



CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 317 DE 2018 PRY – GEO – 003 9

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

Segundo informe de actividades



Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de
Andrés" – INVEMAR

Santa Marta, junio de 2019

Informe de Actividades N.2

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 GEO

Constanza Ricaurte Villota

Martha Bastidas Salamanca

César Fernando García Llano

Juan Sebastián Ponce Bastidas

Julio Enrique Rodríguez

Francisco Briceño Zuluaga

Magnolia Murcia Riaño

Silvio Andrés Ordoñez

Santa Marta, junio de 2019

Imagen portada: Poblado de Nueva Venecia de la ciénaga de Pajarales; imagen tomada en abril del año 2019. Julio Rodríguez.

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>

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	¡Error! Marcador no definido.
3	REPORTE DE ACTIVIDADES	2
3.1	Área de estudio	2
3.2	Monitoreo hidrológico	4
	Sólidos suspendidos totales	4
	Transparencia	6
	Salinidad	9
3.3	Nivel de agua en los Ríos y Caños	11
3.1	Curvas nivel-caudal	14
3.2	Monitoreo sedimentológico	18
3.2.1	Flujos y tasas de sedimentación	18
3.2.2	Sedimentos de fondo de los ríos que drenan de la SNSM	23
4	CONCLUSIONES	27
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1 INTRODUCCIÓN

Este segundo informe de actividades corresponde a la información colectada en campo de los meses de enero a mayo de 2019, el cual incluye el monitoreo hidrológico (sólidos suspendidos totales, transparencia, salinidad, mediciones de caudales de los principales afluentes así como, nivel del agua y curvas nivel-caudal) y el monitoreo sedimentológico (flujos y tasas de sedimentación y sedimentos de fondo de los ríos que drenan de la sierra nevada de Santa Marta).

Lo anterior se está realizando para cumplir con los objetivos planteados bajo el convenio interadministrativo 317 el cual busca de 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 planteándose extender el monitoreo hidro-sedimentológico de la Ciénaga Grande de Santa Marta durante el periodo 2018 – 2030.

No obstante, 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).

En este sentido, es fundamental el conocimiento de la dinámica hidro-sedimentológica para explicar los procesos biogeoquímicos y ecológicos que ocurren en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), de esta manera el presente convenio apunta a continuar y fortalecer el monitoreo anteriormente descrito, 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, así como entender los procesos sedimentológicos que ocurren al interior del espejo de agua principal.

Durante el transcurso de este año, en los meses de enero y febrero se presentó un periodo de sequía más fuerte de lo habitual en el departamento del Magdalena. Dicha época se caracterizó por la ausencia total de precipitaciones desde mediados de noviembre del año 2018 y mayo de 2019. Por ésta razón, se produjo un descenso considerable de los niveles hidrológicos en todos los tributarios de la ciénaga. Tanto de los ríos provenientes de la Nevada de Santa Marta (SNSM), como de los caños que conectan a la CGSM y el río Magdalena.

Las primeras precipitaciones del año fueron muy cortas, puntuales y de baja intensidad (< 2 mm) en la ciudad de Santa Marta. Mientras que, en la cuenca alta y las estribaciones de la sierra se produjo mayor precipitación. En mayo la precipitación acumulada del mes llega a los 20 mm según datos del aeropuerto Simón Bolívar, La recuperación de los ríos es evidente, presentaron cauces llenos y flujos caudalosos con fuertes corrientes; en los ríos Fundación, Aracataca, y en menor medida el Sevilla.

La presión hídrica sobre los ríos que descienden de la Sierra se incrementa en los primeros meses del año (INVEMAR-CORPAMAG, 2018) situación que se recrudece con la presencia de un evento niño, como el actual. Por esto, autoridades internacionales como NOAA y CIIFEN, indican que en el Pacífico tropical se mantiene activo el estado de alerta, el índice ONI se mantiene en 0.8 desde el mes de enero, tendiendo a condiciones niño hasta el mes de mayo (Figura 2.2).

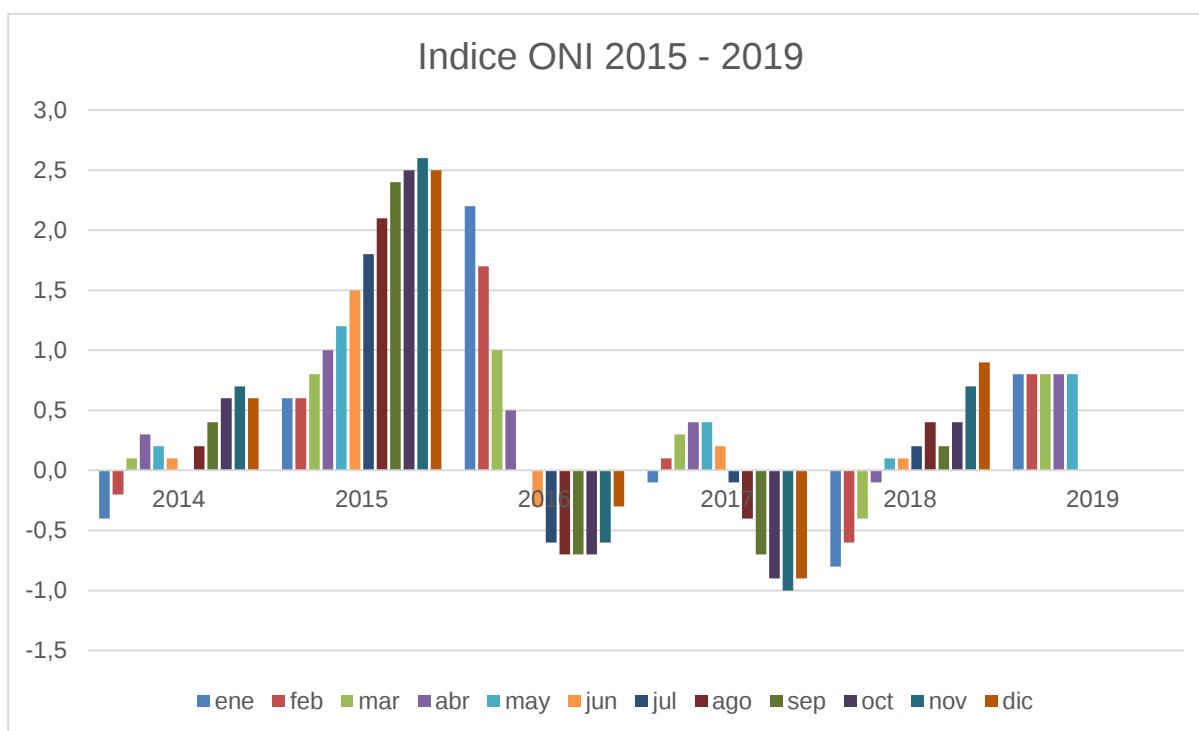


Figura 2.2 Tendencia del índice ONI entre el año 2015 -2019

2.2 Monitoreo hidrológico

Durante los meses de enero a mayo se realizaron mediciones de profundidad (m), Sólidos Suspendidos Totales (SST) (mg/l), transparencia (m), salinidad, velocidad (m/s) y dirección del viento y caudal instantáneo (m^3/s). Gracias a los recorridos terrestres se pudo identificar la variación de la profundidad y los caudales instantáneos mínimos de cada afluente durante sequía intensa. Estos datos serán la base para la actualización de las curvas $H - Q$.

La profundidad promedio general de todas las estaciones de la ciénaga fue de 1.7 m para enero y febrero de 2019, en marzo fue de 1.81 m durante abril, 1.90 m y mayo de 1.97 m. Caño Grande, dentro del complejo Pajarales es el sitio más profundo de la ciénaga, incluso más que Boca de la Barra. En cambio, las estaciones S21 al sur de la desembocadura de Caño Aguas Negras y la S11 cerca a la desembocadura del río Fundación, fueron las menos profundas con valores de 0.4 m.

Sólidos suspendidos totales

La cantidad de SST dentro del cuerpo de agua principal de la CGSM durante el primer semestre de 2019 no tuvo un foco de origen concreto. Sino que éste varió temporalmente, contrario a lo que ocurrió dentro del Complejo Pajarales; donde las pruebas de laboratorio evidenciaron claramente que la fuente de SST es la población palafítica de Nueva Venecia. Lugar donde se vierten directamente las aguas servidas a la ciénaga.

En el mes de enero, la mayor concentración de SST se registró principalmente, en la desembocadura del río Fundación con 289.5 mg/l y Caño Grande con 195 mg/l. Este comportamiento es coincidente, ya que son los dos mayores afluentes que llegan a la ciénaga y poseen caudales abundantes la mayor parte del año. El menor valor fue registrado dentro del Caño Ají (15.7 mg/l). Esto puede deberse a la poca exposición del lugar al efecto del viento, lo que mantiene el flujo en reposo y disminuye el recambio de agua con la ciénaga. Otra razón son los bajos niveles debido a la sequía actual.

En febrero, el valor máximo fue de 170.5 mg/l se dio en entre los ríos Aracataca y Sevilla en la estación S8, aunque en la desembocadura del Río Fundación también se registra valores de 155.4 mg/l; pero este valor solo representa la mitad de lo encontrado el mes anterior en el mismo sitio. Caño Ají volvió a registrar un valor bajo de 12 mg/l disminuyendo 3 mg/l con respecto a enero (Figura 2.3). La falta de profundidad limitó mucho la navegación para llegar a algunas estaciones de la zona noroeste de la CGSM.

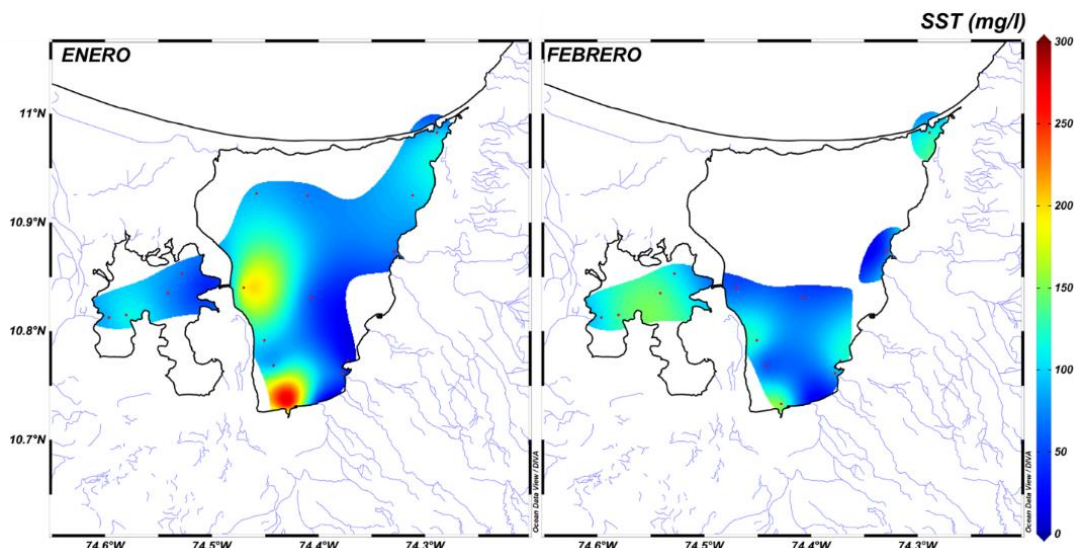


Figura 2.3 Distribución espacial de SST de la CGSM entre enero y febrero de 2019

Los cambios más significativos se dieron dentro del complejo Pajarales en el mes de marzo. El mayor foco de SST fue la desembocadura del Caño Aguas Negras. Donde la acumulación alcanzó los 249.7 mg/l seguido por la S18 con 173.8 mg/l ambas estaciones adyacentes a Nueva Venecia. El valor mínimo hallado se observó en la estación S9 donde se registró 32.8 mg/l.

En el mes de abril, no se registran valores superiores a los 100 mg/l dentro de la ciénaga, la distribución de SST es similar al reportado el mes anterior. La población de Nueva Venecia se mantiene como la mayor fuente de SST con 152.3 mg/l, el menor valor se registra nuevamente en el centro del cuerpo de agua principal en la estación S9 con 21.4 mg/l (Figura 2.4).

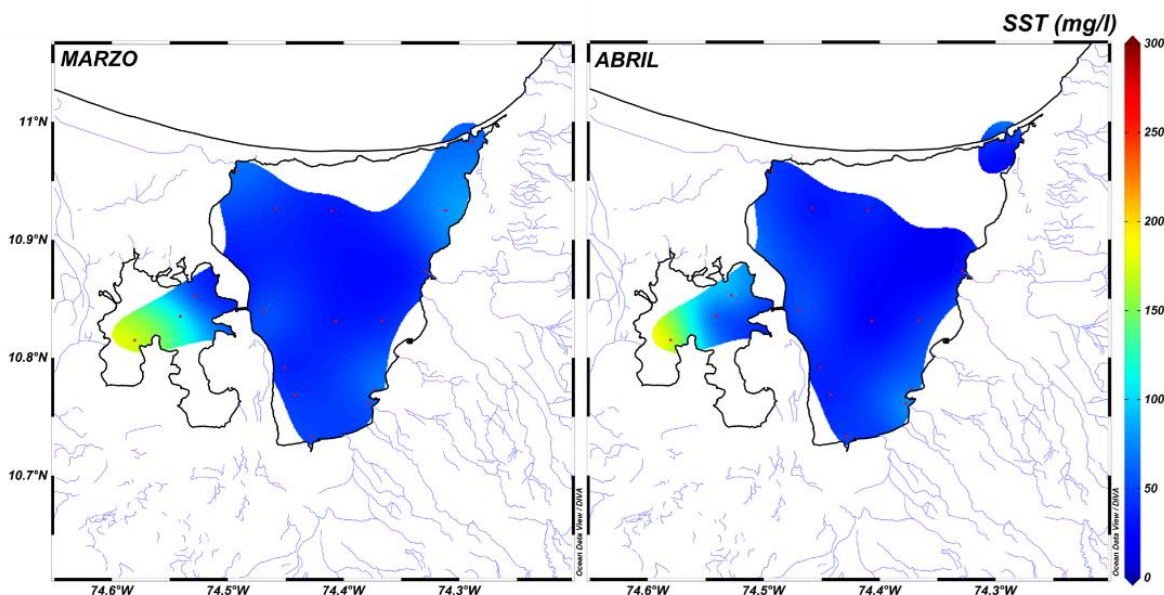


Figura 2.4 Distribución espacial de SST de la CGSM entre marzo y abril de 2019.

Durante el mes de mayo el valor máximo de SST se registró dentro del Caño Aguas Negras, encontrando un valor record de 292.3 mg/l. Por otro lado, el valor mínimo se halló en el río Fundación, donde la concentración llegó a los 11.5 mg/l (Figura 2.5).

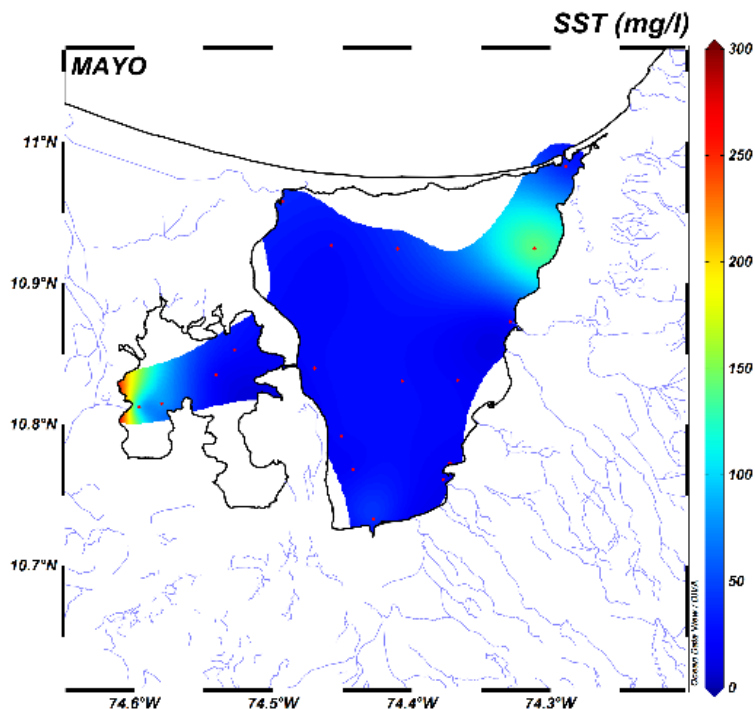


Figura 2.5 Distribución espacial de SST de la CGSM para mayo de 2019.

Transparencia

Dado que la transparencia está condicionada por los sólidos suspendidos totales, este parámetro dentro de la ciénaga se comporta de manera regular en el mes de enero; donde el valor máximo encontrado fue de 0.6 m, frente a la desembocadura del río Fundación. Mientras que, el menor valor se halló en la estación S18; ésta se encuentra ubicada aproximadamente a 1 km al sur de Nueva Venecia. Este hecho es coincidente con los resultados de SST para esta zona generados por las descargas domésticas y la alta turbidez producto de las operaciones de dragado que se llevan a cabo en el caño de Aguas Negras.

La transparencia máxima para febrero se midió en las estaciones S5 y S7 ambos con 1.80 m de profundidad. Pero, alejados entre sí. Indicando que, el centro de la ciénaga tiene menos turbidez que los demás sectores, la estación con agua más turbia fue en el Caño Clarín en el sector de los cocos donde la profundidad alcanza solamente 0.25 m (Figura 2.6).

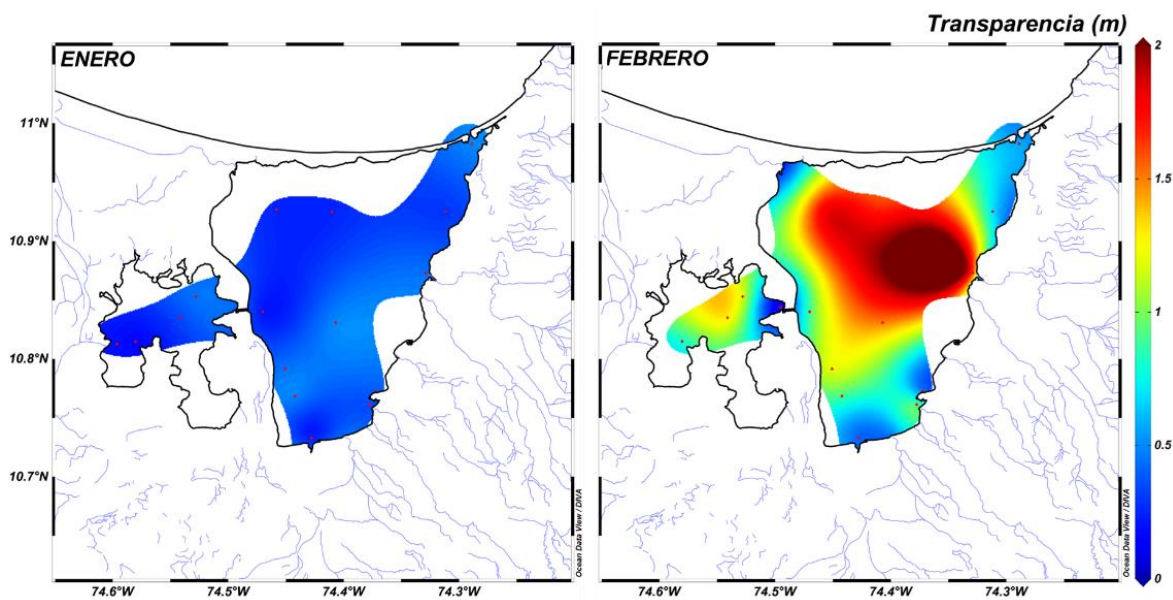


Figura 2.6 Distribución espacial de transparencia de la CGSM entre enero y febrero de 2019.

En el mes de marzo, se mantiene el mismo patrón del mes anterior, donde los valores de mayor transparencia se observaron en el centro de la ciénaga, disminuyendo hacia las orillas. Mientras que, los menores valores fueron de 0.10 m en S15, y de 0.20 m en S14, ambas dentro del Complejo Pajarales. En cambio, los mayores valores se encontraron en S9 donde la capa fótica llega a tener 1.2 m de profundidad.

En abril, la mayor transparencia se registró en la estación S9 con 1.45 m, mayor al mes anterior en la misma estación, por el contrario. El valor mínimo para este periodo se localizó en S18 con 0.28 m la estación más cercana a Nueva Venecia (Figura 2.7).

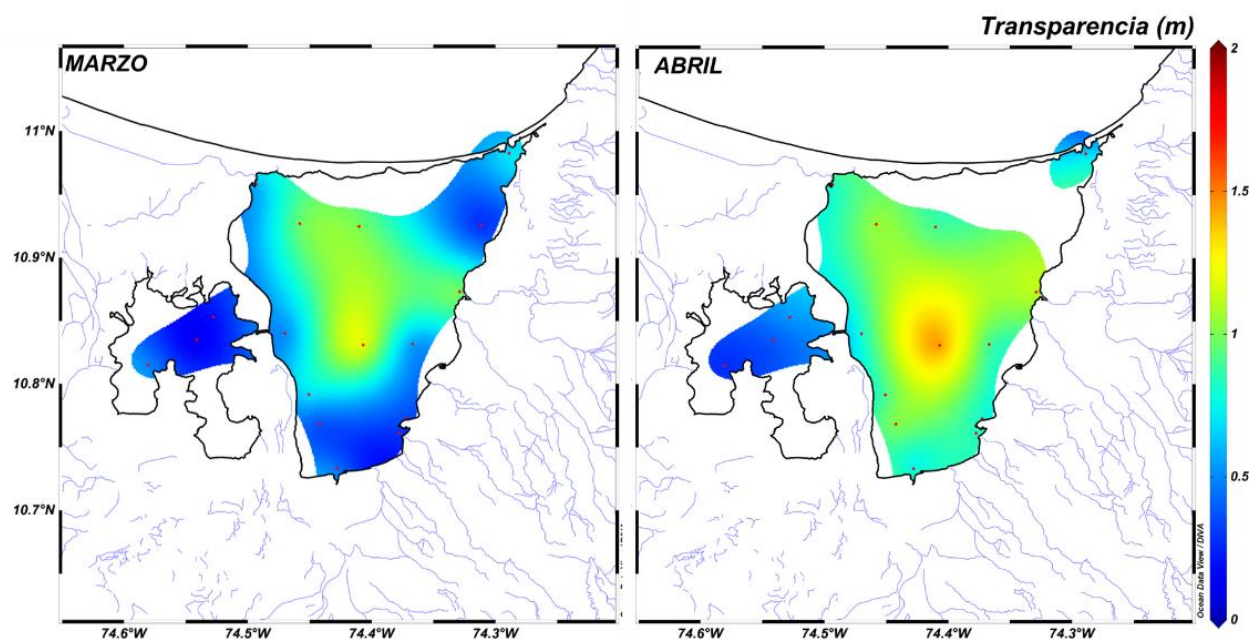


Figura 2.7 Distribución espacial de transparencia de la CGSM entre marzo y abril de 2019

Mayo presentó valores bajos de transparencia en toda la ciénaga en general, el mayor valor se dio en la estación S5 donde la capa fótica alcanza 1.45 m, y también frente a la desembocadura del río Sevilla se registró 1.22 m. Los menores valores se presentaron en S11 frente a la desembocadura del río Fundación donde la transparencia llegó a 0.30 m (Figura 2.8).

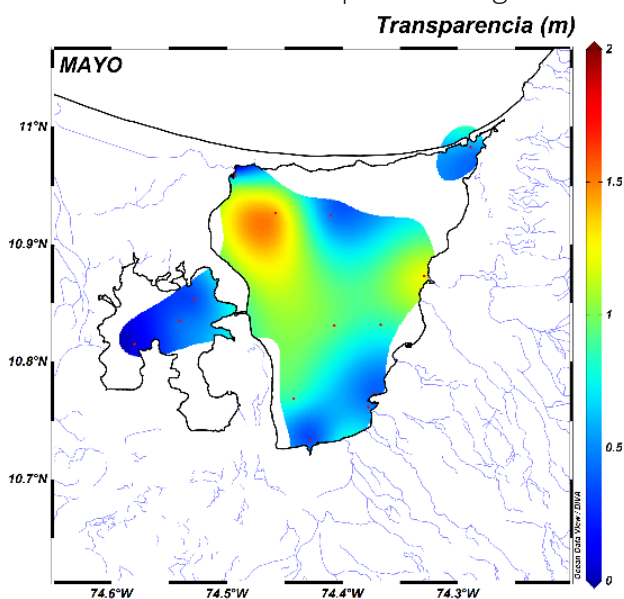


Figura 2.8 Distribución espacial de la transparencia dentro de la CGSM mayo de 2019

Salinidad

El análisis de salinidad mostró que hay una gran estacionalidad en el transcurso de los meses. Se encontró que para enero la salinidad es alta en la boca y hay un gradiente (disminuyendo) hacia el interior, de igual manera este mismo patrón se observa en febrero (Figura 2.9). Así mismo, se destaca que la señal de la salinidad se encuentra hacia la zona central, con valores cercanos a 15 lo que estaría indicando que la señal producto de la marea llega hasta el interior del espejo de agua principal.

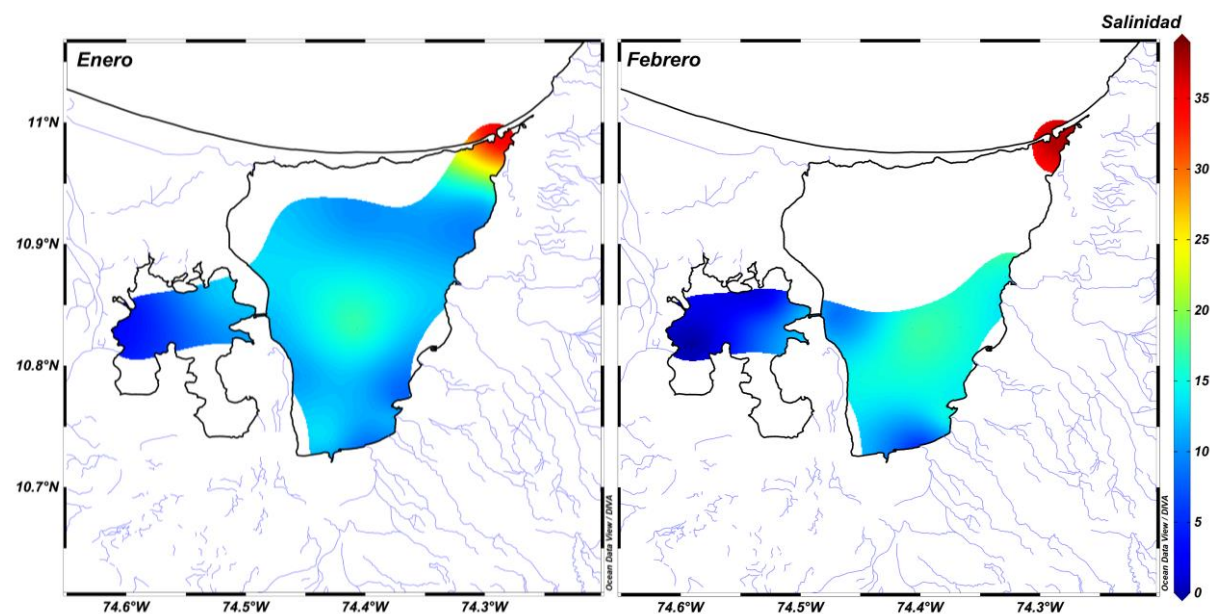


Figura 2.9 Valores de salinidad para enero y febrero de 2019.

Sin embargo, para los meses de marzo y abril la señal del mar llega más fuerte hacia todo el espejo principal, con valores por encima de 20 incluso en las estaciones de la entrada de la ciénaga de Pajarales (Figura 2.10) lo que estaría indicando que el mar tiene mayor influencia que el río Magdalena en ésta época del año.

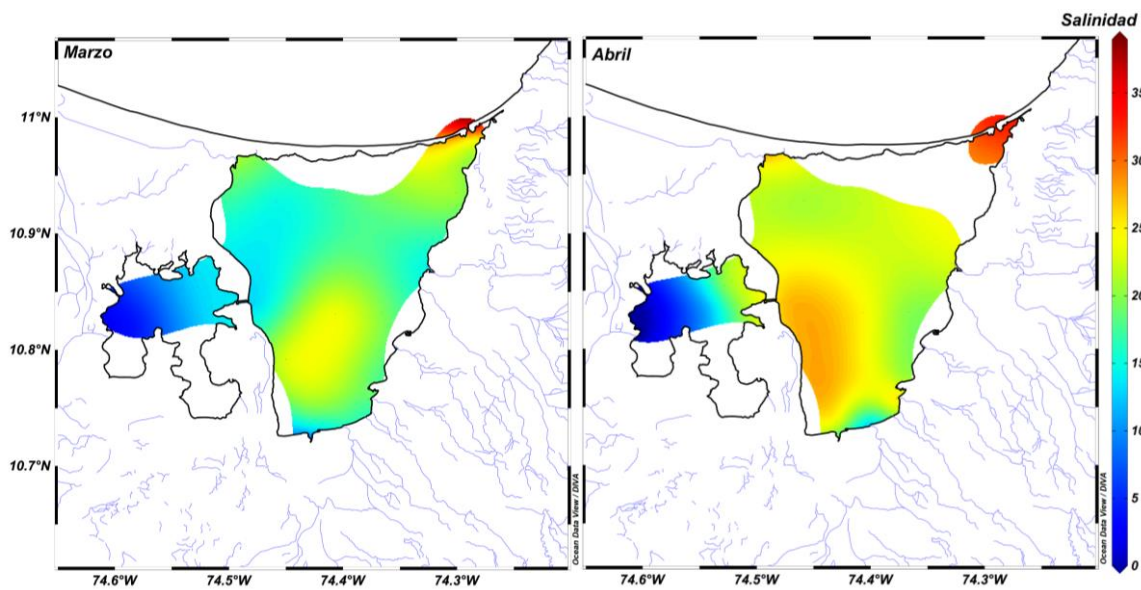


Figura 2.10 Valores de salinidad para marzo y abril de 2019.

Finalmente, en mayo se encontró que, si bien hay una fuerte influencia de la marea en el espejo de agua, también se observa una fuerte señal de los ríos de la zona sur (fundación, Ají) y los caños Aguas Negras, Cherle y Caño Grande (Figura 2.11) incluso contraria a la situación de abril. Este incremento en la señal del agua dulce desde los ríos mencionados se debe al incremento de la precipitación en la zona producto del inicio de la temporada húmeda menor.

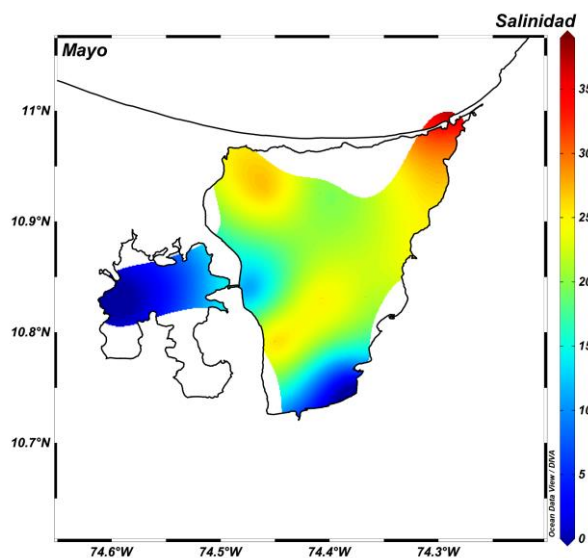


Figura 2.11 Valores de salinidad para mayo de 2019.

2.3 Nivel de agua en los Ríos y Caños

Con respecto al monitoreo de la cuenca baja de los ríos provenientes de la SNSM y desde el Río Magdalena, la estación “Fundación Abajo” tuvo niveles de agua mínimos, muy limitados durante los dos primeros meses del año. Por esta razón no se pudo realizar las mediciones por falta de profundidad y formación de bancos de arena compactados y mayormente vegetados., incluso la sección transversal de la zona donde normalmente se realiza la medición de caudal podía atravesarse caminando sin problema. En el mes de marzo, los niveles aún eran bajos, pero si se incrementó la cantidad de agua que baja hacia la CGSM. Durante el mes de abril, comenzaron las primeras precipitaciones lo cual ocasiono un aumento considerable en el caudal a $19.41 \text{ m}^3/\text{s}$. En mayo siguen produciéndose lluvias y el río ya mostro un flujo caudaloso con fuertes corrientes y la sección transversal completamente sumergida, El nivel es de 1.26 m (Figura 2.12).



Figura 2.12 Maniobra de medición en la estación “Fundación Abajo” el 20/05/2019 donde se evidencia el cauce del río totalmente recuperado.

En la estación “Aracataca abajo”, el nivel del agua en la mira fue bajo, al igual que en los demás ríos en los meses de enero y febrero. La mayor parte del flujo se desplazó por la mitad de la sección transversal. Pero, aun así, no cumplió con la profundidad necesaria para validar las mediciones con molinete, ya que la profundidad no superaba los 20 cm. En el mes de marzo, hubo más cantidad de agua, pero no toda la sección transversal fue apta para realizar una medición eficaz, porque en algunos tramos la profundidad no superaba los 0.20 m necesarios. Para abril y mayo se incrementó su caudal como en los demás afluentes provenientes de la SNSM (Figura 2.13). El nivel para este mes es de 1.90 m, y contrario a esto no se pudo realizar la medición debido a fuertes corrientes que evitaban pasar el río nadando, para evitar se recomienda contratar una canoa para las siguientes salidas.



Figura 2.13 Estación “Aracataca Abajo” el 21/05/2019 y detalle de la mira de nivel.

Para la estación “Sevilla abajo”, también se presentaron las mismas condiciones que los ríos anteriores durante los primeros meses de enero y febrero como se describió en el informe de avance anterior. En los meses de marzo y abril; El nivel del agua fue mayor, pero no alcanzó para realizar mediciones de caudal efectivas, con el uso de molinete hidrológico. En el mes de abril ya se pudo realizar las mediciones con el uso de molinete y al calcular los caudales, éstos fueron cercanos a las estimaciones de la curva H-Q. En mayo ya fue posible realizar las mediciones con el ADCP riversurveyor obteniendo un caudal de $9.99 \text{ m}^3/\text{s}$ y nivel de 0.74 m (Figura 2.14).



Figura 2.14 Aspecto del río Sevilla el 20/05/2019 donde se observa recuperación de caudal.

Por el otro lado, con respecto a las mediciones realizadas en los caños provenientes del río Magdalena, la estación del “Los Cocos” ha sido la única que se mantiene con agua desde el inicio del año. Para el mes de enero se registró un caudal de $1.46 \text{ m}^3/\text{s}$ con un nivel de 2.47 m , para febrero de $4.37 \text{ m}^3/\text{s}$ con un nivel de 2.40 m , en marzo el nivel fue de 2.47 m , para mayo se registró un caudal de $5.53 \text{ m}^3/\text{s}$ y nivel de 2.66 m (Figura 2.15).



Figura 2.15 Maniobra de medición con el ADCP River Surveyor y nivel de la mira en la estación Los Cocos (Caño el Clarín) el 22/05/2019.

Para el caño “El Renegado” durante los meses de enero y febrero, se encontró que el agua estaba estancada, este comportamiento pudo ser ocasionado por el poco caudal proveniente desde el río Magdalena, producido por la eutrofización de plantas al lado oeste de las compuertas. Debido que éstas se han mantenido cerradas como respuesta a la disminución de nivel del río Magdalena. Mientras que, del lado este mantiene profundidades cercanas a los 3 m, pero con movimiento casi nulo, y ausencia de corriente hacia la CGSM, lo que hace que se presenten características de un sistema lentic, más que de un sistema lotico lo cual debería ser lo normal. El nivel dentro del caño fue de 2.80 m para enero, de 2.90 m en febrero, 3.06 m para marzo, y en el mes de mayo de 3.28 m. Las mediciones de caudal no se han podido realizar satisfactoriamente con el molinete debido a la profundidad del sitio, ya que este lugar mantiene el nivel del agua, con ayuda de las compuertas. En el mes de mayo no se pudo tomar datos ya que coincidió con las actividades de mantenimiento del sistema y para eso, la compuerta había sido levemente abierta unos minutos antes de realizar la visita (Figura 2.16).



Figura 2.16 Caño El Renegado el 22/05/2019. Cauce del caño en el mes de junio.

La estación “Aguas Negras” al igual que en Los Cocos, desde el año pasado se ha mantenido con agua. En el monitoreo en el mes de enero registró un caudal de $14.78 \text{ m}^3/\text{s}$ y en febrero de $17.16 \text{ m}^3/\text{s}$. En el mes de marzo, el nivel fue de 1.28 m, sin embargo, este mes no cuenta con datos debido a que la profundidad supera la capacidad del molinete. Adicionalmente, se realizó la reinstalación de una de las miras del lugar tomando como referencia la mira adyacente que mantiene la cota 0 a donde están amarrados los datos. Debido a que el flujo se mantiene con respecto a los otros caños visitados, los habitantes de las poblaciones palafitas como Nueva Venecia lo utilizan para movilizar personas y mercancías. En el sector de medida se advirtió la construcción de diques artesanales para evitar la inundación de predios rivereros. Para abril se realizó la medida usando un ADCP y se comparó con las curvas Q – H, para mayo se registró un nivel de 2.10 m con un caudal de $45.44 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 2.17).



Figura 2.17 Maniobra de medición con el ADCP y mira de nivel en el Caño Aguas Negras el 22/05/2019.

2.1 Curvas nivel-caudal

La estimación de curvas de gasto (relación nivel-caudal) para las estaciones hidrométricas que representan las secciones transversales de un río es una de las tareas fundamentales de la hidrometría, ya que estas permiten, entre otras cosas, la deducción de los caudales medios diarios del río sobre esas secciones (León, 2010).

Las curvas de calibración, o de gasto, son herramientas hidrológicas que ponen en evidencia la relación que existe entre una cota del nivel del agua y el caudal correspondiente a dicha cota para una sección dada de un río. Expresadas de forma general como una ley potencial, las curvas de gasto son utilizadas para deducir caudales medios diarios a partir de registros in situ de

niveles diarios del agua tomados sobre las escalas limnimétricas de cada estación. La relación calibrada entre ambas variables es deducida a partir de pares de datos nivel- caudal obtenidos mediante una práctica que se conoce como aforo (OMM, 1994). La precisión de la estimación de los caudales diarios es función de la calidad de esta relación obtenida para la sección, que a su vez depende, en consecuencia, del número de aforos realizados (León, 2010).

Esta tarea es fundamental para estimar el régimen hidrológico natural, es decir, sin alteraciones, por lo que en la mayoría de los casos se requiere la "naturalización" o simulación de las condiciones de régimen sin alteración. Para lograr este cálculo, es necesario seleccionar e implementar las técnicas hidrológicas más idóneas en función de la disponibilidad de información y de las características de la cuenca hidrográfica correspondiente (geología, coberturas de vegetación, tipos de suelo, condiciones hidroclimáticas, etc.). Asimismo, el alcance del análisis de alteración hidrológica dependerá del estado de conservación de la cuenca hidrográfica. En este paso se debe aplicar un protocolo robusto de modelación hidrológica, previendo la generación de series diarias de mínimo 15 años de longitud (OMM, 1994).

Adicionalmente, el cálculo de las curvas nivel-caudal permite identificar y caracterizar los eventos de interés ecológico del régimen hidrológico natural (o naturalizado), los cuales se determinan comparando las series generadas u observadas de caudales o niveles diarios. El conocimiento de la variación del caudal que fluye por una determinada sección de un cauce natural es de suma importancia en los estudios hidrológicos. De acuerdo con la calidad y la cantidad de los registros de caudales necesarios en un estudio hidrológico, las mediciones se pueden hacer de una manera continua o permanente, o de una manera puntual o instantánea (OMM, 1994).

Teniendo en cuenta lo anterior, el monitoreo en los ríos Fundación, Aracataca y Sevilla, ha permitido la obtención de 13 aforos líquidos en promedio para estos sistemas hídricos aguas abajo de la zona de producción agrícola. A continuación, se presenta la segunda aproximación de las curvas de gastos (Nivel – Caudal) realizada para estos ríos. La obtención de esta relación (H-Q), permite obtener el valor real de caudal que ingresa a la Ciénaga Grande de Santa Marta, ya que los registros diarios de niveles (6 am – 6 pm), pueden ser expresados en caudales (m^3/s) (Figura 2.18).

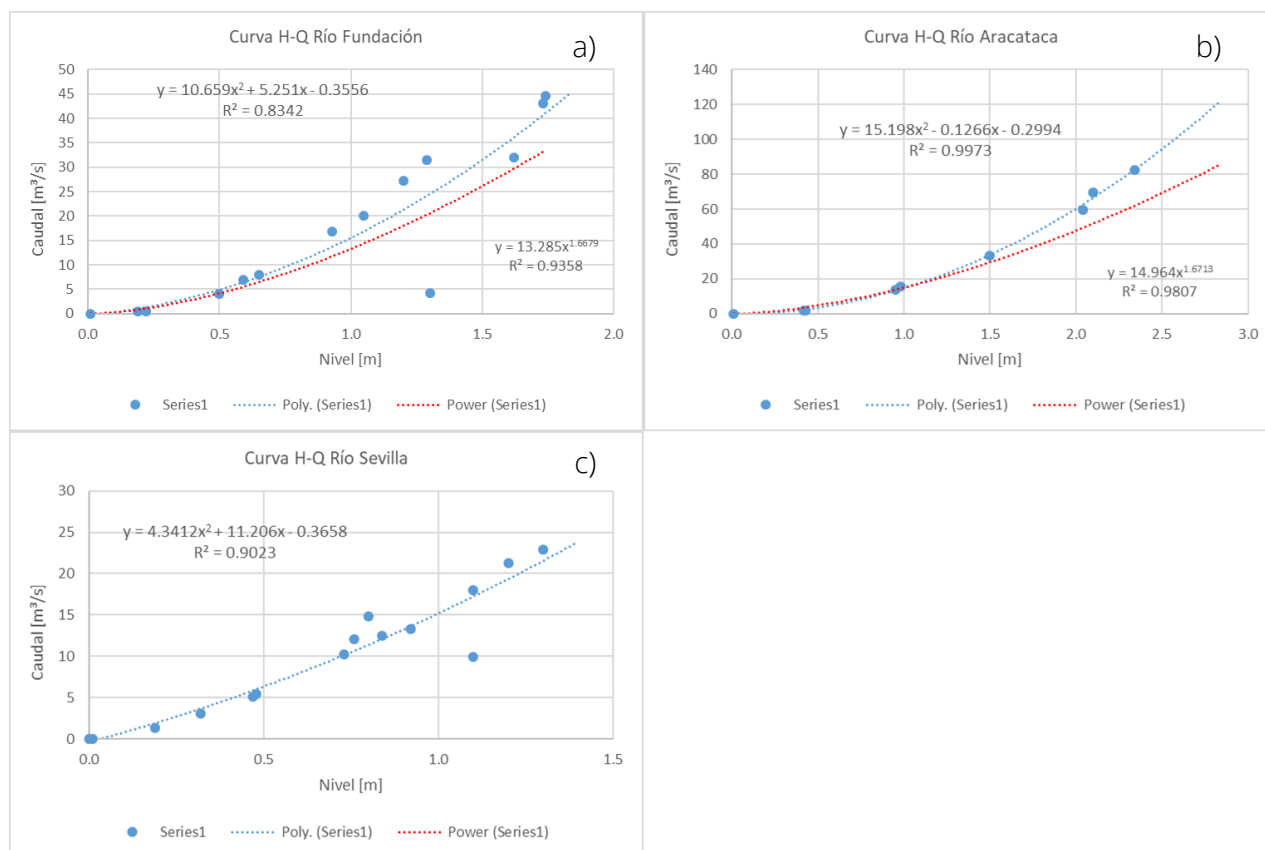


Figura 2.18. Curvas Nivel-Caudal de los ríos a) Fundación, b) Aracataca y c) Sevilla

De acuerdo con estas curvas, y las mediciones realizadas por los observadores en campo, el caudal de estos ríos durante lo corrido de 2019 se muestra en la Figura 2.19. El aumento de los caudales en mayo se debe al inicio de la temporada de lluvias que, para la CGSM presenta un comportamiento similar al reportado para Santa Marta en INVEMAR-GEO (2014), el cual es monomodal; es decir, presenta un período seco (diciembre – marzo) y otro lluvioso bien diferenciado (abril – noviembre) durante el transcurso del año.

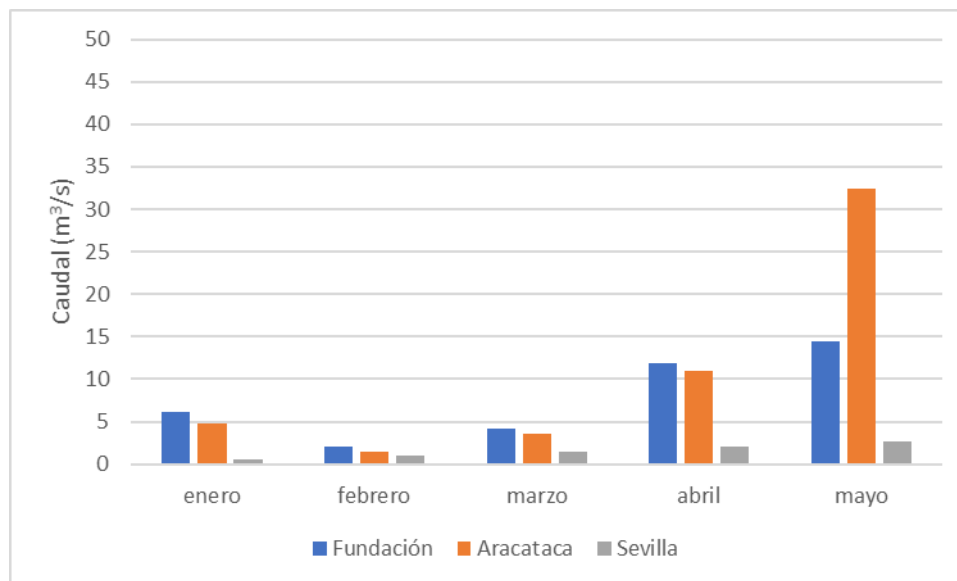


Figura 2.19. Caudales mensuales calculados a partir de las mediciones por los observadores durante el 2019, usando las curvas H-Q de los ríos Fundación, Aracataca y Sevilla.

De igual manera, el monitoreo en los caños Clarín Nuevo, Renegado y Aguas Negras, ha permitido la obtención de 15 aforos líquidos en promedio para estos sistemas hídricos. En la Figura 2.20 se presenta la segunda aproximación de las curvas de gastos (Nivel – Caudal) realizada para estos caños, excepto el caño Renegado que está controlado por compuertas y no es viable la generación de dicha curva, solo se ilustran las campañas de aforos realizada y el comportamiento de los niveles para el periodo actual.

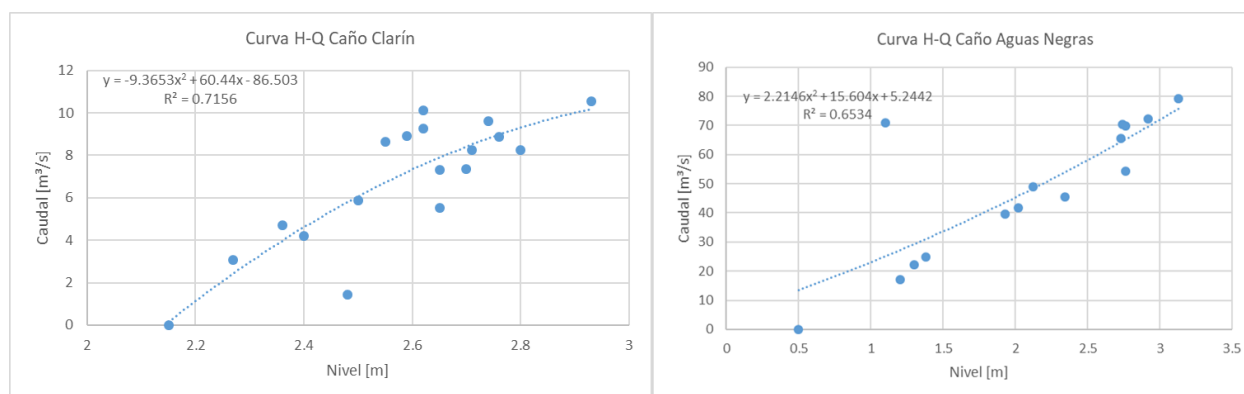


Figura 2.20. Curvas Nivel-Caudal de los caños a) Clarín y b) Aguas Negras.

De acuerdo con estas curvas, y las mediciones realizadas por los observadores en campo, el caudal de estos ríos durante lo corrido de 2019 se muestra en la Figura 2.21. De manera similar, el progreso del aumento de los caudales en los caños provenientes del río Magdalena, se debe

al inicio de la temporada de lluvias que afecta a la CGSM, cuyo inicio se manifiesta en el mes de mayo (INVEMAR, 2014).

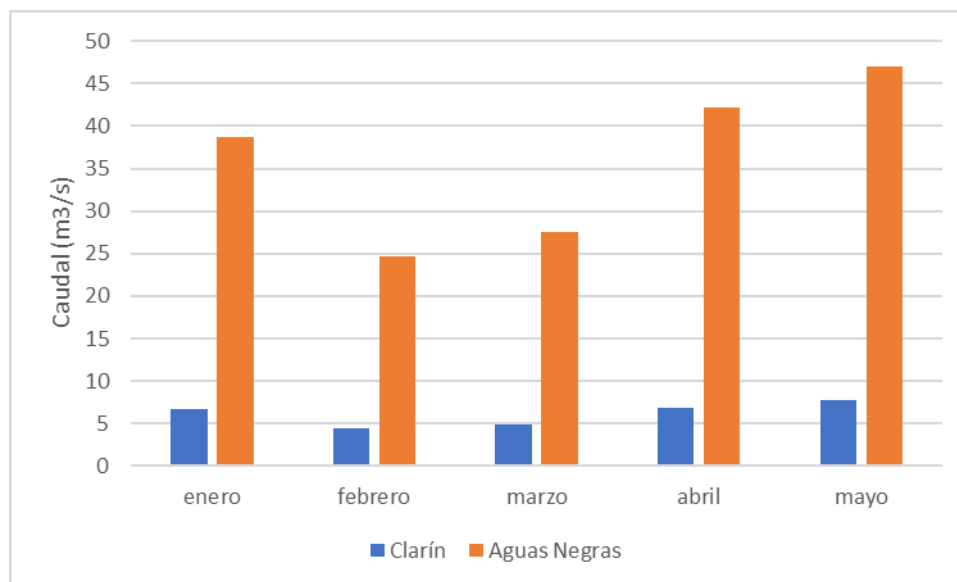


Figura 2.21. Caudales mensuales calculados a partir de las mediciones por los observadores durante el 2019, usando las curvas H-Q de los caños Clarín y Aguas Negras.

2.2 Monitoreo sedimentológico

2.2.1 Flujos y tasas de sedimentación

Desde la instalación inicial de las trampas para este año 2019, se continuó con el monitoreo y análisis del material colectado (ver estaciones en la Figura 2.22). En donde una vez identificada la localización geográfica de cada trampa se procedió a extraer, limpiar y revisar sus componentes además de etiquetar la muestra colectada para su posterior traslado a las instalaciones del INVEMAR. Finalmente, se realizó la reinstalación de las trampas, cuyo material será colectado en la salida programada para el mes siguiente. A la fecha, se han realizado cinco visitas a las estaciones de trampas ubicadas en el margen sur y al occidente de la malla de muestreo. A continuación, se presenta una breve descripción de los principales variables medidas para cada estación durante los meses muestreados y monitoreados

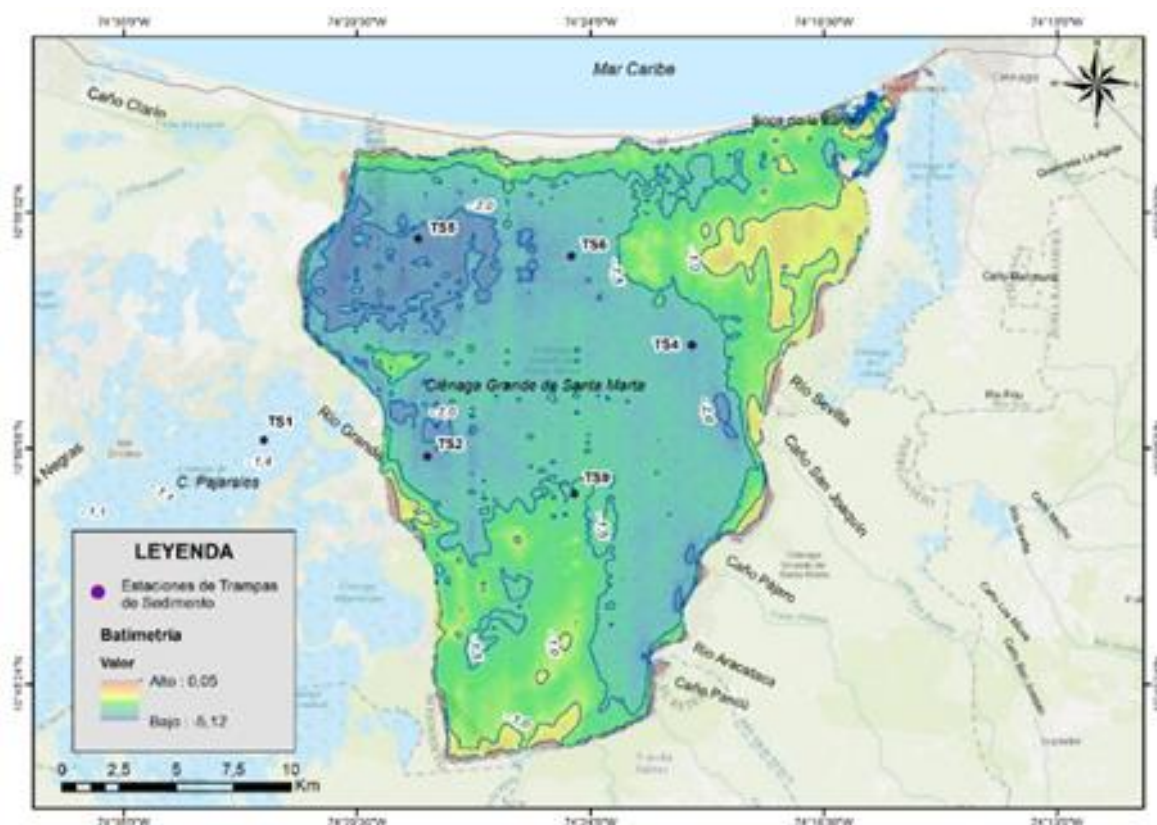


Figura 2.22. Mapa de localización de las trampas de sedimento. Se puede observar que los puntos de muestreo se ubicaron en zonas donde la batimetría lo permitía, procurando tener una malla homogénea que cubriera gran parte de la CGSM.

En cada una de las estaciones (Figura 2.22) se midió la Profundidad total y la profundidad de la zona fótica, con la finalidad de instalar las trampas de sedimento a una profundidad que redujera la recolección de sedimento en fase de resuspensión (proceso que en la zona resulta de alta importancia y ocurrencia (INVEMAR-CORPAMAG 2018) además de procesos fotosintéticos.

La figura (Figura 2.23) muestra un resumen de las profundidades medidas para la zona fótica durante los meses de febrero, marzo, abril y mayo de 2019, la cual se asume tiene una relación directa con la cantidad de agua de proveniencia fluvial, marina y de mezcla presente en el sistema (INVEMAR-CORPAMAG 2018). El mayor cambio se da en la zona de la trampa TS9 en donde la base de la capa fótica puede variar (según nuestros datos) entre 35 cm a 1.2 metros durante los meses de febrero-marzo, variaciones menores se evidencian en la zona de las trampas TS2 y TS6 durante abril y mayo respectivamente. Esta información muestra la enorme dinámica que tienen los sedimentos suspendidos tanto temporal como espacialmente. (Figura 2.24).

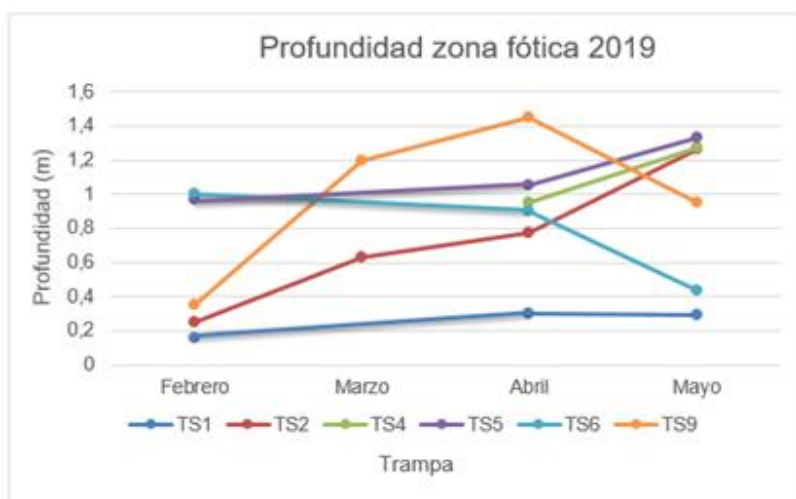


Figura 2.23. Diagrama con los valores de profundidad de la zona fótica medidos en campo febrero a mayo de 2019.

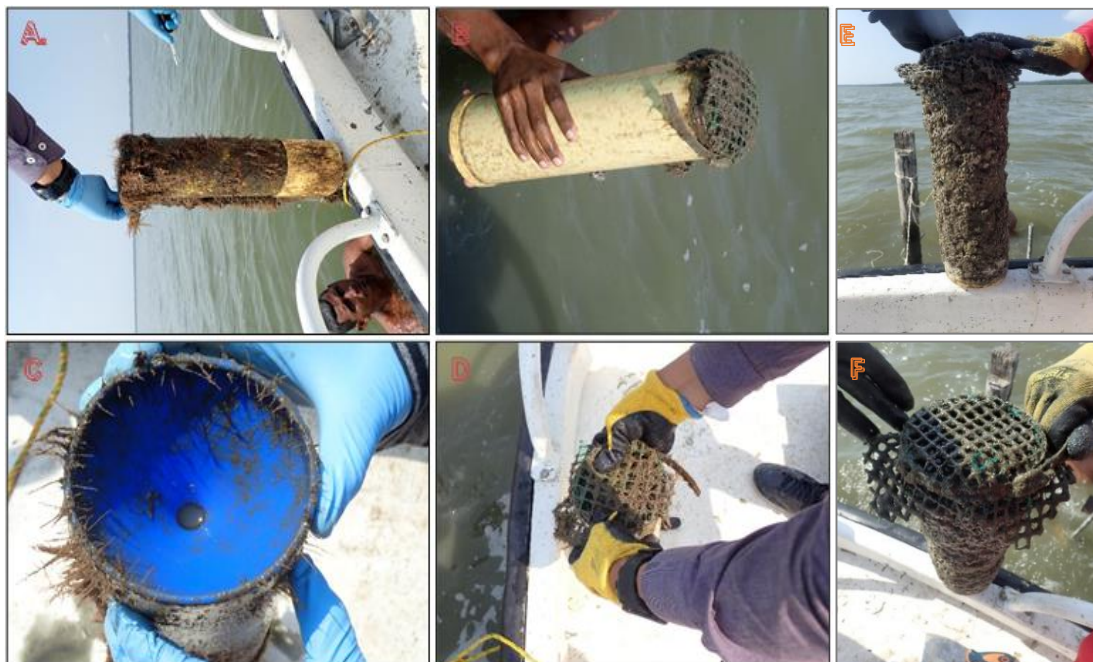


Figura 2.24. Registro fotográfico de la maniobra en campo. A y B) Extracción trampas TS9 y TS1 respectivamente. C) Fotografía superficie de la boca de la trampa TS2 con presencia de algas. D) Cambio de malla con crecimiento de algas. E) y F) Trampa TS6 del mes de mayo colonizada en algunos sectores por *Balanus* sp. Vista frontal y superior

Se muestran los valores de FMT calculados a partir de las muestras de sedimento colectadas por las trampas en la CGSM, durante los meses de febrero y marzo, aunque durante el monitoreo también se han colectado la totalidad de las muestras de los meses de abril y mayo. Estas muestras aún se encuentran en fase de laboratorio y sus datos de FMT serán contemplados y

analizados con el acumulado del monitoreo. Por otra parte las casillas que aparecen vacías hacen referencia a las muestras pérdidas durante el monitoreo.

Como se observa en la (Figura 2.25) las trampas correspondientes a febrero, ubicadas hacia el sector centro-norte, (TS5, TS6) registraron un valor de FMT mayor al resto de muestras, posiblemente ligado a los bajos niveles de precipitación para el mes en la zona, lo que permitiría suponer que la acción y aporte mareal es la fuente de material predominante para este mes, considerando además que las muestras ubicadas hacia el SW de la boca de la barra, las cuales presentan una mayor cercanía fluvial presentaron los menores valores de FMT.

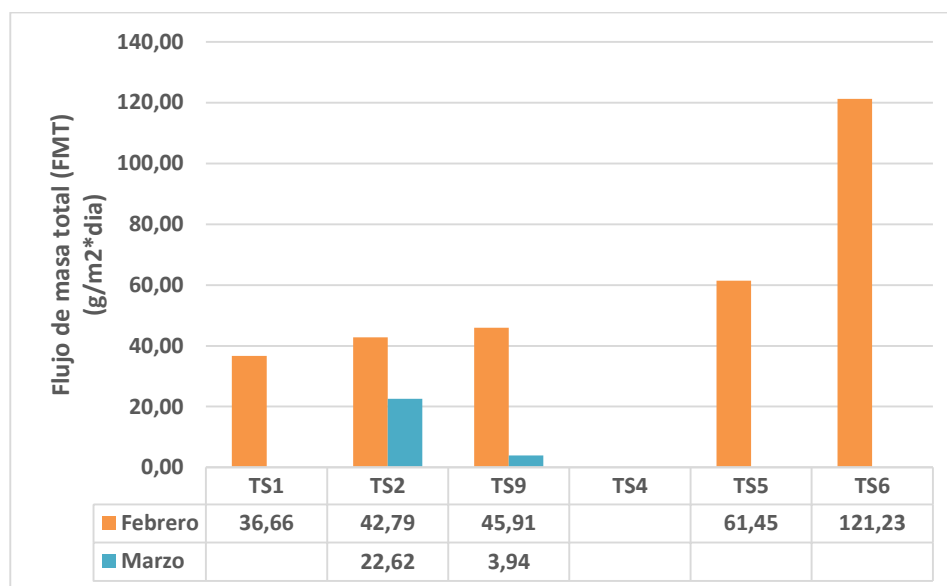


Figura 2.25. Histograma con los resultados de flujo de masa total (FMT en $\text{g/m}^2 \cdot \text{día}$) mes de febrero y marzo de 2019.

Por otra parte el FTM promedio presenta variaciones entre los meses de febrero y marzo de $51,341 \text{ g/m}^2 \cdot \text{día}$ a $35,185 \text{ g/m}^2 \cdot \text{día}$; (Figura 2.26), aunque los registros de precipitación mensual acumulada muestran que posiblemente los aportes fluviales pueden ser bajos, dichas variaciones en el flujo pueden estar relacionadas con fluctuaciones en la dirección y velocidad del viento (INVEMAR-CORPAMAG, 2018), y/o cambios en la fuente de aporte de sedimento predominante para esta época del año, así como variaciones en la productividad del medio.

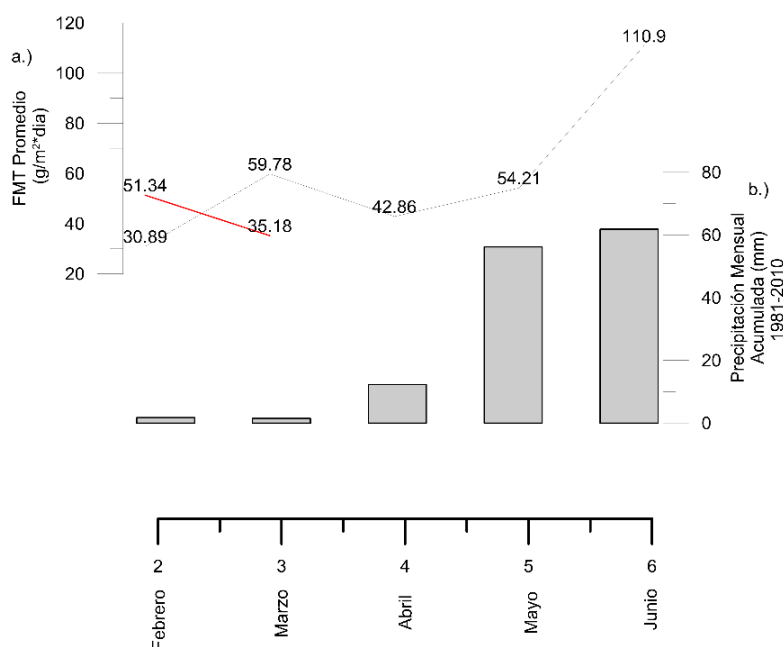


Figura 2.26. FMT promedio para el periodo comprendido entre febrero – Marzo 2019 (rojo) febrero –Junio 2018 (negro) y media de la precipitación mensual acumulada entre 1981 – 2010. (IDEAM) para los meses de febrero a junio.

En comparación, los valores de FMT promedio calculados para febrero y marzo del año 2019 no presentan grandes variaciones con respecto al monitoreo de 2018 (Figura 2.26), sin embargo muestran una tendencia inversa, ya que en 2018 para marzo se presentaba un incremento en el flujo de aproximadamente $20 \text{ g/m}^2 \cdot \text{día}$ con respecto a febrero; Los resultados obtenidos para 2019 reportan una reducción del FMT para marzo de aproximadamente $18 \text{ g/m}^2 \cdot \text{día}$ en relación a febrero.

Por otra parte el monitoreo mediante trampas de sedimento permite de una manera indirecta estudiar de manera general las condiciones de recambio de agua dulce y salada en la CGSM a través de la dominancia en la colonización de la superficie de las trampas durante los meses muestreados

De esta manera se obtiene una visión general de la actividad biótica que se desarrolla en la zona (Tabla 2.1) caracterizada por la presencia de algas (especies no determinadas), conchas en general, crustáceos de la especie *Balanus sp.* Teniendo en cuenta que esta última especie tiene una afinidad por el agua salobre (Caffey, 1985), puede ser usada como indicadora de la predominancia de aguas marinas en el sistema, por lo menos en el área de influencia de las trampas de sedimento colonizadas.

A grandes rasgos es posible evidenciar en febrero la ausencia de *balanus* sp y conchas en las trampas TS1 y TS2 ubicadas hacia la ciénaga de Pajarales, donde se asume una mayor afinidad fluvial en el sistema, en donde si proliferó la presencia de algas, posiblemente indicando bajos o nulos niveles de salinidad en este sector del complejo.

Tabla 2.1. Resumen de los diferentes colonizadores encontrados durante el monitoreo de trampas de sedimento. 1 corresponde a presencia, 0 a ausencia.

Mes	Febrero			Marzo			Abril			Mayo		
Estación	<i>Balanus</i>	Conchas	Algas	<i>Balanus</i>	Conchas	Algas	<i>Balanus</i>	Conchas	Algas	<i>Balanus</i>	Conchas	Algas
TS1	0	0	1				1	0	0	1	1	0
TS2	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
TS4							1	0	1	1	1	1
TS5	1	1	1				1	0	1	1	0	0
TS6	1	0	1				1	0	0	1	1	0
TS9	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
Crecimiento												
Sí	1											
No	0											
Sin muestra												

2.2.2 Sedimentos de fondo de los ríos que drenan de la SNSM

La actividad de muestreo de sedimento de fondo en la parte baja de la cuenca de los ríos tributarios de la CGSM se desarrolló mediante la metodología propuesta por Emmet (1981). El muestreo se inició durante el mes de febrero en el río Aracataca, en marzo se visitó y colecto material de los ríos Aracataca y Fundación, para el mes de abril se logró muestrear el río Sevilla y finalmente en mayo se colecto material del río fundación nuevamente, esto con el objetivo de comparar y realizar un seguimiento en los cambios o variaciones en la dinámica sedimentaria, transporte y energía del fondo del cauce basado en los datos de granulometría obtenidos para cada uno de los meses y ríos muestreados.

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. 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. Dichas zonas se encuentra asociadas al proceso de sedimentación y es donde se evidencia presencia de playones o barras de arena.

A continuación se presentan los resultados de los análisis de granulometría por tamices realizados al sedimento colectado en cada una de las campañas de muestreo; así como sus consideraciones sedimentológicas:

Rio Aracataca:

Los análisis de granulometría realizados a las muestras de sedimento de fondo colectadas en el río Aracataca “abajo”, durante los meses de febrero y marzo (Figura 2.27) muestran una variación en el tamaño de grano predominante de un mes al otro, el porcentaje de material tamaño arena media disminuye para marzo de 48% a 24%; en contraste se evidencia un aumento en el porcentaje de material tamaño arena muy gruesa para este mes (de 10% a 27%). Además es evidente el incremento en el contenido de sedimento tamaño grava (del 4 al 15% para marzo).

Estas variaciones generales en las condiciones sedimentológicas y de transporte de fondo pueden estar relacionadas con un cambio en el régimen y energía de transporte del medio posiblemente beneficiado por cortos periodos de incremento del caudal y/o variaciones en el aporte de sedimento, considerando que según la información pluviométrica del IDEAM en 1981-2010 (Figura 2.26) las precipitaciones en la zona se mantienen en bajos niveles casi que constantes para ambos meses.

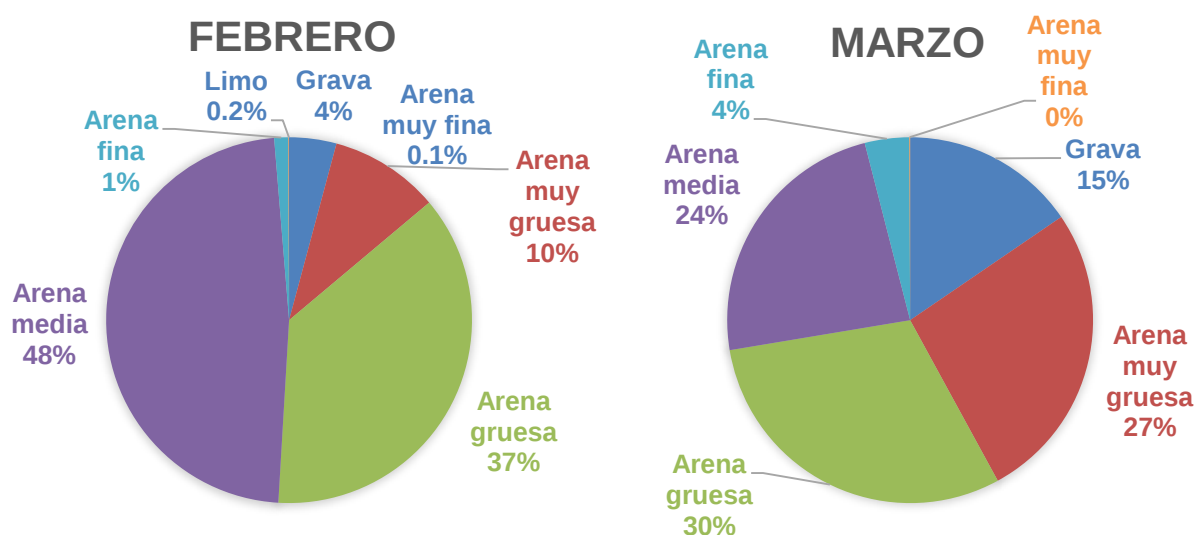


Figura 2.27. Histograma con los resultados de granulometría río Aracataca febrero y marzo de 2019.

Rio Fundación:

Los resultados de granulometría obtenidos en la cuenca baja del rio Fundación para los meses de marzo y mayo (Figura 2.28), muestran un notable aumento en el tamaño general del sedimento de fondo que viaja por procesos de saltación y rotación en el cauce, sustentado en el incremento en composición textural de los porcentajes de tamaños grava (0 a 2%), arena gruesa (25 a 47%) y arena muy gruesa (3 a 13%) en el mes de mayo con respecto a marzo. Así mismo es posible identificar una disminución en el contenido de granos tamaño arena fina (10 a 2%), lo que indica de igual manera un aumento en la capacidad de transporte del fondo del cauce.

Dicha variación puede estar sustentada en el aumento de la precipitación acumulada para el mes de mayo con respecto al mes de marzo constituyendo un aumento en los niveles de agua y por ende en la capacidad de transporte tanto en el fondo como en la columna de agua, del mismo modo dicho incremento en la energía del medio puede beneficiar los procesos erosivos y así incluir mayor cantidad de material al sistema.

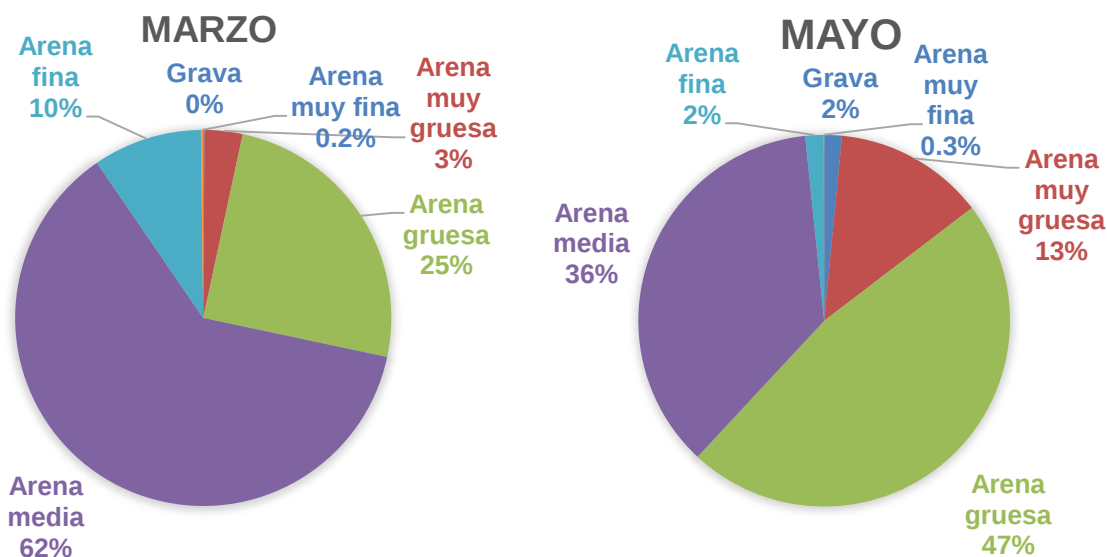


Figura 2.28. Histograma con los resultados de granulometría rio Fundación marzo y mayo de 2019.

Rio Sevilla:

Los sedimentos colectados en la cuenca baja del rio Sevilla para el mes de abril (Figura 2.29) presentan altos contenidos de arena media, y gruesa (38%), con presencia de arena muy gruesa y grava en menor proporción, lo cual, en contraste con los datos de los ríos en mención para los otros meses muestreados indica una considerable capacidad de transporte, teniendo en cuenta

que para el mes de abril se registra el inicio del incremento en los niveles acumulados de precipitación (Figura 2.26).

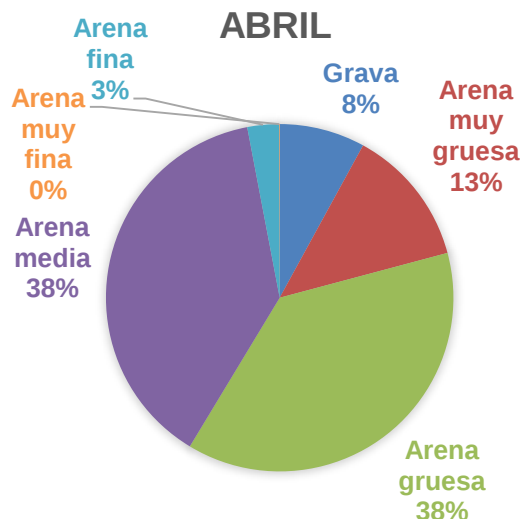


Figura 2.29. Histograma con los resultados de granulometría río Sevilla “abajo” abril de 2019.

En general, en la zona es apreciable una relación directa entre los niveles acumulados de precipitación mensual y el incremento en la capacidad de transporte de sedimento de fondo, plasmado en la composición granulométrica, esta dinámica se encuentra enmarcada por el inicio y fin de las temporadas de mayores lluvias. De este modo es posible empezar argumentar la hipótesis que sostiene que la dinámica sedimentológica de fondo de los ríos que drenan de la SNSM es bimodal y dependiente de las precipitaciones y temporadas de sequía, dicha postura será alimentada con la información que brinde el seguimiento y monitoreo mediante el muestreo trimestral.

Las muestras colectadas durante las campañas de muestreo se ubican en el diagrama terciario propuesto por FOLK (1984) (Figura 2.30) en la zona superior con un porcentaje general de composición textural tamaño arena mayor al 90 % lo cual indica el moderado a alto nivel de energía atribuido a las partículas transportadas en el fondo de los cauces muestreados, además indica una buena selección del material que puede relacionarse con una fuente de sedimento parental lejana.

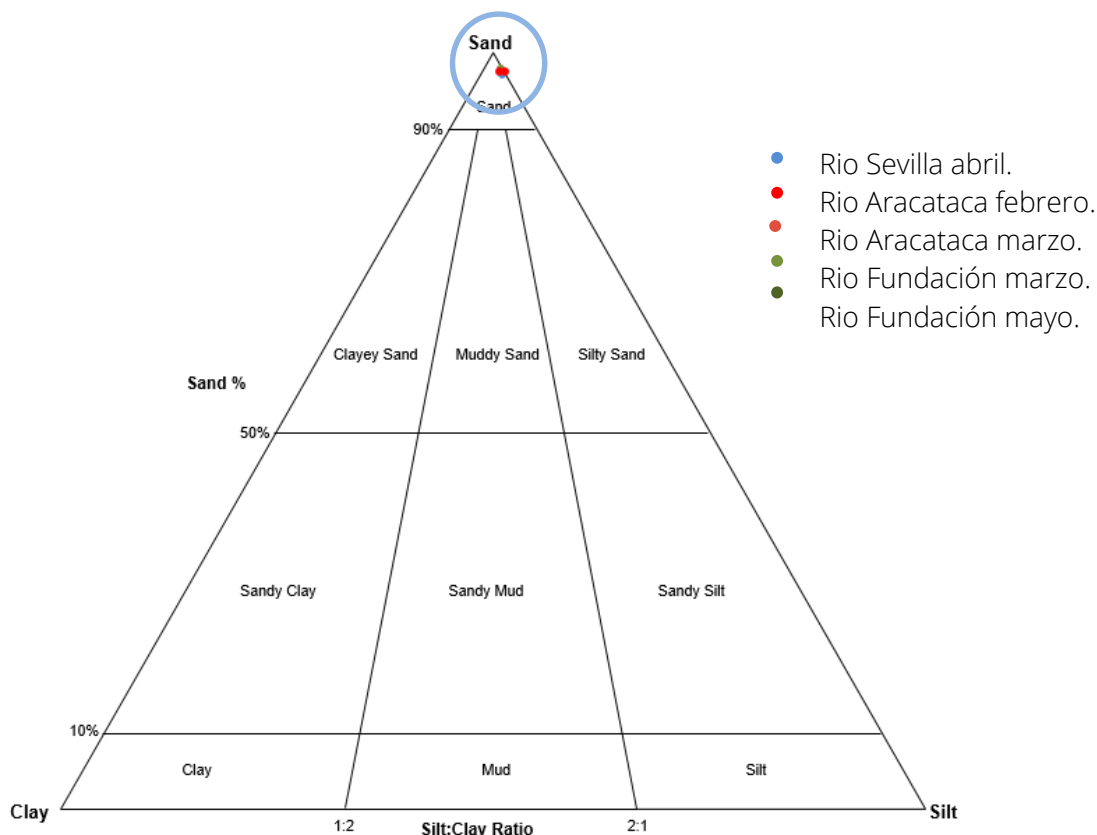


Figura 2.30. Diagrama de folk 1984 clasificación textural de las muestras de fondo colectados en los tributarios que descienden de la SNSM.

3 CONCLUSIONES

La falta de profundidad se incrementó de manera general en todo el cuerpo de agua principal durante el mes de febrero, lo que afectó la navegabilidad y dificultó el acceso a varias estaciones o desembocaduras de los ríos. Sin embargo, para los meses de marzo aumentaron levemente los caudales y a partir de abril se produjeron las primeras lluvias del año lo que incrementó los caudales a sus niveles normales y presencia de corrientes en algunos afluentes lo cual dificultó la medición en algunos lugares.

Por otra parte, la salinidad del cuerpo de agua principal de la CGSM está regulada por el flujo y el refluo que se dan en la Boca de La Barra indicando la intrusión de agua marina dentro de la ciénaga y su influencia varios kilómetros al interior como se registró para los meses de marzo-mayo donde incluso llega hasta Caño Grande. La transparencia se incrementó en el sector de Pajarales para el mes de febrero con respecto a enero, pero es mínima con respecto a otros meses del año donde la zona fótica puede ocupar toda la columna de agua.

La actualización de las curvas nivel caudal se ha realizado toda vez que en 2018 se recomendó dar continuidad al monitoreo, ya que la obtención de datos mensuales permite afinar modelos, tomar decisiones más certeras y hacer seguimientos a corto plazo de la evolución de los cuerpos de agua. Esta calibración permanente ha permitido obtener series de tiempo más que se ajustan a la climatología local, lo cual permite establecer con cierto grado de certeza, que las mediciones de nivel realizadas por los observadores, se ajustan a la realidad de la CGSM

La variación en la composición granulométrica de las muestras colectadas en el río fundación en los meses de marzo y mayo presentan una relación directa con los cambios en los niveles acumulados de precipitación en la zona, considerándolo como el factor de mayor influencia en la capacidad de carga de fondo del cauce, sin embargo, factores como la geomorfología, la fuente de aporte y la acción antrópica pueden influir en las dinámicas del sistema.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque, A. L. S., Belem, A. L., Briceño-Zuluaga, F., Cordeiro, L. G. M., Mendoza, U., Knoppers, B. 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 topo batimétrico, 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): modelación hidráulica, hidrosedimentológica y biogeoquímica. Convenio Interadministrativo No. 209 de 2017. Santa Marta. 85 p + 2 Anexos.

León, Juan, Seyler, Frederique, Puerta, Astrid, Estimación de curvas de gasto en estaciones virtuales Envisat sobre el cauce principal del río Orinoco. *Ingeniería e Investigación* [en línea] 2011, 31 (Diciembre-Sin mes): [Fecha de consulta: 13 de junio de 2019] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64322335010>> ISSN 0120-5609

Organización Meteorológica Mundial., Guía de prácticas hidrológicas. Quinta edición, OMM No 168., 1994, pp. 147-173.