

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 317 DE 2018 PRY – GEO – 003 9

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

Tercer informe de actividades



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

Santa Marta, septiembre de 2019

Informe de Actividades N.3

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

Magnolia Murcia Riaño

César Fernando García Llano

Juan Sebastián Ponce Bastidas

Julio Enrique Rodríguez

Natasha Valencia

Silvio Andrés Ordoñez

David Morales

Santa Marta, septiembre de 2019

Imagen portada: Boca Río Aracataca, tomada a 80 metros de altura; tomada en enero del año 2019. Cesar García.

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	REPORTE DE ACTIVIDADES.....	2
2.1	Área de estudio.....	2
2.2	Monitoreo hidrológico.....	4
	Sólidos suspendidos totales	4
	Transparencia	7
	Salinidad.....	11
2.3	Nivel de agua en los Ríos y Caños	15
2.1	Curvas nivel-caudal	20
2.2	Monitoreo sedimentológico.....	24
2.2.1	Flujos y tasas de sedimentación.....	24
2.2.2	Sedimentos de fondo de los ríos que drenan de la SNSM	28
3	CONCLUSIONES.....	32
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

1 INTRODUCCIÓN

Este tercer informe de actividades corresponde al consolidado de la información colectada en campo entre los meses de enero y agosto de 2019, el cual incluye el monitoreo hidrológico (sólidos suspendidos totales, transparencia, salinidad, mediciones de caudales de los principales afluentes, 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).

Todo esto hace parte de las actividades planteadas dentro del convenio interadministrativo 317, el cual busca 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), en el cual se considera mantener el monitoreo hidro-sedimentológico de la Ciénaga Grande de Santa Marta entre el 2018 y 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.

2 REPORTE DE ACTIVIDADES

2.1 Área de estudio

Para dar continuidad a las actividades de monitoreo se tiene contemplada una red de estaciones ubicadas dentro del complejo lagunar, la cual incluye estaciones dentro del espejo de agua principal para la medición de turbidez, instalación de trampas de sedimentos y mediciones de caudal en las bocas de los ríos (Sevilla, Aracataca y Fundación) y caños (Clarín y Grande) así como también en la boca de La Barra (Figura 2.1). Adicionalmente, se tienen estaciones de monitoreo de niveles de los ríos (después de su paso por la zona agrícola) y caños (recién derivados del río Magdalena y antes de transitar por el complejo lagunar).

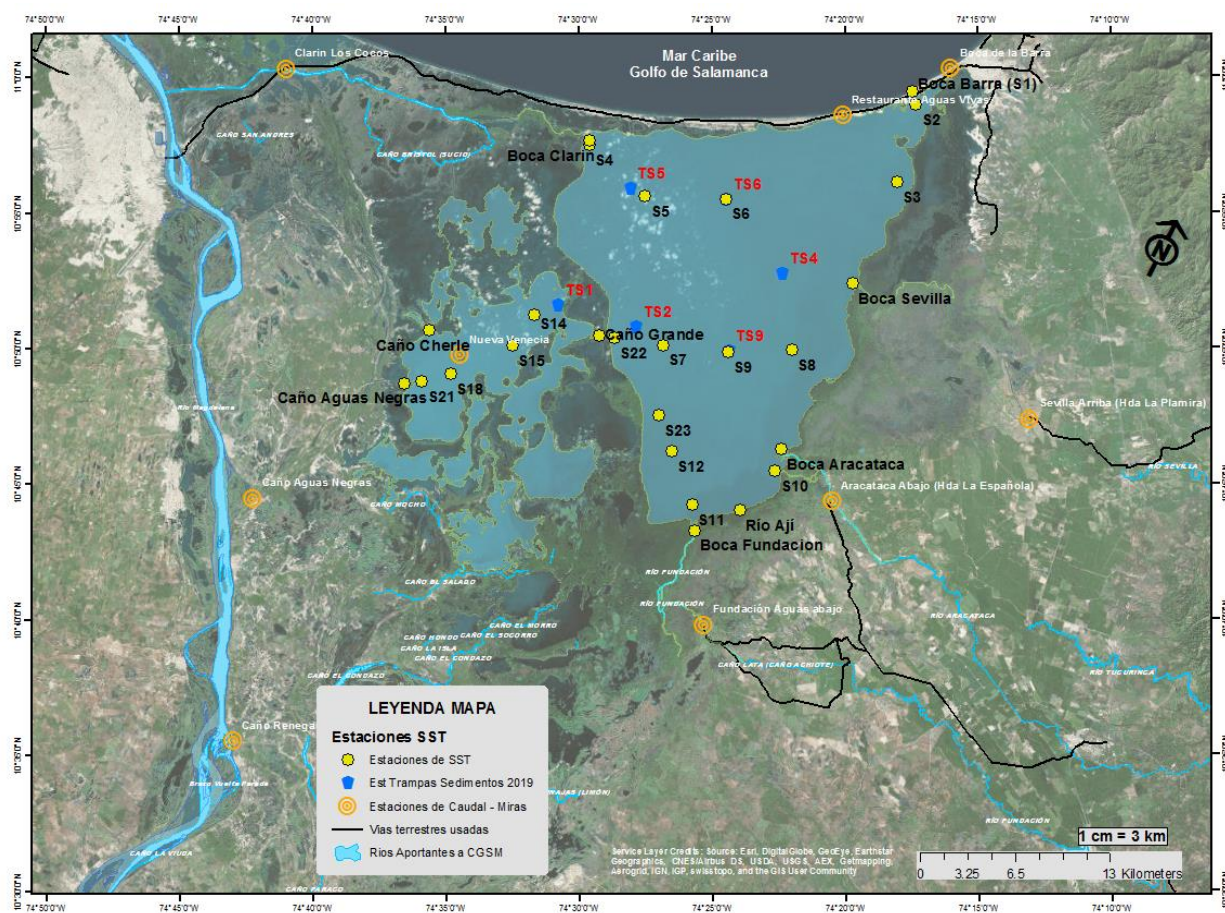


Figura 2.1 Mapa del complejo lagunar CGSM con la distribución de las estaciones del monitoreo hidrológico (caudales, niveles y sedimentos)

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 hasta mayo de 2019. Por lo anterior, se produjo un descenso considerable de los niveles hidrológicos en todos los tributarios de la ciénaga, tanto de los ríos provenientes de la Sierra 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 ($< 2 \text{ mm}$) 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 llegó a los 20 mm, según datos del aeropuerto Simón Bolívar. Después de esto, la recuperación de los ríos fue evidente, mostrando cauces con mayor nivel y mayor caudal en los ríos Fundación y Aracataca, y en menor medida en el Sevilla.

La presión hídrica sobre los ríos que descienden de la Sierra se incrementa en los primeros meses del año (INVEMAR-CORPAMAG, 2018). 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), siendo este año aun no declarado con año El Niño.

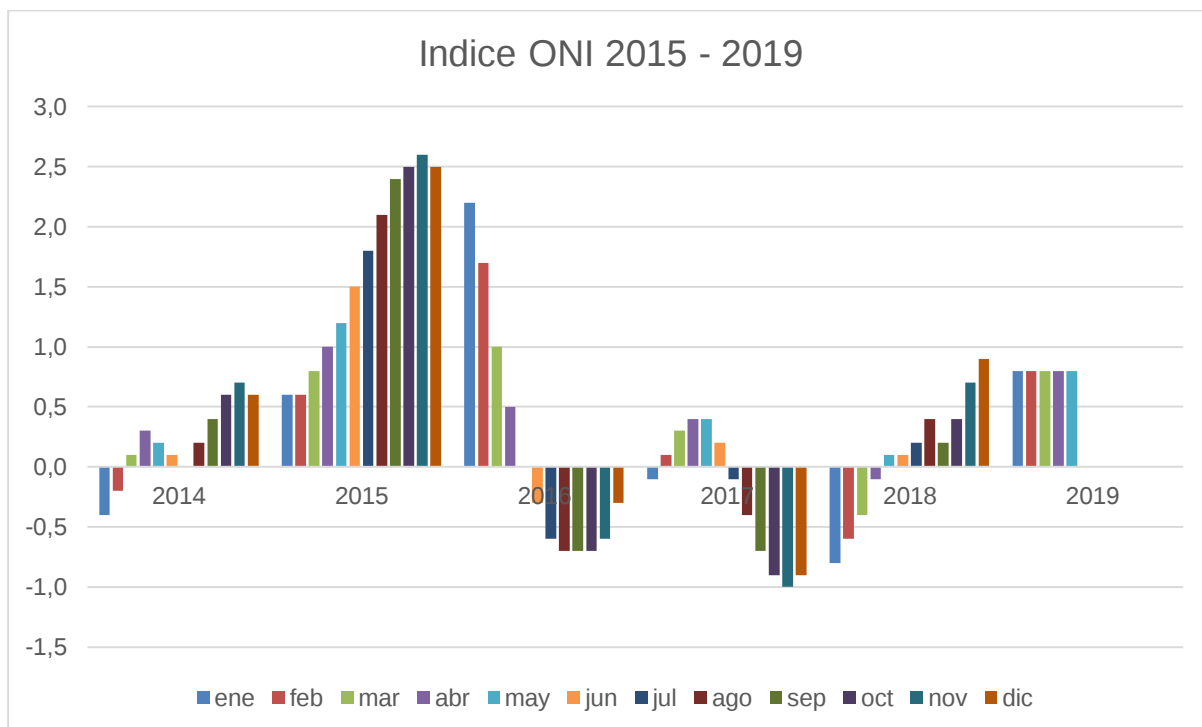


Figura 2.2 Tendencia del índice ONI entre el año 2015 -2019

2.2 Monitoreo hidrológico

Durante los meses de enero a agosto se realizaron mediciones de profundidad (m), Sólidos Suspendidos Totales (SST) (mg/l), transparencia (m), salinidad, velocidad (m/s) y dirección del viento, así como de caudales instantáneos (m^3/s). Con base a los recorridos terrestres se pudo identificar la variación de la profundidad y los caudales instantáneos mínimos de cada afluente, durante la sequía de mayor intensidad de principio de año. Estos datos son la base para la actualización de las curvas $H - Q$.

La profundidad promedio general de todas las estaciones de la ciénaga se encuentra en 1.83 m entre enero y julio de 2019; destacando que Caño grande es la estación de mayor profundidad con 7.0 m en promedio, mientras que las de menor profundidad son S21, S11, S12 y S3 (entre 0.2 y 0.5 m.).

Sólidos suspendidos totales (SST)

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 los datos evidenciaron claramente una alta contribución de SST de 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 de esperarse, 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), lo cual puede deberse a la poca exposición del lugar al efecto del viento, lo que reduce la resuspensión.

En febrero, el valor máximo fue de 170.5 mg/l en la zona entre los ríos Aracataca y Sevilla en la estación S8, aunque en la desembocadura del Río Fundación también se registró 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 poca profundidad limitó mucho la navegación para llegar a algunas estaciones de la zona noroeste de la CGSM.

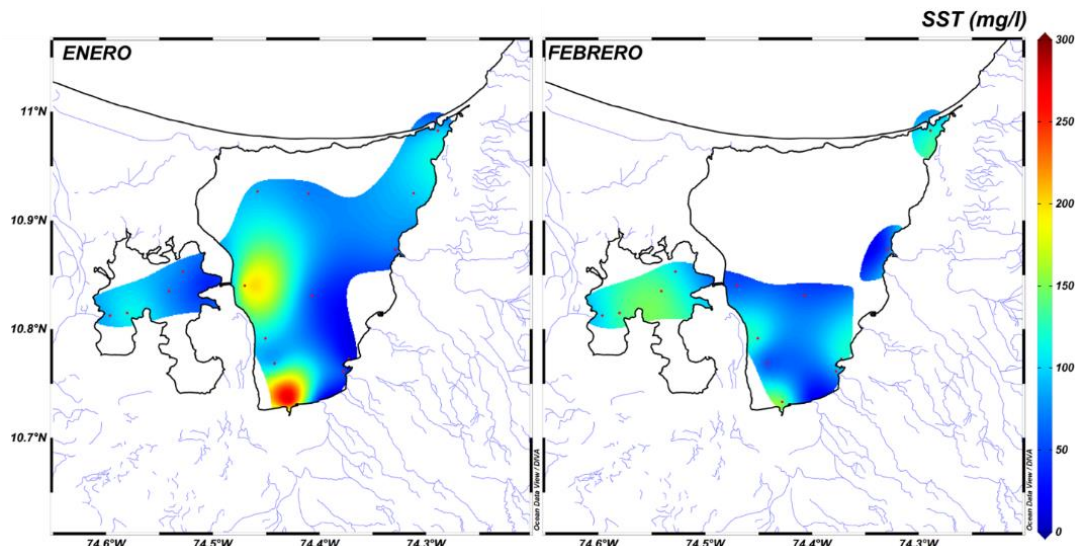


Figura 2.3 Distribución espacial de SST de la CGSM entre enero y febrero de 2019

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 los SST alcanzaron valores de 249.7 mg/l, seguido por la S18 con 173.8 mg/l, ambas estaciones adyacentes a Nueva Venecia. El valor mínimo se observó en la estación S9 donde se registró 32.8 mg/l.

En el mes de abril, no se registraron 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).

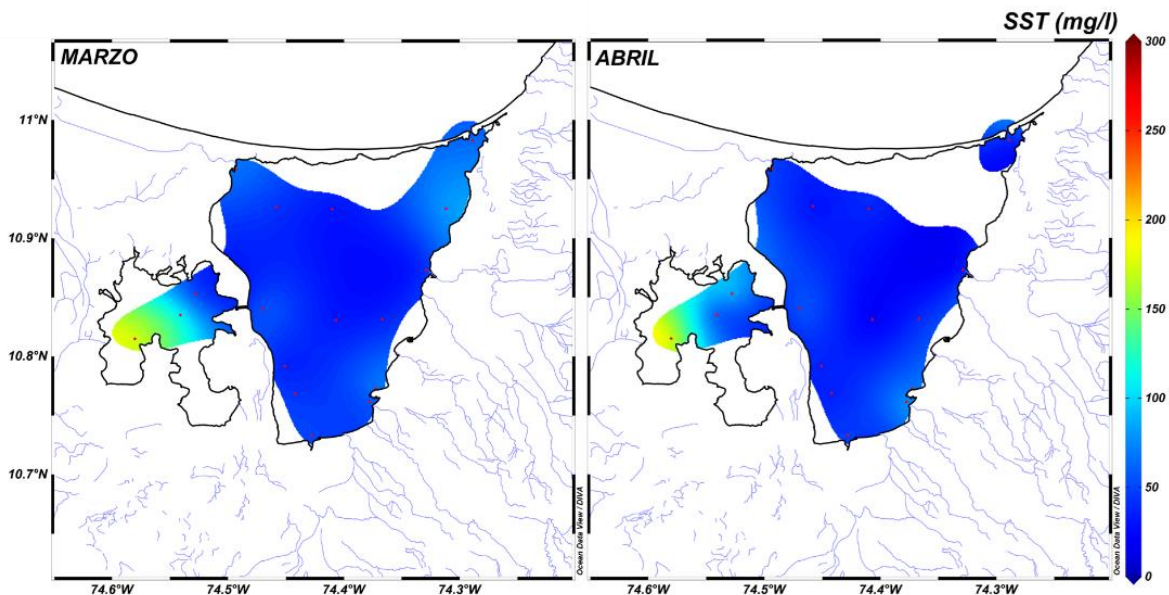


Figura 2.4 Distribución espacial de SST de la CGSM entre marzo y abril de 2019.

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 rio Fundación, donde la concentración llego a los 11.5 mg/l. Para el mes de junio se logró registrar mayor variación, se obtuvo un valor máximo en la estación Caño Aguas Negras de 322.7 mg/l, seguida por la estación S21 con 314 mg/l, estas estaciones se encuentran dentro del complejo Pajaral.

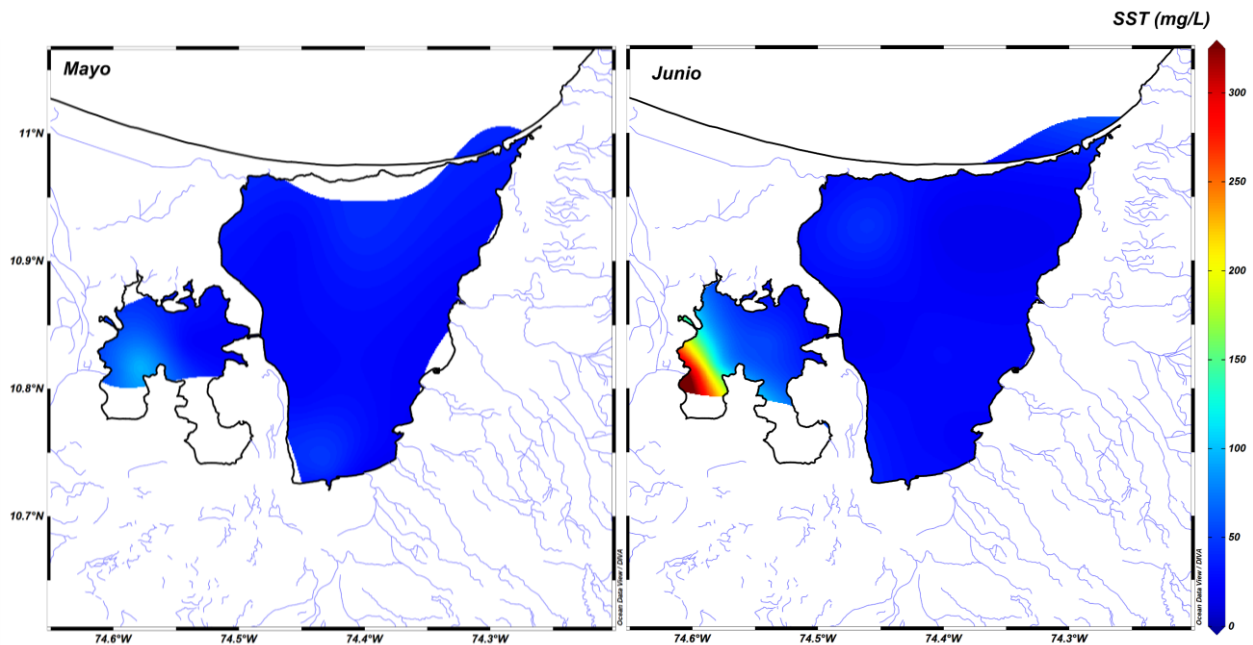


Figura 2.5 Distribución espacial de SST de la CGSM para mayo y junio de 2019.

Para el mes de julio los valores de SST disminuyeron, y la concentración promedio fue de aproximadamente mg/l en casi toda la zona de estudio (Figura 2.6).

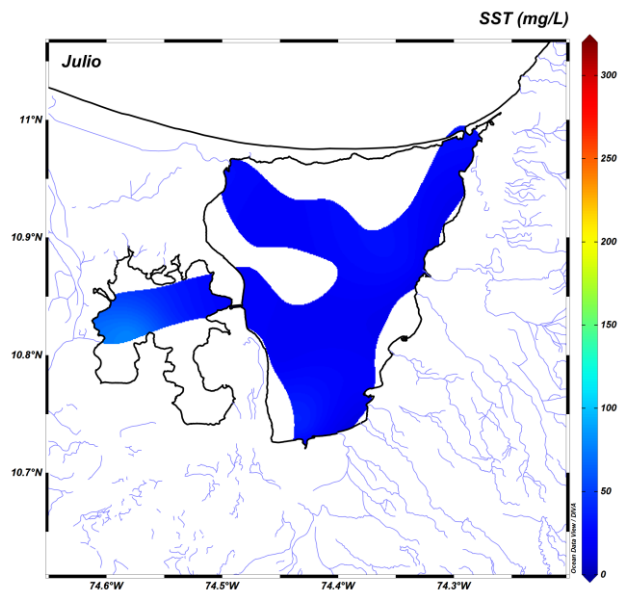


Figura 2.6. Distribución de espacial de los sólidos suspendidos totales para la CGSM para el mes de julio de 2019.

Transparencia

Dado que la transparencia está condicionada por los sólidos suspendidos totales, este parámetro dentro de la ciénaga obtuvo un promedio entre todas las estaciones de 0.6 m, el mes donde existe mayor transparencia fue abril con 0.7 m y el de menor febrero con 0.3 m.

Existen estaciones que superan 1.0 m como S9, S7 y S6, las cuales se ubican hacia el centro de la ciénaga, y que para los meses de abril, mayo y junio logran alcanzar este valor de transparencia; las estaciones donde los valores de transparencia no superan 0.3 m son S21, S18, S15 y Caño Cherle, las cuales tienen alta influencia de los aportes del río Magdalena.

Se identificó que el mes de febrero fue el de menor transparencia en promedio 0.3 m, y donde se destaca que las bocas de los ríos Fundación, Aracataca y Sevilla tenían 0.2, 0.2 y 0.1 m, respectivamente. Lo cual indica una cantidad importante de sedimentos transportados hacia el espejo principal de la CGSM. Otra estación con baja transparencia fue el Caño Clarín, en el sector de los cocos, donde alcanzó a ser 0.25 m. En este mismo mes, la transparencia máxima fue registrada en las estaciones S5 y S7, ambas con 1.80 m de profundidad. A pesar que las

estaciones están alejadas entre sí, se observó que el centro de la ciénaga tiene menos turbidez que los demás sectores (Figura 2.9).

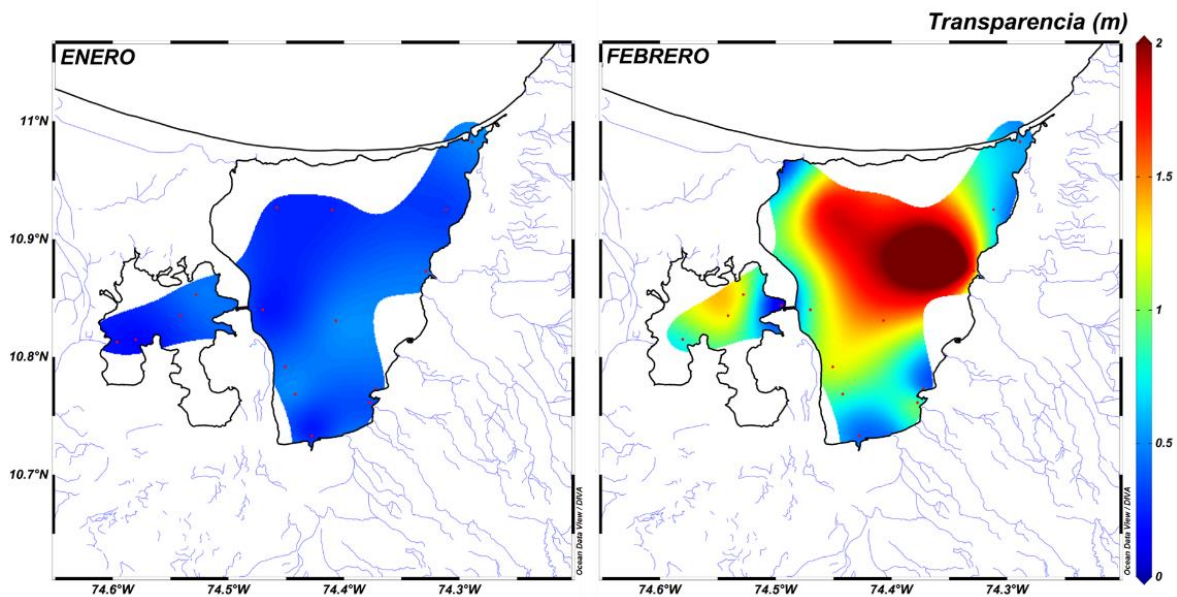


Figura 2.7 Distribución espacial de transparencia de la CGSM entre enero y febrero de 2019.

En el mes de marzo, se mantuvo el mismo patrón del mes anterior, donde los valores de mayor transparencia se observaron en el centro de la ciénaga, disminuyendo hacia las orillas (Figura 2.8). Los mayores valores se encontraron en S9 llegando a ser 1.2 m. 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 abril, la mayor transparencia se registró en la estación S9 con 1.45 m, siendo mayor al mes anterior. El valor mínimo para este periodo se localizó en S18 con 0.28 m, siendo esta estación más cercana a Nueva Venecia (Figura 2.8).

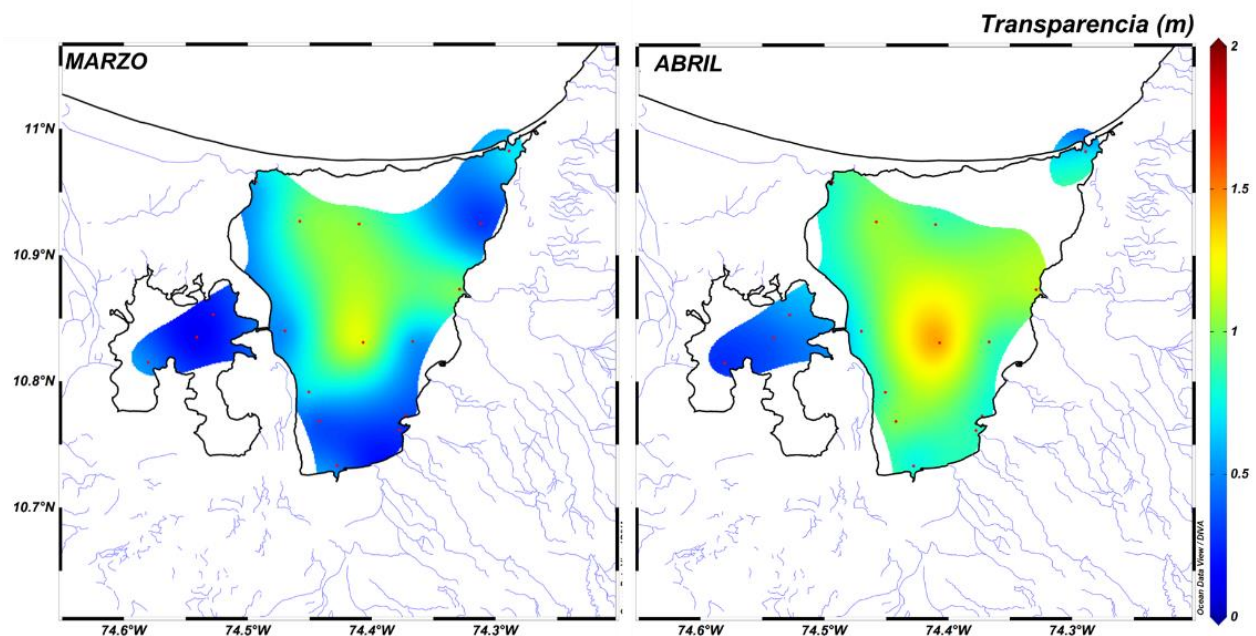


Figura 2.8 Distribución espacial de transparencia de la CGSM entre marzo y abril de 2019

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, seguido de la estación frente a la desembocadura del río Sevilla donde 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 2.9). En el mes de junio los mayores valores de transparencia se presentaron hacia el norte y centro del cuerpo principal, con valores de 1,08 m en las estaciones S6 y S5 ubicadas casi en el centro del cuerpo de agua principal, mientras que la zona de menor transparencia se estuvo ubicada dentro del complejo pajarales, donde los valores mínimos registrados fueron de 0.17 m.

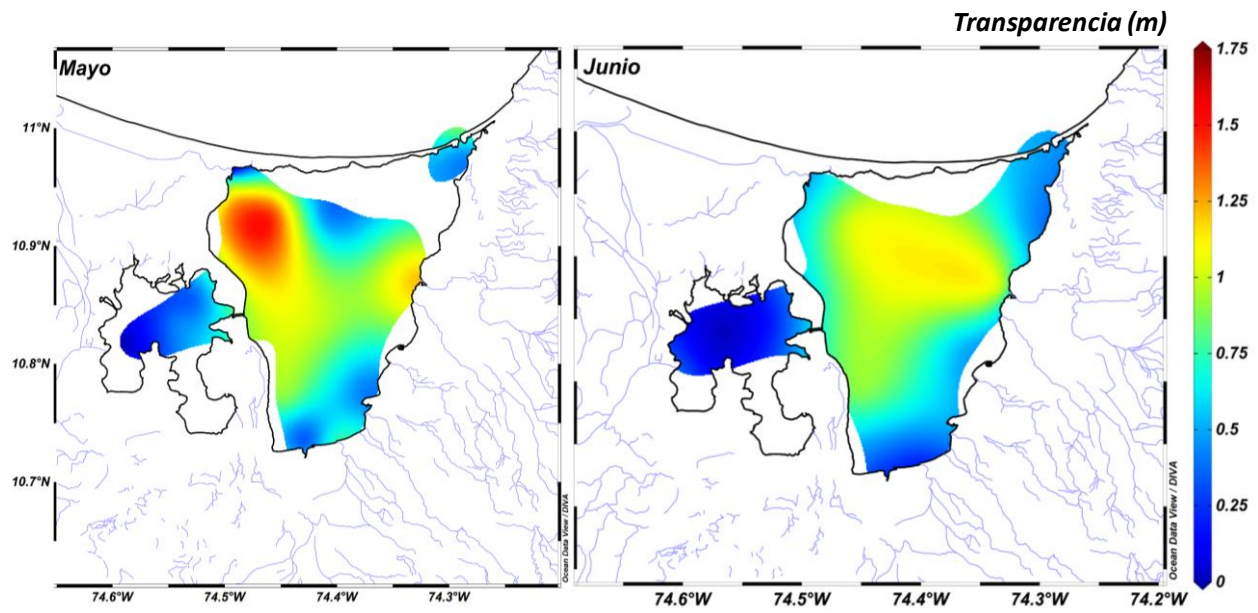


Figura 2.9 Distribución espacial de la transparencia dentro de la CGSM mayo y junio de 2019

Para el mes de julio los valores máximos de penetración de la luz registrados fueron mayores a 1 m de profundidad (Figura 2.10). La distribución fue similar a la del mes anterior, donde las mayores transparencias se observaron al norte y centro de la Ciénaga. Esto contrasta con las condiciones dentro del complejo pajarales, donde hay mayor turbidez por el aporte de los caños provenientes del Río Magdalena.

En agosto, las mayores transparencias se observaron hacia la mitad de la CGSM, extendiéndose hasta la desembocadura del Río Aracataca. Mientras que, dentro del complejo pajarales la transparencia tendió a ser homogénea en comparación con los meses de verano (Figura 2.10).

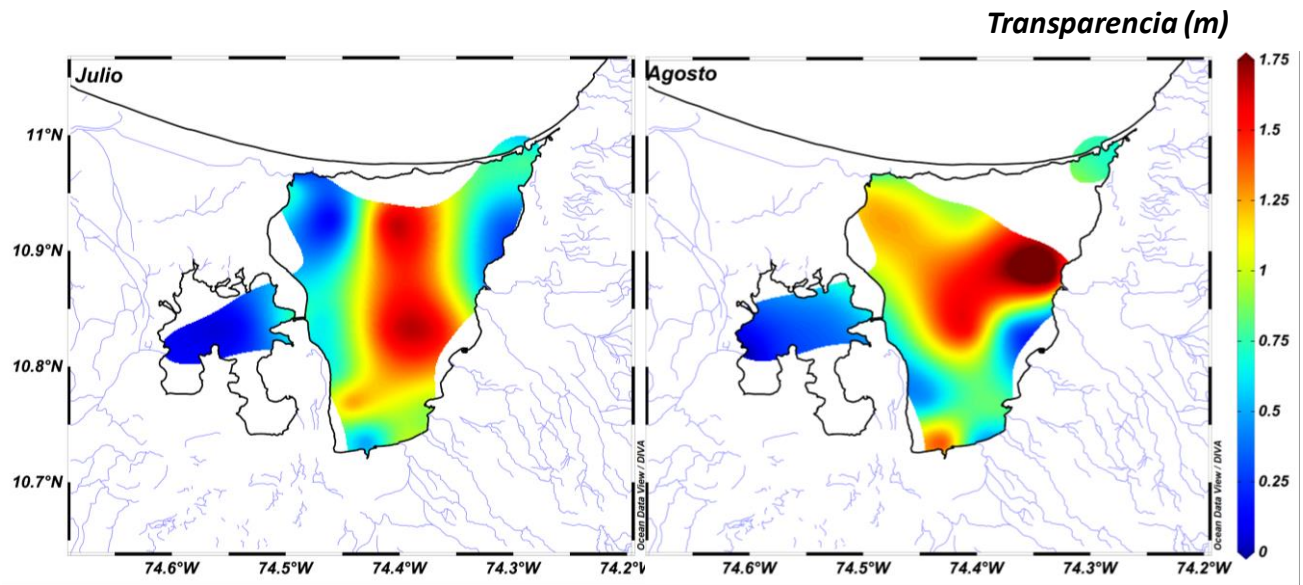


Figura 2.10. Distribución espacial de la transparencia dentro de la CGSM entre julio y agosto de 2019.

Salinidad

La salinidad es una variable ambiental que responde a cambios hidrológicos locales. Esto es posible observarlo a partir de la Figura 2.11, donde se muestra la variación de la salinidad media en lo que va del 2019, con un gradiente ascendente de enero a abril y un posteriormente un descenso a partir mayo, concordante con las dinámicas reportadas para años anteriores (INVEMAR 2018, 2018a, 2017).

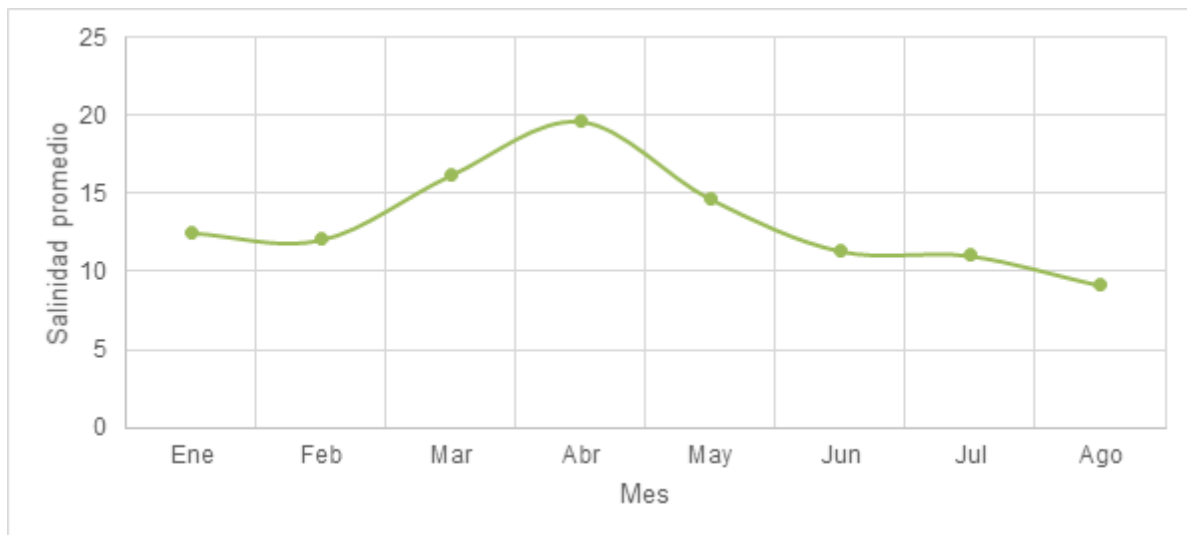


Figura 2.11. Salinidad media de la CGSM entre enero y agosto de 2019

Históricamente se ha reportado que la salinidad es quizás la variable que mejor describe los cambios hidrológicos en un sistema estuarino (Blanco, Vilorio, & Narváez, 2006), ya que su incremento o disminución depende de la cantidad de agua dulce que entra o sale del sistema. Ejemplo de esto se observa en la época seca, de enero a abril, cuando los vientos alisios provenientes del noreste son dominantes, y el ingreso de agua marina es mayor (Millan-Marquez, 2005).

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 2.12). Así mismo, se destaca que la señal de la salinidad se alcanza a encontrar hacia la zona central, con valores cercanos a 15 lo que estaría indicando que la señal producto del ingreso de agua de mar llega hasta el interior del espejo de agua principal.

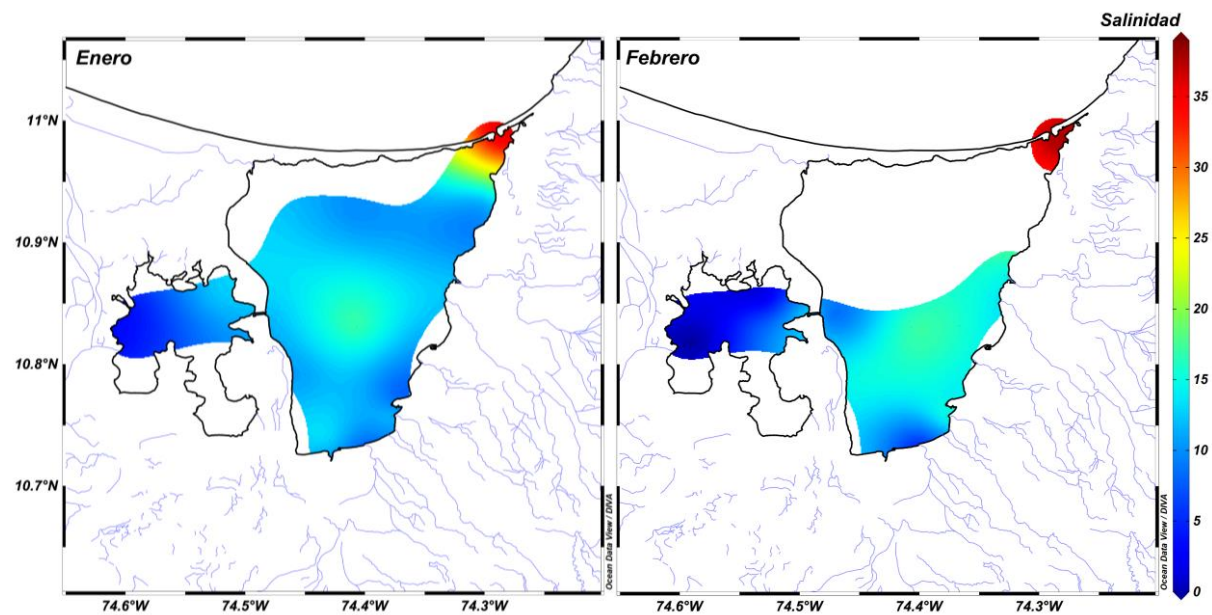


Figura 2.12 Valores de salinidad para enero y febrero de 2019.

Sin embargo, para los meses de marzo y abril la señal del mar se extiende a todo el espejo principal, con valores por encima de 20, incluso en las estaciones de la entrada de la ciénaga de Pajarales (Figura 2.13), lo que estaría indicando que el mar tiene mayor influencia que el río Magdalena y las descargas de la SNSM en ésta época del año.

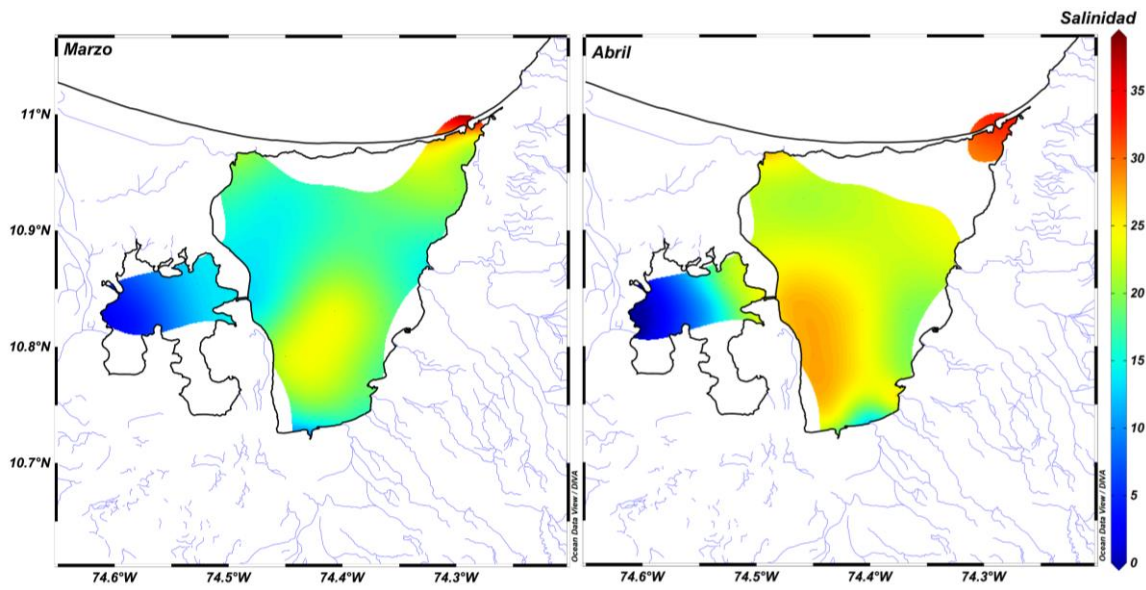


Figura 2.13 Valores de salinidad para marzo y abril de 2019.

A partir de mayo, inicia el periodo de lluvias menores en la zona (Tuchkovenko & Calero, 2003), y es reflejado en la disminución de la salinidad a partir de un incremento en la influencia del flujo de agua dulce por parte de los ríos Fundación, Aracataca y Sevilla. Adicional a esto, se observa una fuerte señal de los ríos de la zona sur (fundación, Ají) y los caños Aguas Negras, Cherle y Caño Grande, incluso contraria a la situación de abril. Este comportamiento se observa nuevamente en junio, con una disminución en mayor magnitud de la salinidad en las desembocaduras de los ríos y en consecuencia sobre la zona central de la Ciénaga (Figura 2.14).

Adicionalmente, es posible observar en junio la presencia de zonas salinas en la entrada al complejo pajarales. Esto se puede relacionar con la escasa profundidad de la laguna, la acción de los vientos, la alta sedimentación, y la dinámica unidireccional del agua salobre que se presentó en los meses anteriores hacia el complejo pajarales. Esta dinámica genera como consecuencia una acumulación progresiva de sal por el estancamiento de las aguas y la alta evaporación características de este ecosistema (PNN, 2007).

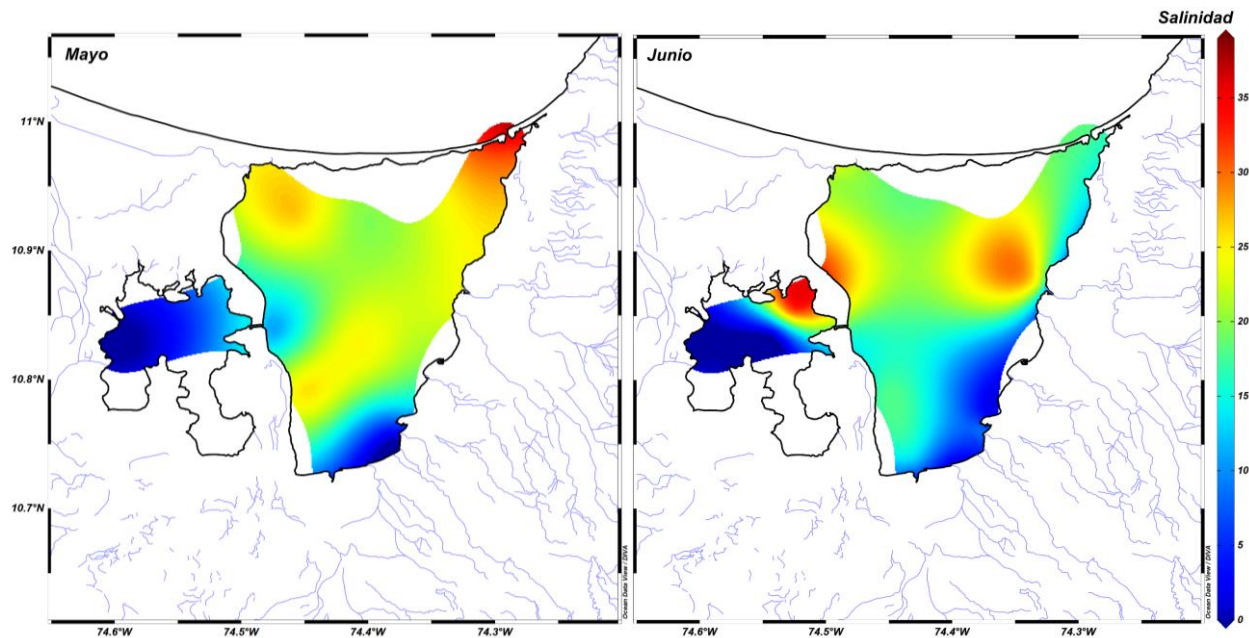


Figura 2.14 Valores de salinidad para mayo y junio de 2019.

Durante los siguientes dos meses, se evidencia aún más la disminución de la salinidad en todo el complejo lagunar y la poca influencia que logra el mar sobre el mismo, alcanzando valores de salinidad máxima de 28 en julio y 22 en agosto, como se observa en la (Figura 2.15), hecho fundamentalmente relacionado con el incremento de la pluviosidad.

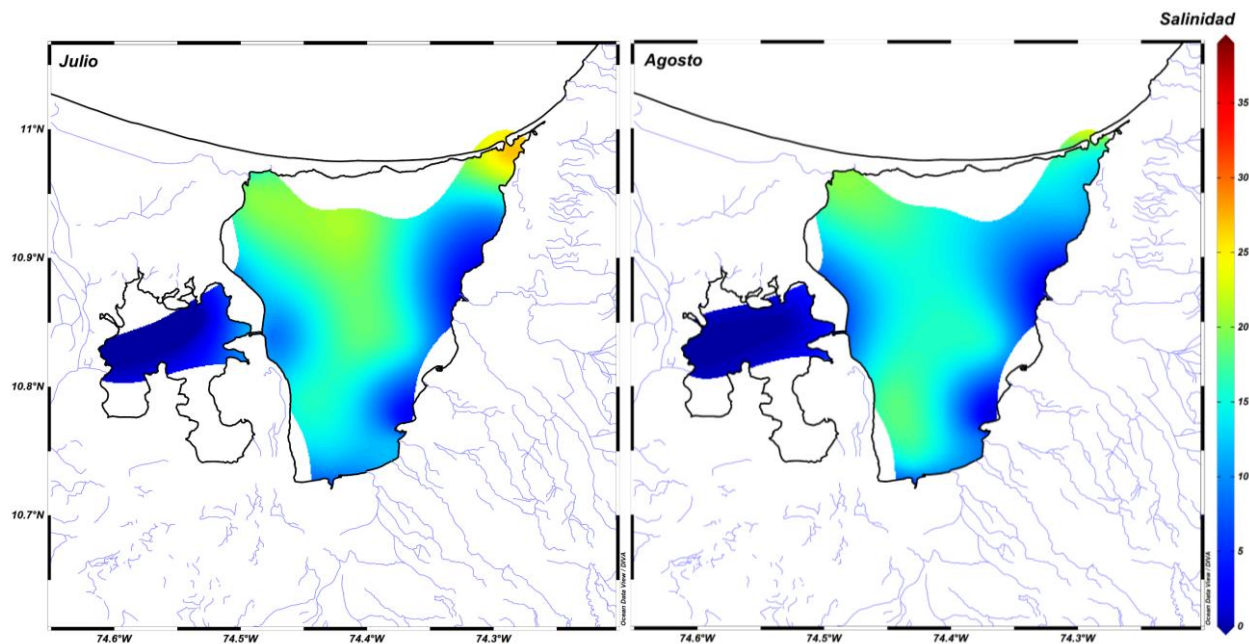


Figura 2.15. Valores de salinidad para julio y agosto de 2019

En este sentido, es posible explicar las variaciones de la salinidad registradas hasta el momento con la variación de la oferta hídrica en la ecorregión, tales como los patrones en la distribución de las lluvias, los caudales de los caños que aportan agua dulce del río Magdalena y los efectos de la marea (INVEMAR, 2008).

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 se podía atravesar caminando. En el mes de marzo, los niveles continuaron siendo bajos, pero si se incrementó la cantidad de agua que llegó a la CGSM. Durante el mes de abril comenzaron las primeras precipitaciones, lo cual ocasionó un aumento en el caudal a $19.41 \text{ m}^3/\text{s}$. En mayo las lluvias continuaron y el río mostró fuertes corrientes y la sección transversal completamente sumergida, siendo el nivel de 1.26 m.

En junio se registró un caudal instantáneo de $7.74 \text{ m}^3/\text{s}$, asociado a un nivel de 0.80 m. Para el mes siguiente, en julio, el caudal instantáneo se redujo a $2.63 \text{ m}^3/\text{s}$, al igual que el nivel con 0.54 m. Además, se evidenció la formación de bancos de arena desde algunos kilómetros río arriba de la estación de muestreo; lo que influye en la disminución de la hidrodinámica, presentando corrientes leves. Se destaca la presencia de rayas de agua dulce en la zona, que ascienden desde la CGSM.

En agosto el río presentó de nuevo mayor caudal ($8.49 \text{ m}^3/\text{s}$), a pesar que aún no empezaba la temporada de lluvias, por lo que se considera que podría ser efecto de las actividades de dragado 2 o 3 km antes del punto de muestreo, lo que pudo haber favorecido un aumento de flujo. El nivel para este mes fue de 0.88 m (Figura 2.16).



Figura 2.16 Maniobra de medición en la estación “Fundación Abajo” el 21/08/2019.

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 mayor cantidad de agua, pero no toda la sección transversal fue apta para realizar una medición eficaz, porque en algunos tramos la profundidad no superó los 0.20 m necesarios. Para abril y mayo se incrementó su caudal, como en los demás afluentes provenientes de la SNSM, el nivel para fue de 1.90 m. Contrario al mes anterior, no se pudo realizar la medición debido a fuertes corrientes que evitaban pasar el río con el equipo.

En el mes de junio, el río presentó un nivel de 1.52 m, y un caudal (Q_t) promedio de $61.7 \text{ m}^3/\text{s}$. El mes siguiente, el nivel disminuyó a 1.13 m, y el río presentó fuerte corriente, especialmente hacia el lado derecho de su cauce. El afluente presentó poca profundidad, pero con transporte de materia orgánica y sedimentos, de acuerdo a las muestras de sedimentos tomadas. En el mes de agosto el río presentó el mismo comportamiento que el mes anterior, solo que la sección transversal se había ampliado considerablemente por causa de las operaciones de dragado (Figura 2.17).



Figura 2.17 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. En los meses de marzo y abril; el nivel del agua fue mayor, pero no alcanzó a ser suficiente para realizar mediciones de caudal efectivas, con el uso de molinete hidrológico. En el mes de abril, el nivel permitió hacer las mediciones con el molinete y calcular los caudales, los cuales 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.

Para el mes de junio el río presentó poca profundidad, el nivel se registró en 0.60 m y no hubo corriente fuerte. El caudal para este mes fue de $6.56 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente. Para el mes de julio hubo un ligero aumento en el nivel a 0.70 m y un Q_t de $5.34 \text{ m}^3/\text{s}$. Durante agosto se mantuvieron las mismas condiciones, el río presentó poca corriente, y el nivel se mantuvo en 0.55 m. Sin embargo, los datos tomados con molinete indicaron un caudal de $30.09 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 2.18).



Figura 2.18 Aspecto del río Sevilla el 23/08/2019 por medio del método de molinete hidrológico.

Con respecto a las mediciones realizadas en los caños provenientes del río Magdalena, la estación del “Los Cocos” ha sido la única que mantiene el nivel del agua desde el inicio del año. En el mes de enero registró un caudal de $1.46 \text{ m}^3/\text{s}$, con un nivel de 2.47 m, en febrero $4.37 \text{ m}^3/\text{s}$ con un nivel de 2.40 m y 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, en junio el nivel fue de 2.77 m asociado a un Q_t de $3.43 \text{ m}^3/\text{s}$, con dirección hacia el este. Para el mes de julio el nivel fue casi el mismo, 2.80 m asociado a un Q_t de $6.47 \text{ m}^3/\text{s}$, indicando mayor cantidad de agua en relación a los meses anteriores (Figura 2.19).



Figura 2.19. Maniobra de medición con el ADCP River Surveyor y nivel de la mira en la estación Los Cocos (Caño el Clarín) el 16/07/2019.

En el caño “El Renegado” durante los meses de enero y febrero, se encontró el agua estancada, comportamiento ocasionado por el poco caudal proveniente del río Magdalena, producido por la eutrofización y en consecuencia la proliferación de plantas al lado oeste de las compuertas. Las cuales se han mantenido cerradas en 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, presenta 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 en enero, 2.90 m en febrero, 3.06 m en marzo, y en el mes de abril de 3.28 m. Las mediciones de caudal no se pudieron realizar con el molinete, debido a la profundidad del sitio (alto nivel del agua por la acción de las compuertas). En el mes de mayo no se pudo tomar datos ya que coincidió con las actividades de mantenimiento del sistema, por lo cual la compuerta había sido levemente abierta unos minutos antes de realizar la visita. En el mes de junio el caudal fue de $7.774 \text{ m}^3/\text{s}$, con un nivel de 3.45 m. Mientras que, en julio sólo se registró un nivel de 3.14 m (Figura 2.20).



Figura 2.20. Caño El Renegado el 16/07/2019. Cauce del caño en el mes de julio.

La estación “Aguas Negras”, al igual que en Los Cocos, desde el año 2018 se ha mantenido con agua. En el monitoreo de enero el caudal registrado fue $14.78 \text{ m}^3/\text{s}$ y en febrero $17.16 \text{ m}^3/\text{s}$. En marzo el nivel fue de 1.28 m, pero no se cuenta con datos de caudal 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 palafíticas, como Nueva Venecia, lo utilizan para movilizar personas y mercancías. En el sector dónde se realiza la medición, se advirtió la construcción de diques artesanales para evitar la inundación de predios ribereños. En abril se realizó la medición usando un ADCP y se comparó con las curvas Q – H. En mayo se registró un nivel de 2.10 m, con

un caudal de $45.44 \text{ m}^3/\text{s}$. En junio el nivel fue de 1.64 m, con un caudal de $61.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Hay que destacar que la mira se encuentra rodeada de sedimento y los observadores excavan para que se cubra por el agua, lo cual puede afectar los datos que se están tomando. Para julio el nivel fue de 2.45 m y el caudal instantáneo promedio fue de $50.77 \text{ m}^3/\text{s}$, aumentando el nivel con respecto al mes anterior (Figura 20).



Figura 2.21 Maniobra de medición de caudal Aguas Negras el 16/07/2019.

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 17 aforos líquidos en promedio para estos sistemas hídricos aguas abajo de la zona de producción agrícola. A continuación, se presenta la tercera 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 2.22).

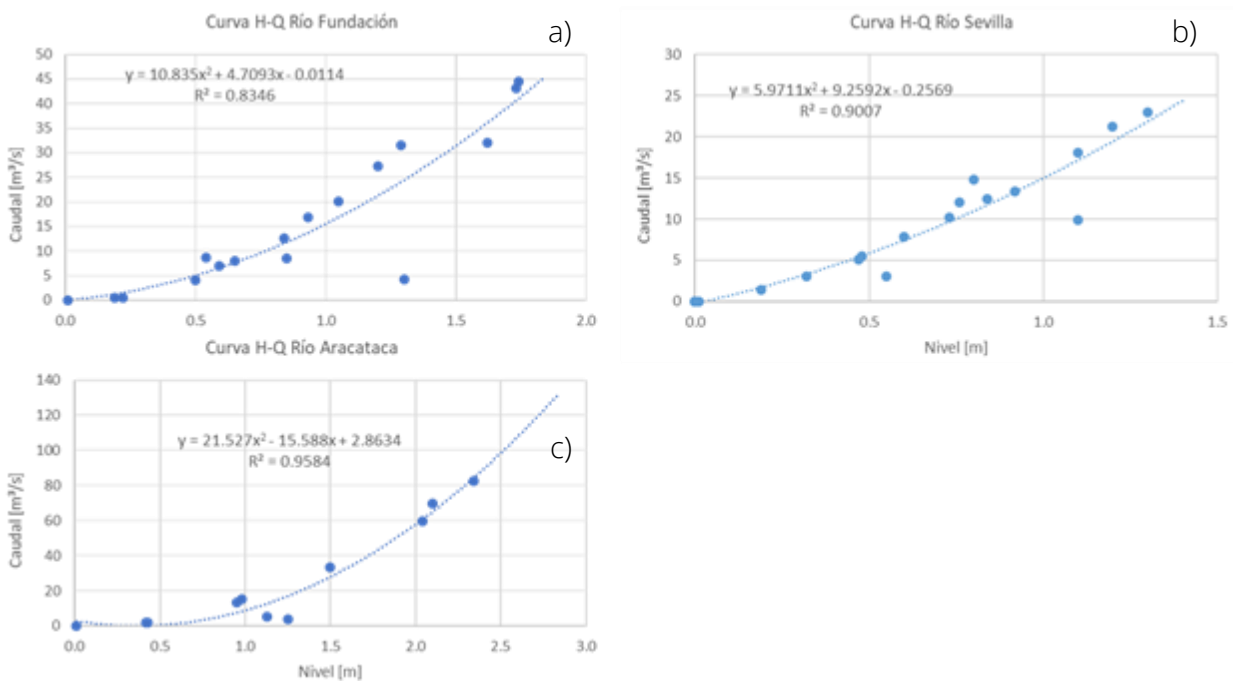


Figura 2.22. Curvas Nivel-Caudal de los ríos a) Fundación, b) Aracataca y c) Sevilla

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 2.23. 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, siendo octubre el mes que presenta los mayores valores de precipitación mensual

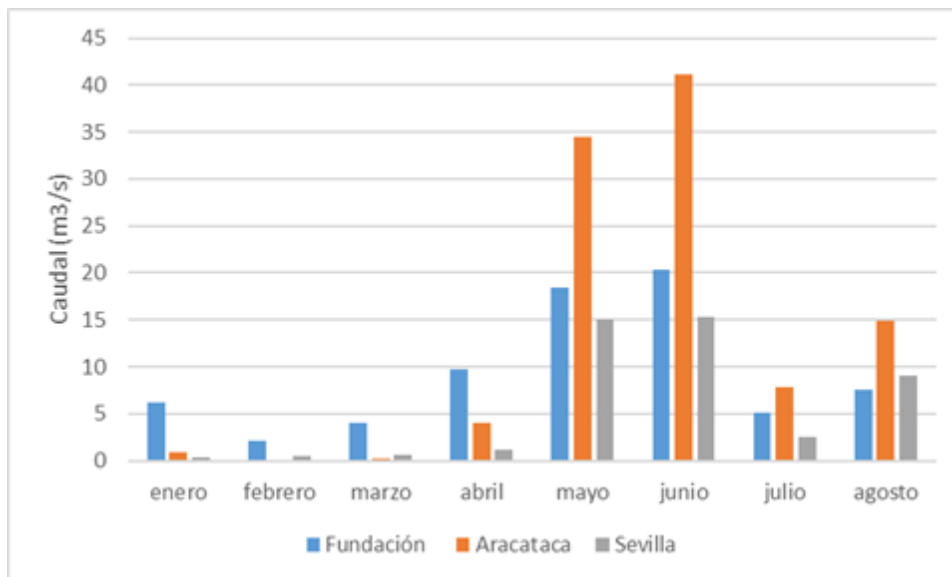


Figura 2.23. Caudales mensuales calculados a partir de las mediciones por los observadores durante el 2019, usando las curvas H-Q de los ríos Fundación, Aracataca y Sevilla.

De igual manera, el monitoreo en los caños Clarín Nuevo, Renegado y Aguas Negras, ha permitido la obtención de 17 aforos líquidos en promedio para estos sistemas hídricos. En la Figura 2.24 se presenta la tercera 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

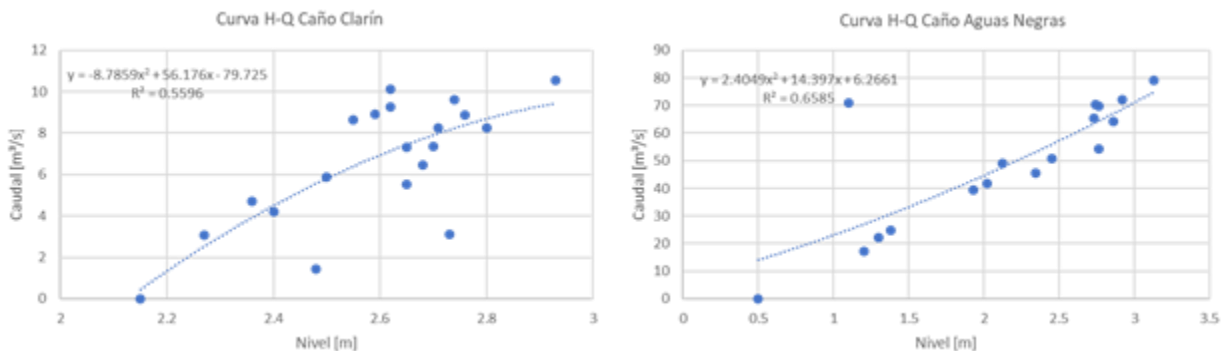


Figura 2.24. Curvas Nivel-Caudal de los caños a) Clarín y b) Aguas Negras.

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 2.25. 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). Cabe resaltar que para el mes de agosto no se tiene medición de caudal en Aguas Negras debido a una falla técnica del equipo.

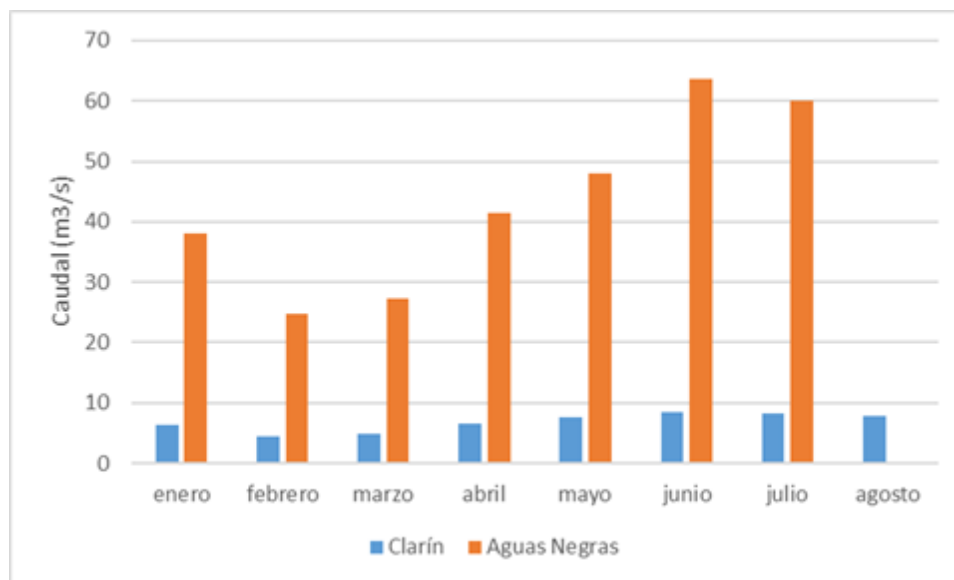


Figura 2.25. Caudales mensuales calculados a partir de las mediciones por los observadores durante el 2019, usando las curvas H-Q de los caños Clarín y Aguas Negras.

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 2.26). 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 es colectado en la salida del 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 las principales variables medidas para cada estación durante los meses muestreados y monitoreados

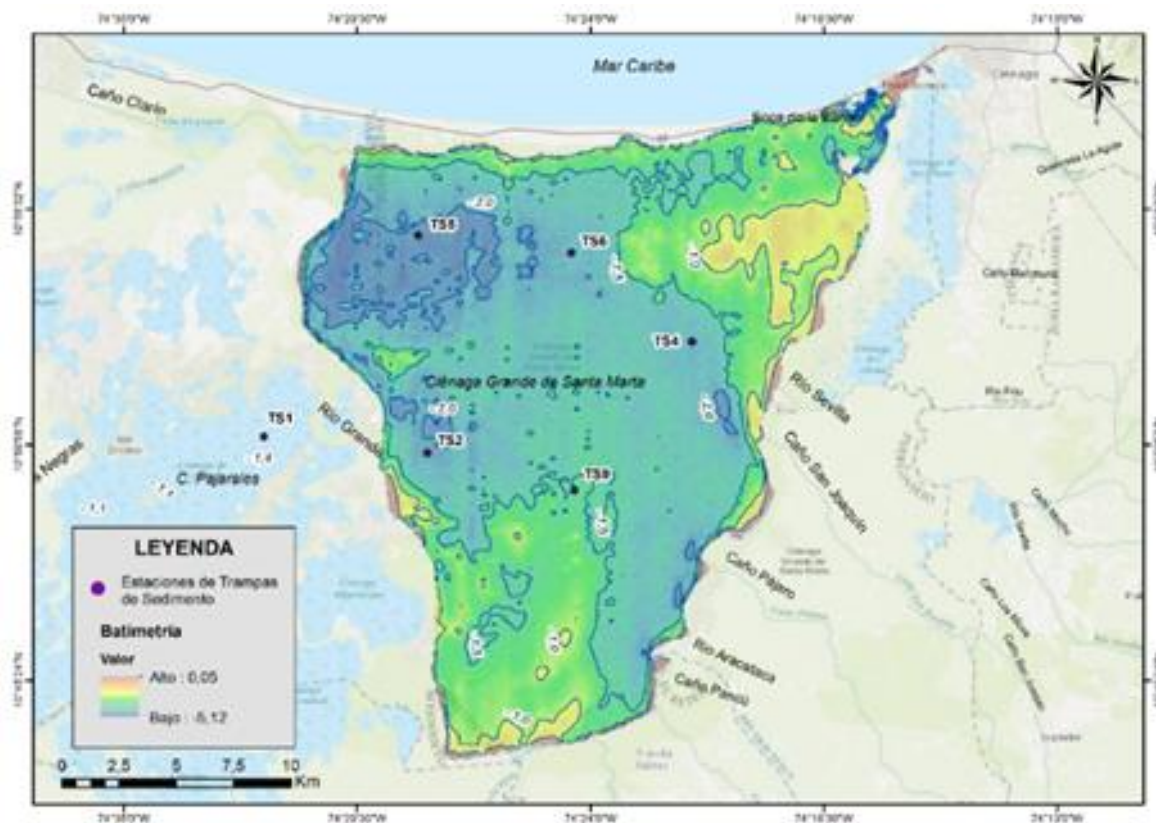


Figura 2.26. Mapa de localización de las trampas de sedimento. Se puede observar que los puntos de muestreo se ubicaron en zonas donde la batimetría lo permitía, procurando tener una malla homogénea que cubriera gran parte de la CGSM.

En cada una de las estaciones (Figura 2.26) 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 zona fótica tiene una relación directa con la cantidad de agua de proveniencia fluvial, marina y de mezcla presente en el sistema (INVEMAR-CORPAMAG, 2018). Las profundidades medidas de esta zona durante los meses de febrero a julio de 2019, presentaron cambios notorios en la zona de la trampa TS9 en donde la base de la capa fótica puede variar entre 0,35 m a 1,2 m durante los meses de febrero-marzo, variaciones menores se evidencian en la zona de las trampas TS2 y TS6 entre abril y mayo, agosto y septiembre. Esta información muestra la dinámica que tienen los sedimentos suspendidos tanto temporal como espacialmente. (Figura 3.24)



Figura 2.27. . 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. G) Trampa TS4 mes de junio colonizada en niveles estratificados. H) Boca de la trampa TS1 del mes de agosto (filtro 1 cm).

Se calcularon los valores de Flujo de Masa Total (FMT) a partir de las muestras de sedimento colectadas de las trampas en la CGSM, durante los meses de febrero a junio. Si bien durante el también se han colectado la totalidad de las muestras de los meses siguientes (julio –

septiembre), estas muestras aún se encuentran en fase de laboratorio y los resultados de FMT serán analizados con el acumulado del monitoreo. Por otra parte, las casillas que aparecen vacías hacen referencia a las muestras pérdidas durante el monitoreo.

Las trampas correspondientes a febrero, ubicadas hacia el sector centro-norte, (TS5, TS6) registraron un valor de FMT mayor al resto de muestras (Figura 3.25), posiblemente ligado a los bajos niveles de precipitación para el mes en la zona. Esto posiblemente se relaciona con el aporte mareal como 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.

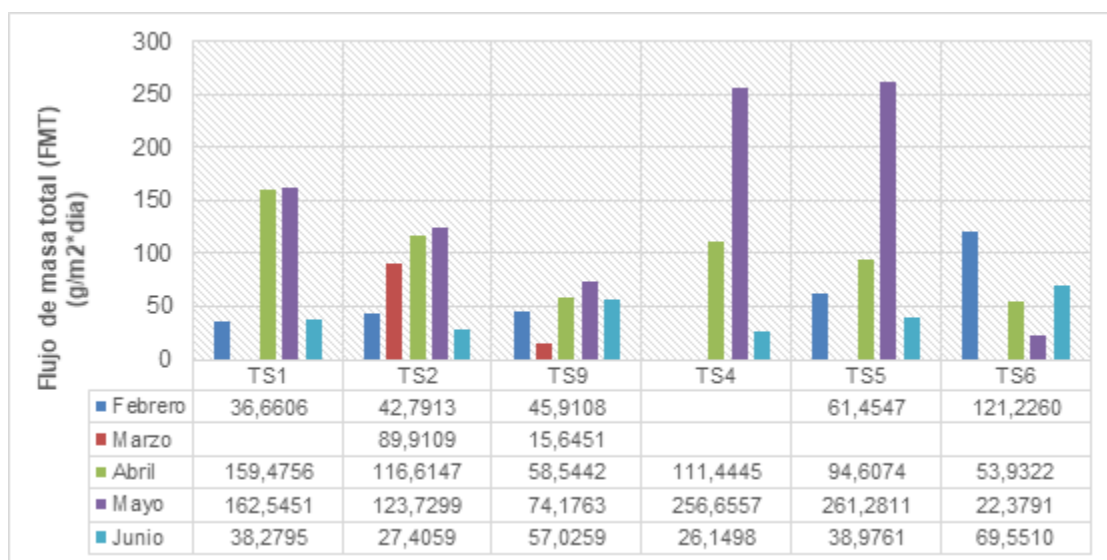


Figura 2.28. . Histograma con los resultados de flujo de masa total (FMT en $\text{g/m}^2 \cdot \text{día}$) en febrero a junio de 2019.

Durante el mes de mayo se registraron los mayores valores de FMT, en los que destacan las trampas TS4 y TS5 con valores por encima de $256 \text{ g/m}^2 \cdot \text{día}$, sugiriendo un fuerte aporte del mar, además de un posible aporte por parte del río Sevilla, dada la cercanía con la trampa TS4, de manera concordante con el acumulado de la precipitación usado (Figura 2.29). Estos registros de precipitación mensual acumulada muestran que posiblemente los aportes fluviales pueden incrementar para los meses de mayo y junio, justificando el incremento en el flujo de material que pasa por las estaciones de monitoreo, así mismo se identifican variaciones en el flujo de la trampa TS6, las cuales 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 zona del cuerpo lagunar, así como variaciones en la productividad del medio.

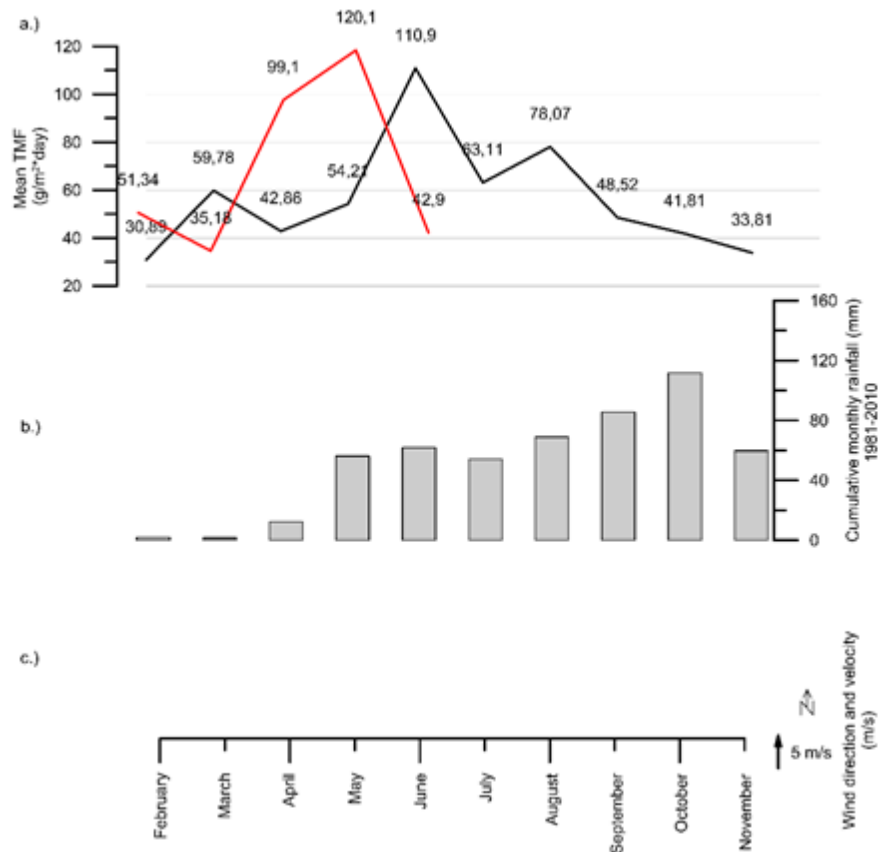


Figura 2.29. FMT promedio para el periodo comprendido entre febrero – junio 2019 (rojo), febrero – noviembre de 2018 (negro), y media de la precipitación mensual acumulada entre 1981 – 2010 (IDEAM), para los meses de febrero a noviembre.

En comparación, los valores de FMT promedio calculados para febrero y marzo del año 2019 presentan variaciones con respecto al monitoreo de 2018 (Figura 2.29), dentro de las que resaltan una tendencia inversa para los meses de febrero y marzo, ya que en 2018, marzo presentaba un incremento en el flujo de aproximadamente 20 g/m²*día con respecto a febrero. Los resultados obtenidos para 2019 reportan una reducción del FMT para marzo de aproximadamente 18 g/m²*día en relación a febrero. Así mismo es posible comparar el aumento en los niveles de FMT para abril y mayo de 2019 con respecto a 2018, alcanzando 120 g/m²*día, si bien es la misma tendencia de incremento según el aumento de las precipitaciones, el contraste entre los resultados se puede justificar debido a la llegada temprana de las lluvias en el mes de abril de 2019 o a un cambio en la morfodinámica sedimentaria del estuario o bien un cambio de aporte con respecto a la misma época en 2018.

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 3.1), 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 niveles de salinidad en este sector del complejo. Para los meses de mayo y junio se observa una colonización completa de *Balanus sp* en las trampas, a diferencia de agosto en donde predominan las algas sobre las superficies de las trampas ubicadas en el cuerpo lagunar principal.

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			Junio			Julio			Agosto		
Estación	Balanus	Conchas	Algas	Balanus	Conchas	Algas	Balanus	Conchas	Algas	Balanus	Conchas	Algas	Balanus	Conchas	Algas	Balanus	Conchas	Algas	Balanus	Conchas	Algas
TS1			1				1			1	1			1	1			1			1
TS2			1	1	1	1	1			1	1	1		1	1			1			1
TS4							1			1	1	1	1	1	1						
TS5	1	1	1				1			1	1			1	1						1
TS6	1		1				1			1	1	1		1	1		1	1	1		1
TS9	1	1	1	1			1	1		1	1	1		1	1		1	1			
Crecimiento																					
Sí	1																				
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 colectó material de los ríos Aracataca y Fundación, para el mes de abril se logró muestrear el río Sevilla; y finalmente en mayo se colectó nuevamente material del río Fundación. Esta actividad se repitió en el mismo orden para los meses de junio y julio, 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 observó 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 encuentran asociadas al proceso de sedimentación y es donde se evidencia presencia de playones o barras de arena.

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 resultados producto de los análisis de granulometría, realizados a las muestras de sedimento de fondo colectadas en el río Aracataca “abajo”, durante los meses de febrero, marzo y julio (Figura 3.27) mostraron la variación en el tamaño de grano predominante de un mes al otro. El porcentaje de material tamaño arena media disminuyó entre febrero y marzo de 48% a 24%; en contraste se encontró un aumento en el porcentaje de material tamaño arena muy gruesa de 10% a 27%. Además, es evidente el incremento en el contenido de sedimento tamaño grava (del 4 al 15% para marzo). Para el mes de julio los resultados fueron similares a los registrados para febrero indicando un incremento de la energía de transporte, asociada al aumento en el porcentaje de granos con tamaño grava (mayor a 12%).

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 3.26) las precipitaciones en la zona se mantienen en bajos niveles casi que constantes para ambos meses.

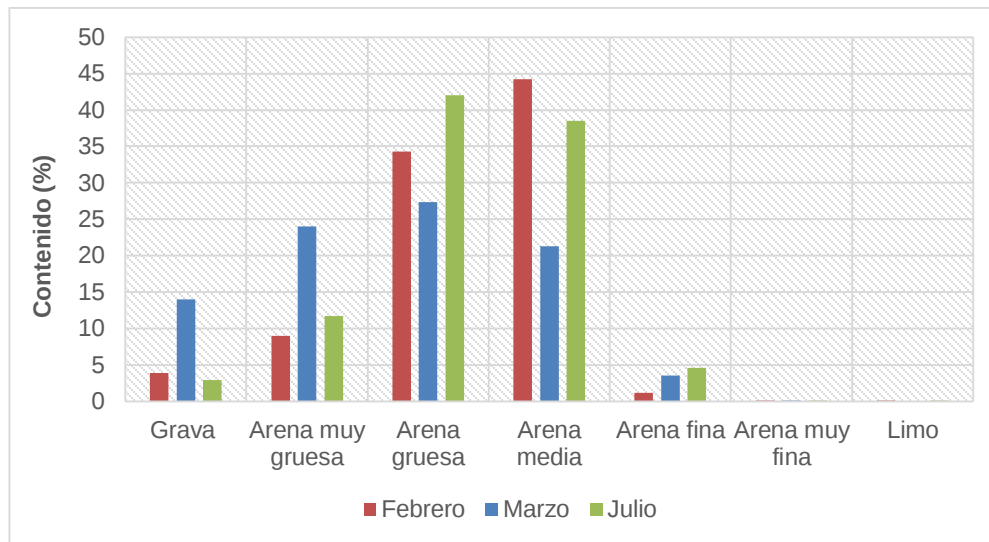


Figura 2.30. Histograma con los resultados de granulometría río Aracataca febrero, marzo y julio de 2019.

Río Fundación:

Los resultados de granulometría obtenidos en la cuenca baja del río Fundación para los meses de marzo y mayo (Figura 2.31), 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.

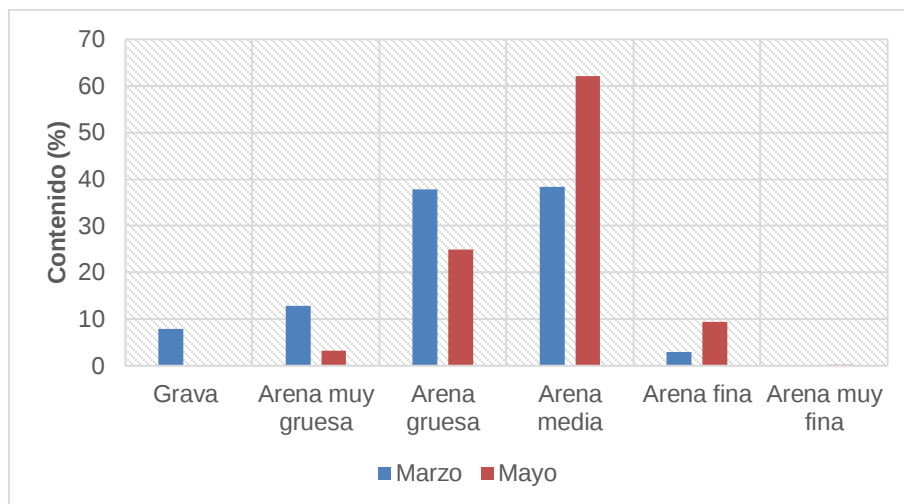


Figura 2.31. Histograma con los resultados de granulometría río Fundación marzo y mayo de 2019.

Rio Sevilla:

Los sedimentos colectados en la cuenca baja del río Sevilla para el mes de abril y junio (Figura 3.29) presentan altos contenidos de arena media, y gruesa (38% para abril y 62 % para junio), con presencia de arena muy gruesa y grava en menor proporción, lo cual, en contraste con los datos de otros ríos de la zona de estudio, para los otros meses muestreados, indica una considerable capacidad de transporte, reflejada en el mayor porcentaje de material tamaño arena gruesa presente, teniendo en cuenta que para el mes de abril se registra el inicio del incremento en los niveles acumulados de precipitación acumulada (Figura 3.26)

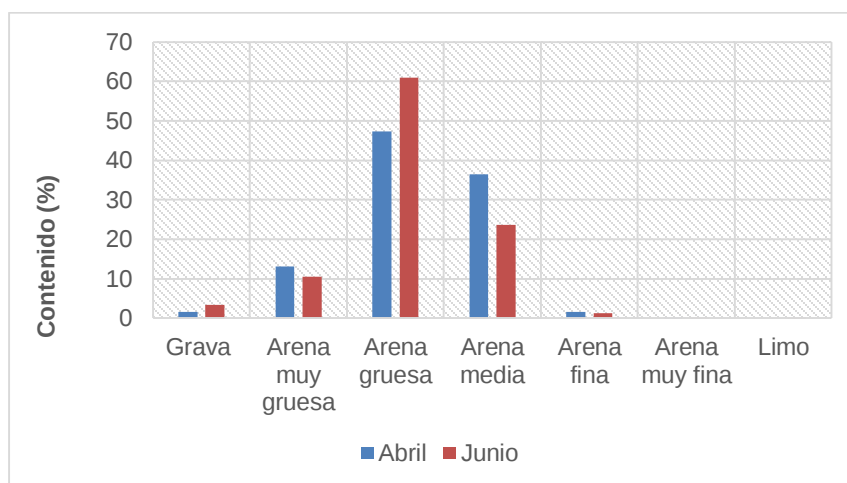


Figura 2.32. Histograma con los resultados de granulometría río Sevilla “abajo” abril de 2019.

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.

3 CONCLUSIONES

Se continúa presentando bajos niveles de agua en los ríos provenientes de la SNSM (Fundación, Ají, Aracataca y Sevilla), lo cual causa que se continúe con la consolidación y formación de playones y barras de arena sobre sus cauces, perdiendo interrumpiendo el flujo de agua y la conexión entre tramos de la parte baja de los ríos con la ciénaga.

Los resultados de sólidos suspendidos totales confirman que el caño Aguas Negras es el sector que aporta más en éste parámetro; este comportamiento es de esperarse debido a que es el lugar por donde llegan los mayores aportes del río Magdalena, este caño no tiene control del flujo del caudal, ni de residuos sólidos, llegando de forma directa hacia este complejo de ciénagas de Pajalal y posteriormente a través de Caño Grande al espejo principal de agua de la CGSM.

Por otra parte, la dinámica de la salinidad sobre el espejo de agua de la ciénaga a partir de abril pasa a ser dominada por la entrada del primer periodo de precipitación en la zona, la cual modifica el flujo y el reflujo en la Boca de La Barra, indicando la dominancia del flujo de agua dulce sobre la marina dentro de la ciénaga al aumentar el aporte hídrico de los caños y ríos.

Mediante el monitoreo permanente que se realiza sobre los ríos que desembocan en la CGSM se ha logrado establecer la tercera aproximación de las curvas nivel caudal de estas vertientes. La estimación de las curvas de gasto de estos ríos cuenta con incertidumbres, producto de las diferentes épocas en las que se realiza la medición y de diferentes factores climáticos que cambian con el tiempo. Para establecer un comportamiento más certero se requiere que la curva sea realizada de manera permanente, y reducir la incertidumbre.

La variación en la composición granulométrica de las muestras colectadas en los ríos que descienden de la SNSM (Fundación, Aracataca y Sevilla) entre los primeros meses del año y después de abril, muestra 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 arrastre de fondo. 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.

Blanco, J., Vilorio, E., y Narváez, J. (2006). ENSO and salinity changes in the Ciénaga Grande de Santa Marta coastal lagoon system, Colombian Caribbean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66:157-167.

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

Millan-Marquez. (2005). Cambios historicos en la malacofcauna de la CGSM.

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

