaron 6 trampas de sedimento, distribuidas según criterios de batimetría, turbidez y cercanía a las desembocaduras de los afluentes (INVEMAR-CORPAMAG, 2018). Esto, con el objetivo de caracterizar la dinámica sedimentaria en la columna de agua y su variabilidad espacio temporal asociada al material en proceso de transporte y sedimentación. El cálculo del FMT se realiza siguiendo los parámetros propuestos por Albuquerque *et al.* (2014), considerando la ciénaga como un escenario en donde la dispersión de sedimentos se ve controlada por fuentes de origen fluvial (continental), biogeoquímico o asociado procesos de resuspensión de material existente en el sistema (INVEMAR-CORPAMAG, 2018).

Con respecto al muestreo de sedimentos de fondo, este se realizó utilizando el equipo y la técnica de Helley-Smith que consiste en el uso de un equipo muestreador de acero inoxidable, compuesto de armazón, bolsa colectora y boca de entrada de sedimento, con un área y diámetro definido (Fig. 4). El equipo presenta un peso aproximado de 30 kg y una capacidad de almacenamiento de muestra de 1900 cm³ aproximadamente.

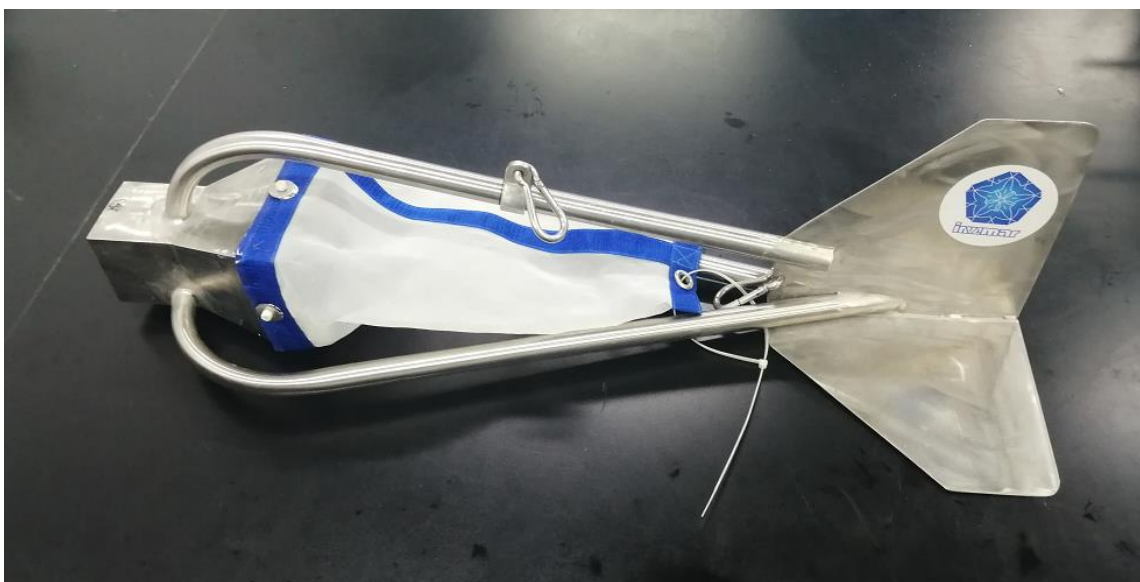


Figura 4. Equipo muestreador de sedimentos. Diseño basado en Emmet, W. W. (1981).

El objetivo de este equipo es muestrear los sedimentos que están siendo transportados en el fondo del cauce de los ríos, ya sea por procesos de rodamiento o saltación. El diseño de la técnica reduce la captación de material en suspensión asociado a la columna de agua, por lo que permite realizar estimaciones acerca de la tasa media de transporte y carga en el fondo del cauce; así como proporcionar información de las variaciones espaciales y temporales en la tasa

de transporte. Este equipo tiene una mayor eficiencia para partículas entre 0.5 mm a 16 mm. Por encima (o por debajo) de este rango, existe una mayor incertidumbre en cuanto a su eficiencia.

El muestreo de este material permite caracterizar la capacidad de carga y transporte del río (de manera puntual). Así mismo, esta metodología posibilita comparar con los resultados de los meses próximos y de este modo describir la dinámica energética y granulométrica del proceso de transporte, sedimentación y erosión para este y los demás puntos de muestreo, además de su relación con la actividad hidro-sedimentológica de la CGSM.

Observaciones aéreas

Durante el mes de enero y para algunas estaciones, se utilizaron nuevas tecnologías de observaciones a distancia con ayuda de un drone (Phantom 4 Pro). Con este equipo se obtuvieron imágenes aéreas con alta resolución ($\pm 0.2m$), logrando identificar en ellas, bajos de sedimentos, bosques costeros (manglares, bosque seco tropical), estado de bocas de los ríos y caños sobre la CGSM.

4 RESULTADOS

4.1 Monitoreo hidrológico

Durante los meses de enero y febrero se realizaron mediciones de profundidad (m), transparencia del agua (m), salinidad superficial, velocidad (m/s) y dirección del viento en las estaciones ubicadas dentro del espejo de agua principal y Pajarales; así como caudal instantáneo (m^3/s) en las bocas de los ríos y caños que desembocan a estos cuerpos de agua (Tablas 1 y 2).

Con la información tomada en campo, se pudo identificar el comportamiento de algunas variables. En ambos meses, las mayores profundidades se registraron en caño Grande y la boca de La Barra, los cuales también registraron los mayores caudales instantáneos (Caño Grande de agua dulce y la boca de La Barra de agua salada) y las menores profundidades en la zona sur y en la desembocadura del caño Aguas Negras a la ciénaga de Pajarales. Con respecto a la transparencia del agua, en los meses de enero y febrero los mayores valores se hallaron en el sector sur de la CGSM, en las estaciones frente al río Fundación y los menores en la ciénaga de Pajarales, indicando la señal del río. Con respecto a la salinidad y como es de esperarse, los mayores valores se registraron en la boca de La Barra y los menores en la ciénaga de Pajarales.

Tabla 1. Variables medidas durante la salida de campo al espejo de agua principal y complejo de Pajarales en enero de 2019*.

Estación	Sector	Profundidad (m)	Transparencia del agua (m)	Salinidad	Velocidad Viento (m/s)	Dirección	Caudal Instantáneo
S9	Pajarales	1,5	0,5	17	0	---	---
S8	Sur	---	---	---	---	---	---
S7	Pajarales	1,8	0,45	12	0,7	NE	---
S6	Norte	1,7	0,25	10	0	---	---
S5	Norte	1,8	0,25	12	0	---	---
S4	Norte	---	---	---	---	---	---
S3	Sur	0,7	0,3	12	3,6	N	---
S23	Sur	1,2	0,45	11	1,5	NE	---
S22	Pajarales	0,9	0,2	12	0,6	NE	---
S21	Pajarales	0,1	0,2	4	2,1	N	---
S2	Norte	0,6	0,5	35	1,9	NE	---
S18	Pajarales	0,8	0,15	5	2,9	NE	---
S15	Pajarales	1,3	0,35	9	3,9	NE	---
S14	Pajarales	1,2	0,45	12	3,6	N	---
S12	Sur	0,9	0,5	12	2,1	NE	---
S11	Sur	0,4	0,2	13	2,5	NE	---
S10	Sur	1,0	0,35	11	3,3	NE	---
Rio Sevilla	Sur	0,5	0,2	12	4,2	N	No se logro ingresar
Frente a Boca Sevilla	Sur	2	0,45	12	4,6	N	---
Caño Grande	Pajarales	7,2	0,4	12	2,4	NE	134,35
Caño Cherle	Pajarales	2,9	0,25	4	1,9	N	57,60
Boca de la Barra	Norte	4,6	0,5	35	1,7	NE	-493,44
Boca de Fundación	Sur	3,4	0,6	9	2,6	NE	-3,95
Boca Clarin	Norte	---	---	---	---	---	---
Boca Aracataca	Sur	1,1	0,4	---	4,3	N	No se logro ingresar
Boca Aji	Sur	1,6	0,45	8	0	---	Sin movimiento del agua
Aguas Negras	Pajarales	---	---	---	---	---	---

*El gradiente del color indica máximos (azul oscuro) y mínimos (azul claro).

Para la estación boca de La Barra y durante el mes de enero, la medición de caudal instantáneo fue -493.44 m³/s, indicando que para el día y hora del monitoreo, dominó el aporte del mar hacia la Ciénaga. En el momento que se hizo la medición hubo un viento suave con velocidad de 1.7 m/s y proveniente de dirección Noreste. La marea para ese día se encontró en su máximo nivel y hubo un comportamiento del oleaje moderado del mara hacia la ciénaga.

Tabla 2. Variables medidas durante la salida de campo al espejo de agua principal y complejo de Pajarales en febrero de 2019*.

Estación	Sector	Profundidad (m)	Transparencia del agua (m)	Salinidad	Velocidad Viento (m/s)	Dirección	Caudal (m ³ /s) Instantaneo
S9	Pajarales	1,4	0,35	17	0,4	S	---
S8	Sur	1,5	0,2	16	5	NE	---
S7	Pajarales	1,6	0,35	15	0,6	S	---
S6	Norte	---	---	---	---	---	---
S5	Norte	---	---	---	---	---	---
S4	Norte	---	---	---	---	---	---
S3	Sur	---	---	---	---	---	---
S23	Sur	1,3	0,3	15	5,5	N	---
S22	Pajarales	0,9	0,2	8	0	---	---
S21	Pajarales	0,4	0,5	0	4,4	NE	---
S2	Norte	0,8	0,4	38	0	---	---
S18	Pajarales	0,7	0,5	0	4,5	NE	---
S15	Pajarales	1,1	0,1	6	5,5	NE	---
S14	Pajarales	1,1	0,1	2	4,4	NE	---
S12	Sur	0,3	0,3	16	5,2	N	---
S11	Sur	0,3	0,2	10	4	N	No se llega a estación
S10	Sur	0,9	0,2	14	4,5	N	---
Rio Sevilla	Sur	---	---	---	---	---	---
Frente a Boca Sevilla	Sur	0,7	0,1	14	2,7	NE	---
Caño Grande	Pajarales	6,7	0,3	14	1,6	NE	170,66
Caño Cherle	Pajarales	2,8	0,35	2	3	NO	16,66
Boca de la Barra	Norte	4,4	0,6	37	1,4	S	-496,1
Boca de Fundación	Sur	3,1	0,2	10	2,8	N	-4,42
Boca Clarín	Norte	---	---	---	---	---	---
Boca Aracataca	Sur	1,7	0,2	14	5,8	N	No se logro ingresar
Boca Aji	Sur	0,9	0,35	5	0	---	Sin movimiento del agua
Aguas Negras	Pajarales	3,1	0,5	0	0	---	16,66

*El gradiente del color indica máximos (azul oscuro) y mínimos (azul claro).

Con respecto al monitoreo de ríos (parte baja de la cuenca), se encontró para la estación “Fundación Abajo” que el nivel del agua en la lectura de la mira fue mínimo (casi cero) durante el mes de febrero, razón por la cual no se pudo realizar medición de caudal. En este mes se observó seco el cauce del río, dominado por bancos de arena compactados y mayormente vegetados (Fig. 5). La sección transversal donde normalmente se realiza la medición de caudal instantáneo se pudo atravesar caminando.



Figura 5. Estación “Fundación Abajo” el 18/02/2019 donde se evidencia el cauce seco y la mira de nivel totalmente descubierta.

En la estación “Aracataca abajo”, también se presentó un panorama similar con bajos niveles de agua y tampoco fue posible realizar la maniobra de medición. La mayor parte del flujo se desplazaba por la mitad de la sección transversal, pero no cumplía con la profundidad para poder medir su caudal instantáneo (Fig. 6). La lámina de agua no superaba los 20 cm. En el mes de enero, no se realizaron estas visitas debido a que el Convenio se inició a finales del mes y se dio prioridad al monitoreo del espejo de agua principal y de los caños derivados del río Magdalena.



Figura 6. Estación “Aracataca Abajo” el 18/02/2019 y detalle de la mira de nivel.

Para la estación “Sevilla abajo”, también se presentaron las mismas condiciones que los ríos anteriores. El nivel del agua fue mínimo y tampoco se pudo realizar medición de caudal. Sin embargo y ante las observaciones de bajos niveles en el primer monitoreo (Fig. 7a), para el

segundo se optó por llevar un molinete, el cual permite realizar mediciones de caudal instantáneo en condiciones de bajo niveles (Fig. 7b).



Figura 7. Aspecto del río Sevilla el 01/02/2019 evidenciando bajos niveles y maniobra realizada con el moliente el 20/02/2019.

De otro lado y con respecto a las mediciones realizadas en los caños provenientes del río Magdalena, para la estación “Clarín Los Cocos”, se pudo realizar la toma del caudal instantáneo en ambos monitoreos con el equipo ADCP, esto debido a que se ha mantenido con agua. Para el mes de enero se registró un caudal de $1.46 \text{ m}^3/\text{s}$ con un nivel de 2.47 m y para febrero fue de $4.37 \text{ m}^3/\text{s}$ con un nivel de 2.40 m (Fig. 8).



Figura 8. Maniobra de medición con el ADCP RiverSurveyor y nivel de la mira en la estación Los Cocos (Caño el Clarín) el 19/02/2019.

La situación en el caño “El Renegado” durante los meses de enero y febrero fue particular; puesto que a pesar de tener agua (Fig. 9a) y existir registro de nivel (Fig. 9b), era poco o nulo el flujo hacia la CGSM. Se debe tener en cuenta que este caño cuenta con dos compuertas reguladoras; tal que su comportamiento hidráulico está sujeto tanto a los niveles existentes en el río Magdalena como a la apertura de las mismas. El nivel del agua dentro del caño renegado fue de 2.80 m enero y de 2.90 m en febrero. En ambas salidas de campo, fue encontrado material vegetal antes de la compuerta.



Figura 9. Caño El Renegado el 19/02/2019. El agua se encontró estancada a ambos lados de las compuertas.

En la estación “Aguas Negras” se hizo la maniobra de medición de caudal instantáneo con el ADCP, ya que el caño transportaba gran cantidad de agua. En el monitoreo del mes de enero el caudal registrado fue $14.78 \text{ m}^3/\text{s}$ y en febrero fue $17.16 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fig. 10). Debido a que el flujo se mantiene con respecto a los otros caños visitados, los habitantes de las poblaciones palafíticas como Nueva Venecia lo utilizan para realizar el habitual recorrido y también sirve para el transporte de mercancías en embarcaciones pequeñas que puedan navegar en sitios estrechos entre el interior de la ciénaga y la carretera principal.



Figura 10. Maniobra de medición con el ADCP y mira de nivel en el Caño Aguas Negras el 19/02/2019.

4.2 Monitoreo sedimentológico

Flujos y tasas de sedimentación

El día 14 de febrero de 2019 se desarrolló la primera jornada de recuperación de las trampas de sedimento instaladas el 31/01/2019 (ver estaciones en la Fig. 1). Una vez identificada la localización geográfica de cada trampa se procedió a extraerla, limpiar y revisar sus componentes, etiquetar la muestra colectada para posterior traslado a las instalaciones del INVEMAR. Finalmente, se realizó la reinstalación de la trampa, cuyo material será colectado en la salida programada para el mes de marzo. A la fecha, se han colectado las trampas TS9, TS1 y TS2 ubicadas en el margen sur y al occidente de la malla de muestreo. A continuación, se presenta una breve descripción de los principales hallazgos (Tabla 3, Fig. 11):

Tabla 3. Parámetros medidos en las estaciones de recolección de trampas de sedimentos.

Estación	Prof. Total	Prof. Zona fótica	Prof. Boca de la Trampa
TS1	0.70 m	0.16 m	0.16 m
TS2	1.7 m	0.25 m	0.74 m
TS4	-	-	-
TS5	-	-	-
TS6	-	-	-
TS9	1.4 m	0.35 m	0.56 m



Figura 11. Registro fotográfico de la maniobra en campo. A y B) Extracción trampas TS9 y TS1 respectivamente. C) Fotografía superficie de la boca de la trampa TS2 con presencia de algas. D) Cambio de malla con crecimiento de algas.

TS9: Esta trampa de sedimento presentó el mayor crecimiento de algas en la parte exterior de la trampa, pero no causó obstrucción en la malla y por lo tanto tampoco impidió la entrada de sedimentos (Fig. 11A). Hubo una disminución en la profundidad en febrero (1.4 m) en relación al mes de enero (1.5 m).

TS1: El exterior de la trampa de sedimento no presentó, algas ni demás organismos colonizadores (Fig. 11B), tampoco presentó obstrucción en su boca. Así mismo, es notable que la profundidad registrada (0.70 m) ha disminuido en 20 cm en comparación a enero cuando se registró una profundidad de 0.90 m para este punto.

TS2: En esta trampa de sedimento se observó crecimiento de algas en la parte superior de su exterior (Fig. 11C). Sin embargo, no se obstruyó la malla protectora. En este punto al igual que en las otras estaciones, hubo una disminución de la profundidad (1.7 m) con respecto a enero, cuando se registró 1.9 m.

Sedimentos de fondo de los ríos de la SNSM

Las actividades de muestreo de fondo fueron planeadas para el mes de febrero en los ríos Fundación y Aracataca en las estaciones “abajo” (Fig. 1). Debido al bajo caudal y profundidad (15-20 cm) en el río Fundación, no se logró completar la maniobra. En consecuencia, se optó por efectuar la medición en el río Aracataca donde se consiguió realizar el muestreo. Siguiendo la metodología propuesta por Emmet (1981) y teniendo en cuenta la longitud del ancho del cauce, se realizaron tres lanzamientos en dos transectos. Aunque la metodología sugiere que el tiempo de colección sea de 1 minuto por cada lanzamiento, se optó por dejar el equipo 3 minutos colectando material y luego hacer la conversión necesaria para el análisis debido a las condiciones de bajo caudal y profundidad (30 cm, aproximadamente). El muestreo se realizó a través de lanzamientos equidistantes ubicando la boquilla siempre en posición contraria a la dirección del caudal (Fig. 12).

Una vez recuperado el material, se evidenció mediante inspección visual que el tamaño de las partículas en su gran mayoría estaba en el rango de arenas y limos. Además, se evidenciaron diferencias en la cantidad de material colectado en cada lanzamiento, agrupándose las mayores cantidades en el muestreo realizado hacia el interior del corte del meandro. Dicha zona se encuentra asociada al proceso de sedimentación y es donde se evidencia presencia de playones o barras de arena.



Figura 12. Maniobra de muestreo de sedimento de fondo (río Aracataca) empleando la técnica de muestreo Helley-Smith.

4.3 Observaciones aéreas

Durante el mes de enero se logró realizar sobre vuelos en la boca del río Sevilla, volando entre los 80 a 120 m de altura (Fig. 13), donde se logró observar la obstrucción de la boca de este río hacia la CGSM debido a montículos de sedimentos y vegetación flotante. Estas obstrucciones impiden la oxigenación del agua, generando condiciones anóxicas.



Figura 13. Mosaico de imágenes de la obstrucción parcial de la boca del río Sevilla (enero de 2019).

La otra estación donde se logró realizar observación aérea fue en la boca del Caño Aguas Negras, lugar por donde ingresa agua desde el río Magdalena hacia el complejo Pajarales. En este sobrevuelo se observó que existe un área en frente de la boca del caño que se encuentra con aguas muy turbias y de poca profundidad (0.40 m) lo cual genera dificultades para la navegación (Fig. 14). Esta formación de aproximadamente 1 km, tiende a consolidarse en dirección a la población de Nueva Venecia, lo que eventualmente causará problemas en la navegabilidad del sector al disminuir su profundidad.

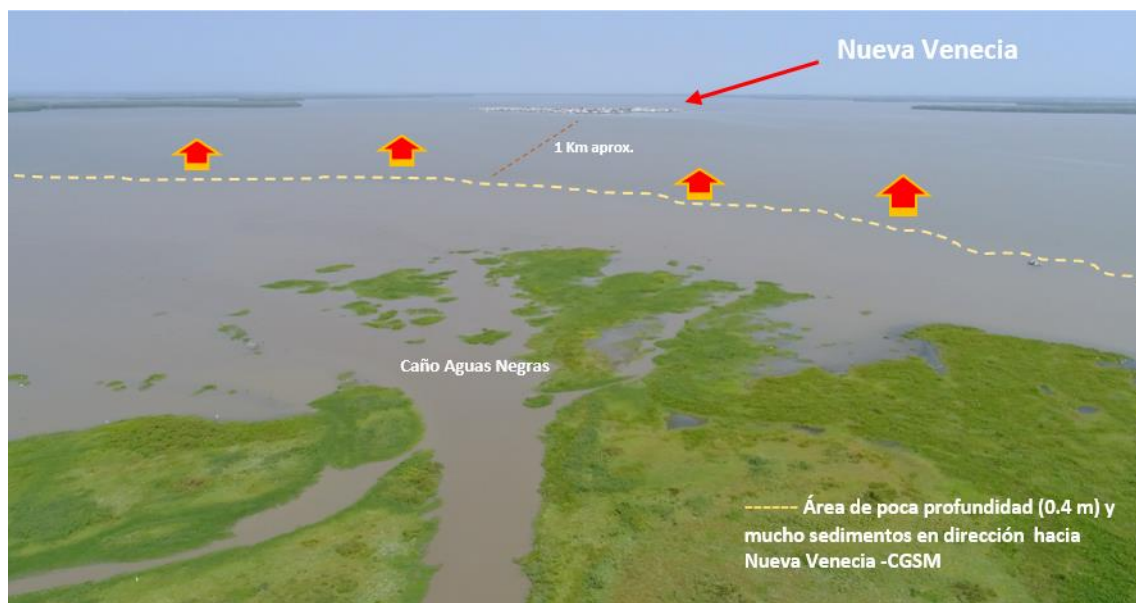


Figura 14. Mosaico de imágenes aéreas de la sedimentación frente a la boca del caño Aguas Negras. (enero de 2019)

En la boca del río Aracataca, también se realizó un sobrevuelo, en el cual se observó que los playones de sedimentos frente a la boca que se reportaron desde el mes de noviembre de 2018 en INVEMAR-CORPAMAG (2018), se están consolidando con vegetación rastrera (Fig. 15) que se encuentra en un proceso de sucesión y que eventualmente podrían generar terreno firme. (Fig. 16).



Figura 15. Imagen aérea de la boca de la desembocadura del río Aracataca (enero de 2019).

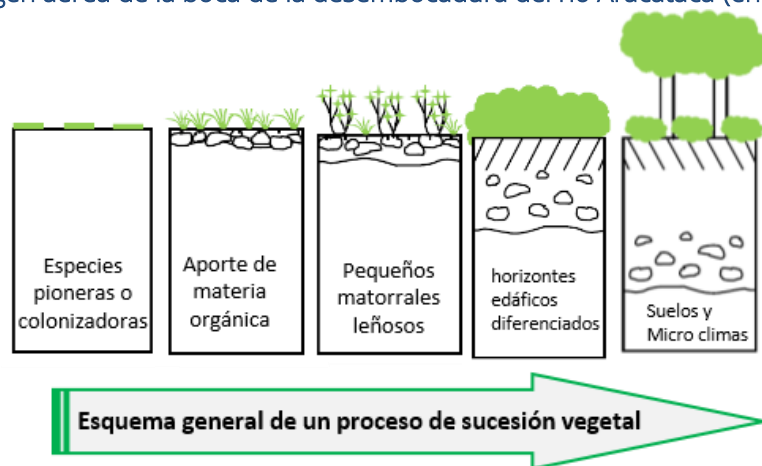


Figura 16. Esquema del tipo de vegetación colonizadora del proceso de sucesión

4.4 Otras actividades realizadas

El pasado mes de febrero se reportó una emergencia ambiental por la mortandad de peces que se produjo en la desembocadura del río Fundación. El INVEMAR como parte del apoyo al SINA y en el marco del monitoreo mensual realizado bajo el Convenio INVEMAR-CORPAMAG de 2018, aprovechó la salida planeada a la zona para realizar un recorrido aguas arriba de la boca del río (Fig. 17), donde se realizaron medición de parámetros fisicoquímicos básicos y su respectivo registro fotográfico. Adicional a la estación de la boca del Fundación (P1) que se monitorea regularmente, el recorrido incluyó dos estaciones aguas arriba del río (P2 y P3).

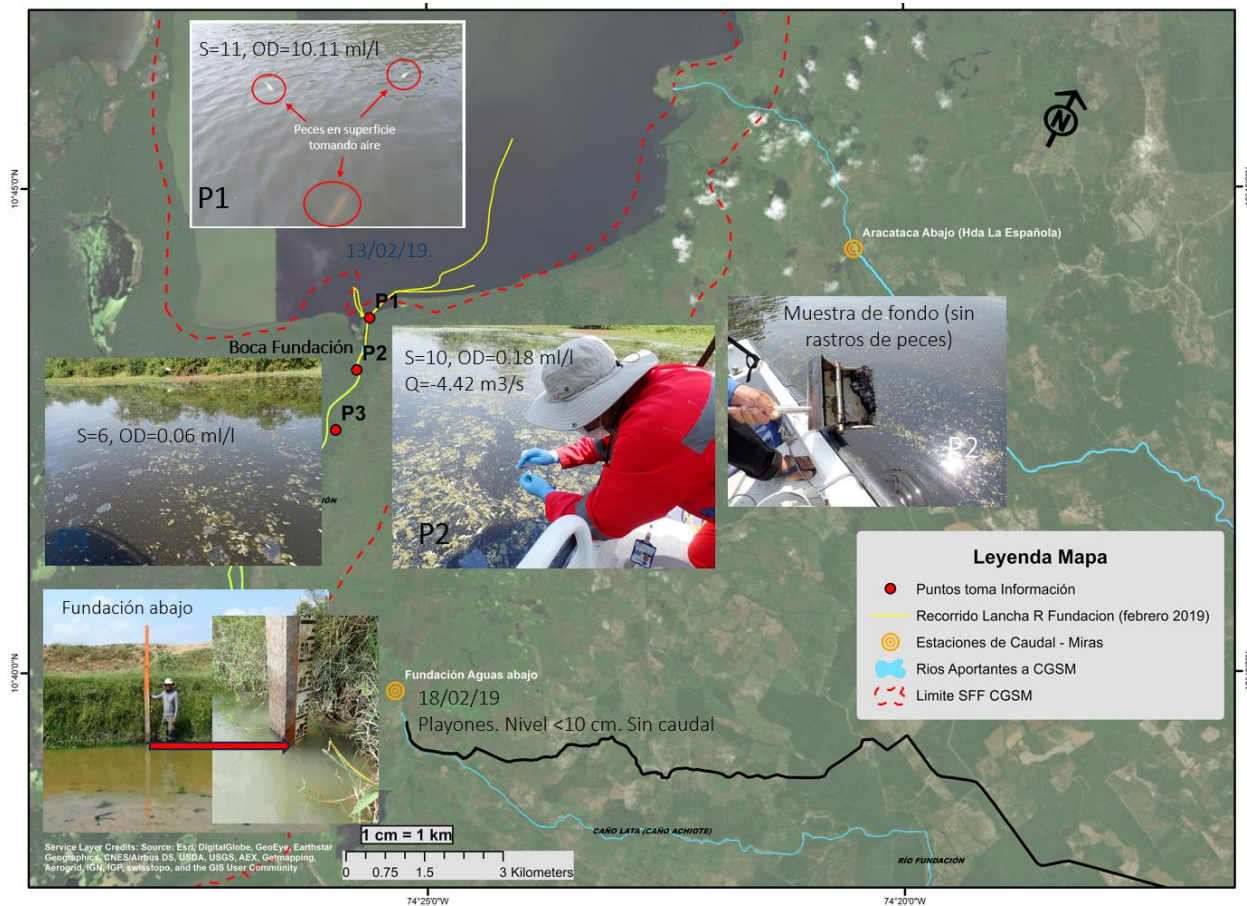


Figura 17. Mapa de la región sur de la CGSM donde se indica el recorrido que se realizó río arriba para observar las condiciones ambientales asociadas a la mortandad de peces de febrero de 2019.

Durante esta actividad se observó una gran cantidad de aves posadas sobre montículos de sedimentos o plantas que se ubican en frente de la boca, el intercambio de las aguas era mínimo y se mantenían los niveles de oxígeno por debajo de 1.0 mg/l. En el transecto aguas arriba sobre el río, se recorrieron 6 km aproximadamente. En el camino se encontró que había mayor cantidad de peces muertos, de la especie *Mugil incilis* (lisa rayada) en estado de alevinos y mayor presencia de plantas flotantes como buchón de agua (*Eichhornia crassipes*). Adicionalmente, el día 15 de febrero se realizó una visita a este mismo lugar para acompañar a personal del IDEAM enviado por el Ministro de Ambiente, en la cual se evidenció que había un proceso de obstrucción por vegetación y posibles aumento de sedimentos, no solo en la boca del río Fundación, sino que también, ocurría similares características en las bocas de los ríos Ají, Aracataca y Sevilla que también fueron visitados durante dicho recorrido.

5 CONCLUSIONES

Durante los meses de enero y febrero de 2019, el Caribe colombiano estuvo bajo un escenario de sequía, condición que experimenta esta región del país típicamente en el primer trimestre del año; además del desarrollo de un evento El Niño, que generó altas temperaturas, bajas precipitaciones y con ello disminuciones en los caudales y niveles de los ríos que fueron reportadas por autoridades nacionales e internacionales.

A partir de las dos salidas de campo realizadas, se identificaron pocas profundidades en el complejo, evidenciadas por los inconvenientes para la navegabilidad de algunos sectores, lo que ocasionó dificultades para llegar a varias estaciones o desembocaduras de los ríos. La estación más profunda fue Caño Grande, la cual sigue siendo navegable y usada como ruta principal de los habitantes del sector. Adicionalmente, se mantiene como la mayor entrada de agua dulce al espejo de agua principal proveniente desde el complejo de Pajarales.

Los afluentes tributarios de la SNSM: Sevilla, Aracataca y Fundación después de su paso por la zona agrícola; presentaron bajos niveles en los primeros meses del año, caudales instantáneos reducidos y poca profundidad. También se observó la formación de playones y barras de arena sobre sus cauces colonizados por vegetación de oportunidad y en donde se han comenzado a dar procesos de sucesión. De otro lado, las muestras de fondo colectadas sugieren una capacidad baja-media de transporte sedimentario, condición asociada a la época de sequía actual, que se espera pueda extenderse hasta los meses de abril o mayo en esta zona del país.

Con respecto a la salinidad y para los meses monitoreados, se encontró que está regulada por el flujo y el reflujo que se dan en la boca de La Barra; lo cual se evidenció con los altos valores de caudal instantáneo que se registraron en estos meses; indicando la intrusión de agua marina dentro de la ciénaga y su influencia varios kilómetros al interior. La ciénaga de Pajarales se caracterizó por presentar las menores salinidades y transparencia del agua, evidenciando la señal proveniente del río Magdalena.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque, A., A. Belem, F. Briceño-Zuluaga, L. Cordeiro, U. Mendoza, B. Knoppers. 2014. Particle fluxes and bulk geochemical characterization of the Cabo Frio Upwelling System in Southeastern Brazil: Sediment trap experiments between spring 2010 and summer 2012. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 86(2): 601–619.

Emmet, W. W. 1980. A field Calibration of the Sediment- Trapping characteristics of the Helley-Smith Bedload Sampler, (54).

Emmet, W. W. 1981. Measurement of bed load in rivers. *Erosion and Sediment Transport Measurement (Proceedings of the Florence Symposium)*, 133: 3–15.

INVEMAR-MADS. 2016. Caracterización topo-batimétrica de la Ciénaga Grande de Santa Marta con énfasis en el complejo de Pajarales. Convenio Interadministrativo No. 508 de 2016. Santa Marta. 18 p.

INVEMAR-MADS-PNN. 2017. Caracterización y diagnóstico topobatimétrico, sedimentológico e hidrológico de la CGSM e implementación de modelo hidrológico. Convenio Interadministrativo No. 430 de 2017. Santa Marta. 119 p.

INVEMAR-MINAMBIENTE. 2018. Cuarto Informe técnico. Convenio Interadministrativo 659 de 2017. Santa Marta, Colombia. 374 p. + Anexos.

INVEMAR-CORPAMAG. 2018. Estudio Integral de la Ciénaga Grande de Santa Marta - Fase II (B): modelaciones hidráulica, hidrosedimentológica y biogeoquímica. Convenio Interadministrativo No. 209 de 2017. Santa Marta. 85 p + 2 Anexos.