

Medellín, 17 de mayo de 2023

**CONSULTA VIRTUAL DEL CONSEJO DIRECTIVO  
CORPORACIÓN ACADÉMICA AMBIENTAL  
ACTA 385**

**1. Verificación de Quórum**

- Francisco José Molina Pérez, Representante del Presidente, Vicerrectoría de Investigación
- Nancy Pino Rodríguez, Representante de las Facultades (2023-2024)
- Mauricio López González, Representante de las Facultades (Suplente 2024-2025)
- Mauricio Correa Ochoa, Representante de los Grupos de Investigación (2023-2025)
- Vanessa Paredes Zúñiga, Representante de Entidades Externas, CORPOURABA. Resolución Rectoral 48774 del 23 de marzo de 2022 (2022-2024)
- David Hernández García, Vicerrector de Extensión
- Geraldin Mórelo Muñoz, Representante de los Estudiantes
- Jairo León Zapata Martínez, Director Corporación Académica Ambiental

Invitados:

- Paula Andrea Urán Carmona, Coordinadora de Investigación y Docencia
- Lina María Zapata Restrepo, Coordinadora Programas de Pregrado
- José Marín Riascos Vallejos, Coordinador Doctorado en Ciencias del Mar
- Adriana Milena Bermúdez Cardona, Coordinadora Programas Área Turística
- Liliana María Henao Franco, Proyectos de Extensión
- Deisy Mabel Cardona Chalarca, Contadora Corporación Académica Ambiental
- Eliana Calvachi Hernández, Comunicadora

Se envía correo electrónico a cada uno de los miembros del Consejo, se verifica que hay quórum para deliberar y decidir

Reunión virtual del Consejo Directivo de la Corporación Académica Ambiental  
Fecha: 16 de mayo de 2023.

Hora inicial de la consulta virtual: 17:00 horas, del 16 de mayo de 2023.

Hora final de la consulta virtual: 17:00 horas, del 17 de mayo de 2023.

## **2. Solicitudes al Consejo Directivo remitidas desde la Dirección de la Corporación Académica Ambiental.**

Se solicita al Consejo Directivo de la CAA, aprobar la participación de Marta Bastidas Salamanca MSc Oceanografía costera, como evaluadora del trabajo de la profesora Mónica Zambrano para el ascenso a categoría de profesor asociado para efectos de asimilación salarial con el producto "Capítulo 6° Componente Ambiental, Libro Erosión costera en el litoral antioqueño". El magíster Robinson Fidel Casano aprobado en la sesión ordinaria del Consejo Directivo del mes de abril, por motivos de fuerza mayor declinó la invitación como jurado evaluador.

Solicitud: Aprobar la participación de la Magíster Marta Bastidas como jurado evaluador del trabajo de la profesora Mónica Zambrano para ascenso a profesor asociado (asimilación salarial).

## **3. Solicitudes al Consejo Directivo remitidas desde la Coordinación de Investigación.**

**3.1.** Se solicita al Consejo Directivo de la CAA, su aval para presentar la siguiente propuesta en la que participa la UdeA como entidad Aliada, siendo la ejecutora la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín y en la que participarán en caso de ser aprobada, dos docentes de la CAA. **NOMBRE DE LA PROPUESTA: Interacciones biogeoquímicas en la región de influencia de agua dulce del frente del río Magdalena y la Guajira, Caribe Colombiano.**

### **RESUMEN EJECUTIVO**

Las Regiones de Influencia de Agua Dulce (ROFI) son sistemas altamente productivos de gran valor ecológico, social y económico, fuertemente amenazadas por el cambio climático y actividades antrópicas. La ROFI del río Magdalena representa la mayor entrada de agua dulce al mar Caribe, constituye un elemento central en la variabilidad oceanográfica de la zona y desempeña un papel clave en los procesos hidrodinámicos, morfodinámicos y bioquímicos. Además, interactúa con el sistema de surgencia de La Guajira, y otros procesos de circulación de mesoescala. Ante un desconocimiento importante de las interacciones entre estos sistemas, este proyecto plantea estudiar la circulación, la biogeoquímica, la contaminación por plásticos, y las interacciones entre la surgencia y el río, inmersos en la variabilidad climática. El proyecto se basa en un crucero oceanográfico realizado en el 2022 en colaboración con instituciones de Alemania y Colombia, donde se colectaron datos oceanográficos y muestras de agua, sedimentos, plancton y nutrientes. Se propone generar un modelo oceanográfico integrado con el fin de entender la circulación de mesoescala y sub mesoescala para explicar la conectividad entre la descarga de agua dulce del río Magdalena con la Surgencia de la Guajira, la corriente del Caribe y la contracorriente Panamá-Colombia bajo diferentes escenarios de variabilidad climática. Este conocimiento se complementará con el análisis del plancton e isótopos en las masas de agua que interactúan. Para entender la dispersión de la contaminación desde el río se hará un análisis de los microplásticos contenidos en los sedimentos de la región. Se hará un análisis geoquímico y de fósiles (polen y foraminíferos) en núcleos de sedimentos para reconocer periodos de tiempo para cada modo de

interacción en el sistema. El estudio de la variabilidad de los proxies a lo largo de los núcleos permitirá comprender escalas de tiempo más largas de las interacciones.

Se requiere del aval del Consejo Directivo de la Unidad Académica para solicitar ante la Vicerrectoría de Investigación de la UdeA el aval institucional, el cual debe ser remitido antes del 23 de mayo a la entidad que será la entidad ejecutora.

El link a términos de referencia y cronograma interno UdeA: <https://rb.gy/a131w>.

Solicitud: avalar la presentación de la propuesta a la convocatoria 937 de MinCiencias "Investigación Fundamental" como entidad aliada.

**3.2.** Solicitud de aval a descarga de horas en plan de trabajo para dos docentes ocasionales para participación en propuesta de investigación.

Las siguientes docentes de la CAA, con sede en Turbo, solicitan descarga de horas en su plan de trabajo para participación en propuesta a presentarse a la convocatoria 937 de MinCiencias "Investigación Fundamental" como entidad aliada, mencionada en el punto anterior, su participación sería:

Nombre del Profesor: **Mónica María Zambrano Ortiz**

Grupo de Investigación: Grupo de Investigación en Sistemas Marinos y Costeros - GISMAC  
INFORMACIÓN DEDICACIÓN HORAS SEMANA POR CADA PROYECTO

Nombre de la propuesta: Interacciones biogeoquímicas en la región de influencia de agua dulce del frente del río Magdalena y la Guajira, Caribe Colombiano

Dedicación horas semana solicitada: **2 horas semana por 36 meses**

Rol: Co-Investigador.

Nombre del Profesor: **Lina María Zapata**

Grupo de Investigación: Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental - GAIA

Nombre de la propuesta: Interacciones biogeoquímicas en la región de influencia de agua dulce del frente del río Magdalena y la Guajira, Caribe Colombiano

Dedicación horas semana solicitada: **4 horas semana por 36 meses**

Rol: Co-Investigador.

Solicitud: avalar descarga en plan de trabajo de las docentes Mónica Zambrano y Lina Zapata para participar en propuesta como entidad aliada en convocatoria 937 de MinCiencias.

#### 4. Solicitudes al Consejo Directivo remitidas desde la Coordinación de Posgrados de la Corporación Académica Ambiental.

Solicitud de aprobación para remitir ante el Comité de Asuntos Estudiantiles del Consejo Académico el Reporte Extemporáneo de Nota de la estudiante María Camila Rosso Londoño (cc. 52516977) del Programa de Doctorado en Ciencias del Mar, quien defendió exitosamente su tesis doctoral pero su nota no pudo ser reportada dentro del semestre 2022-2 por un error en la plataforma de Admisión y Registro.

Solicitud: aprobar Reporte Extemporáneo de Nota de la estudiante María Camila Rosso, Doctorado en Ciencias del Mar.

#### 5. Solicitudes al Consejo Directivo remitidas desde la Coordinación de Administrativa de la Corporación Académica Ambiental.

FECHA: 16/05/2023 VIGENCIA: 2023-1 CENTRO DE COSTO: 22930002-CV17160157										
NOMBRE DOCENTE	CÉDULA	ACTIVIDAD	PROYECTO-CURSO-DIPLOMADO	OBJETO DEL CONTRATO	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINALIZACIÓN	TOTAL HORAS	VALOR HORA	EXENCIÓN DE POSGRADO	INCREMENTO
Carlos Eduardo Gutiérrez Mosquera	3.438.568	Asesoría y Consultoría	PIMECLA FASE IV	Lidera las mediciones de material suspendido y de línea de costa por medio de imágenes satelitales en el delta del río León. Así como la realización de experimentos para la determinación de variación de línea de costa teniendo en cuenta la marea.	1/06/2023	31/10/2023	100	\$ 52.167	NO	8%
Vladimir Toro Valencia	15.383.876	Asesoría y Consultoría	PIMECLA FASE IV	Lidera la parte técnica del programa PIMECLA Fase IV. Consiste en la formulación y apoyo a la gestión administrativa inicial. Además de la participación en el diseño de experimentos de soluciones basadas en la naturaleza y adaptativas en el Laboratorio Costero.	1/06/2023	31/10/2023	80	\$ 76.307	NO	15%

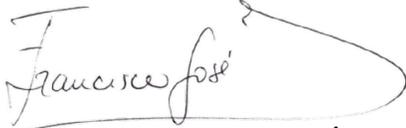
FECHA: 16/05/2023 VIGENCIA: 2023-1 CENTRO DE COSTO: 22930002-CV17160160										
NOMBRE DOCENTE	CÉDULA	ACTIVIDAD	PROYECTO-CURSO-DIPLOMADO	OBJETO DEL CONTRATO	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINALIZACIÓN	TOTAL HORAS	VALOR HORA	EXENCIÓN DE POSGRADO	INCREMENTO
Carolina María Valencia Tobón	1.128.397.200	Asesoría y Consultoría	Convenio 162-2023	Reglamentación por uso y por vertimientos de la microcuenca San Antonio - El pueblo del Municipio de Rionegro	1/06/2023	31/10/2023	300	\$ 27.166	SI	37%
Leonardo García Jaramillo	71.266.545	Asesoría y Consultoría	Convenio 162-2023	Reglamentación por uso y por vertimientos de la microcuenca San Antonio - El pueblo del Municipio de Rionegro	1/06/2023	31/10/2023	180	\$ 40.514	NO	7%
María Alejandra Roldán Zapata	1.037.627.055	Asesoría y Consultoría	Convenio 162-2023	Reglamentación por uso y por vertimientos de la microcuenca San Antonio - El pueblo del Municipio de Rionegro	1/06/2023	31/10/2023	200	\$ 27.166	SI	7%

Solicitud: Se solicita al Consejo Directivo aval para los incrementos y exenciones de la contratación por hora cátedra para el mes de junio.

Agradecemos su participación y pronta respuesta.

De acuerdo con la consulta se **aprueba** la solicitud, se anexan correos electrónicos de aprobación.

Se cierra la sesión el día 17 de mayo de 2023 ya que se obtuvo quórum de los miembros del Consejo Directivo de la Corporación Académica Ambiental.



**FRANCISCO MOLINA PÉREZ**  
Presidente



**JAIRO LEÓN ZAPATA MARTÍNEZ**  
Secretario

Anexos:  
Correos de Aprobación  
Propuesta ROFI UDEA-UNAL-Minciencias



FRANCISCO JOSE MOLINA PEREZ

para mí ▾

17 may 2023, 8:19 (hace 1 día) ☆

Hola Julianaz  
Doy mi aval para:

Participación de la Magíster Marta Bastidas como jurado evaluador del trabajo de la profesora Mónica Zambrano para ascenso a profesor asociado (asimilación salarial).  
Aval para participar con entidad aliada en el proyecto **Interacciones biogeoquímicas en la región de influencia de agua dulce del frente del río Magdalena y la Guajira, Caribe Colombiano**  
Descargas de horas para las profesoras: **Mónica Maria Zambrano Ortiz y Lina Maria Zapata**  
Aprobación para remitir nota extemporanea a la estudiante María Camila Rosso, Doctorado en Ciencias del Mar.  
Aval para los incrementos y exenciones a 5 profesores que participan en proyectos de asesoría y consultoría.

Saludos

...

--

Francisco Molina Pérez  
Profesor Titular  
Facultad de ingeniería  
Universidad de Antioquia  
Coordinador Grupo GAIA  
[ORCID](#)  
[Google Scholar](#)  
[ResearchGate](#)



NANCY JOHANNA PINO RODRIGUEZ

para mí ▾

17 may 2023, 13:45 (hace 1 día)

Cordial saludo

Doy aval a las solicitudes presentadas.

Feliz día

El mar, 16 may 2023 a las 16:52, Corporacion Academica Ambiental Universidad de Antioquia (<[corpoambiental@udea.edu.co](mailto:corpoambiental@udea.edu.co)>) escribió:

...

--

Nancy J. Pino Rodriguez  
Profesora Escuela de Microbiología  
Universidad de Antioquia

...

← Responder

↪ Reenviar



# UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Corporación Académica Ambiental

su opinión es muy importante para nosotros, para petitorios, quejas, reclamos o sugerencias por favor dirigirse a [atencionalcliente@udea.edu.co](mailto:atencionalcliente@udea.edu.co)

----- Forwarded message -----

De: **GERALDIN MORELO MUÑOZ** <[geraldinne.morelo@udea.edu.co](mailto:geraldinne.morelo@udea.edu.co)>

Date: mié, 17 may 2023 a la(s) 09:10

Subject: Re: Consulta Virtual Consejo Directivo

To: VANESSA PAREDES <[v.paredes@corpouraba.gov.co](mailto:v.paredes@corpouraba.gov.co)>

Cc: JAIRO LEON ZAPATA MARTINEZ <[jairo.zapata@udea.edu.co](mailto:jairo.zapata@udea.edu.co)>, Jefe Interacción Social Universidad de Antioquia <[jinteraccionsocial@udea.edu.co](mailto:jinteraccionsocial@udea.edu.co)>, Francisco Molina Pérez <[francisco.molina@udea.edu.co](mailto:francisco.molina@udea.edu.co)>, NANCY JOHANNA PINO RODRIGUEZ <[nancy.pino@udea.edu.co](mailto:nancy.pino@udea.edu.co)>, MAURICIO ANDRES CORREA OCHOA <[mandres.correa@udea.edu.co](mailto:mandres.correa@udea.edu.co)>, Vicerrector Extensión Universidad de Antioquia <[viceextension@udea.edu.co](mailto:viceextension@udea.edu.co)>, Cc: Investigación y Posgrados Corporación Académica Ambiental Universidad de Antioquia <[investigacionyposgradoscaa@udea.edu.co](mailto:investigacionyposgradoscaa@udea.edu.co)>, Deisy Cardona <[contabilidadcaa@udea.edu.co](mailto:contabilidadcaa@udea.edu.co)>

Buen día,

Doy aval a las solicitudes presentadas.

Feliz día

El mié, 17 may 2023 a las 9:04, VANESSA PAREDES (<[v.paredes@corpouraba.gov.co](mailto:v.paredes@corpouraba.gov.co)>) escribió:

Ok. Estoy de acuerdo con las solicitudes

Enviado desde mi iPhone

El 17/05/2023, a la(s) 8:51 a.m., JAIRO LEON ZAPATA MARTINEZ <[jairo.zapata@udea.edu.co](mailto:jairo.zapata@udea.edu.co)> escribió:

Cordial saludo señores consejeros

Por medio de la presente doy aval a las solicitudes elevadas al consejo directivo

Un abrazo

El mié, 17 may 2023 a las 8:28, Jefe Interacción Social Universidad de Antioquia (<[jinteraccionsocial@udea.edu.co](mailto:jinteraccionsocial@udea.edu.co)>) escribió:

Buenos días.

Las solicitudes fueron revisadas por el Vicerrector de Extensión, se da aval para proceder con los trámites.

Feliz día.

## **INTERACCIONES BIOGEOQUÍMICAS EN LA REGIÓN DE INFLUENCIA DE AGUA DULCE DEL FRENTE DEL RIO MAGDALENA Y LA GUAJIRA, CARIBE COLOMBIANO.**

### **PALABRAS CLAVE** (máximo 6)

Circulación de mesoescala, productividad marina, contaminación por microplásticos, surgencias, Paleoceanografía, variabilidad climática

### **ANTECEDENTES Y TRAYECTORIA DEL EQUIPO DE LOS INTEGRANTES DE LA ALIANZA EN LA TEMÁTICA ESPECÍFICA DEL PROYECTO**

Las investigadoras asociadas a este programa han desarrollado investigaciones específicas en las temáticas aquí abordadas tales como: oceanografía de meso y submesoescala, oceanografía del Mar Caribe, transporte y despositación de polen fósil en sedimentos de fondo marino, biología de plancton y bentos, y paleoceanografía (en la Guajira, San Andrés, Cispata, Golfo de Urabá, Islas del Rosario, Isla Gorgona, entre otros). Estos antecedentes crean un soporte sólido para afrontar las preguntas de investigación de este proyecto y abordar con éxito la metodología propuesta.

En el contexto de unir esfuerzos con apoyo internacional, los investigadores de este proyecto hacen parte de un grupo de varias instituciones colombianas y alemanas que han obtenido financiación para el proyecto: The Magdalena Delta ROFI system: Land-Sea Interaction of the major tributary of the Caribbean Sea: Patrocinado por: BMBF/DFG – Alemania, el cual es un crucero oceanográfico (Barco RV Maria S. Merian, la segunda nave de investigación más moderna de Alemania) que se realizó en junio del 2022 en la zona de influencia del río Magdalena en el mar Caribe y que servirá de plataforma para este proyecto.

Una de las investigaciones en el mar Caribe se llevó a cabo a través del análisis de información primaria (anclajes), de reanálisis e implementación de modelos numéricos de alta resolución temporal y espacial ( $\leq 3$  km) en el proyecto “Integración de un modelo oceánico regional para la creación de una base de datos de la circulación oceánica en el Caribe colombiano de las aguas superficiales y profundas para un período de 20 años”, llevada a cabo por el grupo Oceánicos de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, algunos de los resultados se compilan en Jaramillo (2019) y Guarín (2018) (y otras publicaciones en proceso). Los investigadores aquí proponentes han tenido además un acercamiento al análisis de las circulación en la escala fina (a través de modelaciones numéricas) y han evidenciado que estos son altamente energéticos y su presencia y comportamiento modifican la circulación general, particularidades que son difícilmente capturadas por la información satelital pero registradas en las mediciones in-situ (Luo, et al 2016, Cardona et al 2016, Barkan et al, 2017a,b, Cardona y Bracco 2011). Además, se han hecho integraciones de modelos regionales de alta resolución espacial ( $< 2$  km), para algunas regiones del mar Caribe colombiano como las de Lopera et. al, 2019 en la reserva SeaFlower, Arredondo (2017)

en las inmediaciones de la pluma del río Magdalena y las de obtenidas para el Golfo de Urabá (UNAL-UdeA, 2019).

Por último, los investigadores han desarrollado varias investigaciones en cuanto al uso de técnicas paleoceanográficas para reconstruir la histórica climática en escalas decadales a centenarias en diversas zonas. Se destacan análisis isotópicos y geoquímicos en corales y sedimentos del Golfo de California (Bernal y Carriquiry, 2001, Herguera et al. 2003), análisis de foraminíferos bentónicos en el Golfo de Urabá, bancos de Salmedina, ciénaga de Cispatá e islas del Rosario (Bernal et al. 2005, 2008, Gómez y Bernal 2013, Puerres et al. 2018), análisis palinológico de sedimentos de fondo marino en la Cuenca Pacífica (González et al. 2006), reconstrucción de cambios en los manglares y la vegetación costera y su relación con la variabilidad climática de la Isla de San Andrés (González et al. 2010), la bahía de Cispatá (Castaño et al. 2010) y la laguna de Camarones y del delta del río Ranchería en la Guajira (Urrego et al. 2013). También son de relevancia las investigaciones sobre la variabilidad estacional e interanual de la interacción océano - atmósfera en la Cuenca Colombia y el Caribe colombiano (Bernal et al. 2010, Ruiz-Ochoa et al. 2012, Montoya-Sánchez et al. 2018a) y particularmente en la zona de surgencia de la Guajira (Montoya-Sánchez et al. 2018b).

La fortaleza del equipo y del programa es que las dos universidades (y los grupos de investigación) tienen tradición de investigación en los temas relacionados con el proyecto y garantizan una perspectiva holística, que integra saberes que van desde el entendimiento de los procesos físicos, hasta los biológicos y sedimentológicos, con diversas técnicas de campo y modelación, hasta el abordar diversas escalas espaciales y temporales. Este proyecto marca así, un esfuerzo sin precedentes y una oportunidad única para el país, que sumado a la cooperación internacional, nos va a permitir posicionar aún más la investigación que se desarrolla en la región a nivel mundial. Esto de la mano de una investigación pertinente con sentido ambiental y social, que apunta al desarrollo sostenible de la región del Caribe Colombiano.

**RESUMEN EJECUTIVO** (Información mínima necesaria para comunicar de manera precisa los contenidos y alcances del proyecto que contenga máximo 300 palabras.)

Las Regiones de Influencia de Agua Dulce (ROFI) son sistemas altamente productivos de gran valor ecológico, social y económico, fuertemente amenazadas por el cambio climático y actividades antrópicas. La ROFI del río Magdalena representa la mayor entrada de agua dulce al mar Caribe, constituye un elemento central en la variabilidad oceanográfica de la zona y desempeña un papel clave en los procesos hidrodinámicos, morfodinámicos y bioquímicos. Además interactúa con el sistema de surgencia de La Guajira, y otros procesos de circulación de mesoescala. Ante un desconocimiento importante de las interacciones entre estos sistemas, este proyecto plantea estudiar la circulación, la biogeoquímica, la contaminación por plásticos, y las interacciones entre la surgencia y el río, inmersos en la variabilidad climática. El proyecto se basa en un crucero oceanográfico realizado en el 2022 en colaboración con instituciones de Alemania y Colombia, donde se colectaron datos oceanográficos y muestras de agua, sedimentos, plancton y nutrientes. Se propone generar un modelo oceanográfico integrado con el fin de entender la circulación de mesoescala y sub mesoescala para explicar la conectividad entre la descarga de agua dulce del río Magdalena con la Surgencia de la Guajira, la corriente del Caribe y la contracorriente Panamá-Colombia bajo diferentes escenarios de variabilidad climática. Este conocimiento se

complementará con el análisis del plancton e isótopos en las masas de agua que interactúan. Para entender la dispersión de la contaminación desde el río se hará un análisis de los microplásticos contenidos en los sedimentos de la región. Se hará un análisis geoquímico y de fósiles (polen y foraminíferos) en núcleos de sedimentos para reconocer periodos de tiempo para cada modo de interacción en el sistema. El estudio de la variabilidad de los proxies a lo largo de los núcleos permitirá comprender escalas de tiempo más largas de las interacciones.

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN** (Descripción y justificación del problema que permita identificar las necesidades u oportunidades planteadas en torno al eje y línea temática seleccionada.) 20.000 caracteres

Las interacciones biogeoquímicas en la región representan un problema complejo, con diferentes componentes que interactúan en varias escalas espaciotemporales. Este proyecto de investigación plantea el problema de explicar cómo se relaciona la circulación en la región ROFI con la productividad biológica y la distribución de sedimentos y contaminantes; y cómo interactúa con la surgencia contigua en escalas de tiempo desde estacionales hasta milenarias.

La cuenca del Caribe colombiano se encuentra modulada a nivel oceánico por diferentes forzantes físicos de gran escala como la corriente del Caribe (CC), la contracorriente Panamá-Colombia (PCCC), las descargas del río Magdalena y la surgencia de La Guajira. No obstante, el ingreso del río Magdalena al mar Caribe no solo es significativo en términos de agua dulce y sedimentos, sino también de contaminantes y nutrientes (Garcés-Ordóñez et al., 2016). Este es el sistema fluvial con mayor aporte de Fósforo (P) y Nitrógeno (N) al Mar Caribe, con flujos superiores a 186.000 t año<sup>-1</sup> y 47.000 t año<sup>-1</sup>, respectivamente (Restrepo y Kjerfve, 2004). Dichos aportes de nutrientes pueden influir notablemente en el comportamiento de las comunidades biológicas en el estuario y la pluma del río. Por otro lado, el entendimiento de la compleja convergencia de procesos de mesoescala (CC, PCG, PCCC y GUS) y submesoescala (frentes y remolinos) y que se relacionan dinámicamente, brindará herramientas para el análisis de cambios en la conectividad, geomorfología y transporte de sedimentos, nutrientes, plancton, sales y calor.

Por su parte, la surgencia de La Guajira es una de las principales fuentes de productividad biológica en la zona costera norte de Colombia, si bien no alcanza a soportar grandes volúmenes de pesca como en otros ecosistemas de surgencia subtropicales, es la responsable de una mayor actividad biológica que sostiene la mayoría de la pesca artesanal que se registra en la zona. Sin embargo, los efectos de esta interacción río-surgencia sobre la productividad, la sedimentación y los depósitos del fondo marino son poco conocidos. Para evaluarlo, es necesario conocer la relación actual entre circulación, productividad primaria, producción de sedimentos biogénicos, transporte y acumulación de sedimentos en el fondo marino. Además, aún se desconoce el comportamiento a escalas temporales más largas de la interacción río-surgencia. Para evaluar estas dinámicas es necesario una reconstrucción histórica del transporte y acumulación de sedimentos a dichas escalas. Además, y lo que es más importante, esta reconstrucción histórica revelará modos y ciclos de la conexión ROFI-surgencia en relación con la variabilidad climática tropical y global en diferentes escalas de tiempo que podrían responder preguntas abiertas sobre el clima. Por

ejemplo, ¿cuál es el papel de los trópicos en la variabilidad climática global? ¿Cómo son las conexiones climáticas entre los océanos Atlántico y Pacífico? ¿Cuál es la relación entre el mar Caribe y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO)? y ¿Cuál ha sido la influencia del Caribe en la Corriente del Golfo? (Ruiz-Ochoa et al. 2012, Hoyos et al. 2018, Urrego et al. 2019, Meehl 2021).

Debido a la gran área de captación del río Magdalena que comprende varias ciudades importantes de Colombia, el papel de los ríos en el transporte de materiales y el hecho de que los plásticos son la fracción dominante de la basura que llega al mar (Riascos, 2019; Martínez-Silva & Nanny, 2020), se pueden esperar acumulaciones de microplásticos estructuradas espacialmente en el ROFI de Magdalena. Estas acumulaciones, a su vez, tienen el potencial de afectar la diversidad y la estructura de los ensamblajes bentónicos en el lecho marino (p. ej., Song et al. 2021).

Por otro lado, el sistema de surgencia de La Guajira constituye el eslabón principal del ecosistema pelágico del Caribe colombiano, y el desconocimiento de la respuesta biológica a los procesos oceanográficos y climáticos conlleva en últimas a un desconocimiento de los factores económicos que afectan a las poblaciones ubicadas en esta región y que se benefician de los recursos pesqueros modulados por dichos fenómenos.

Una de las mayores limitantes en la investigación oceanográfica en Colombia es la escasez de datos in situ en zonas oceánicas, no obstante, aunque se tienen bastante documentado los diferentes procesos oceanográficos en la costa, a nivel de la plataforma continental y la cuenca de Colombia, se cuenta con datos muy puntuales y a una escala espacial bastante reducida. En términos de circulación, se desconoce los procesos de circulación de mesoescala y sub mesoescala que influyen en los procesos de conectividad, se desconoce además la distribución de los microplásticos provenientes de las descargas del río, y el transporte de agua salada desde la surgencia de Guajira.

La mayoría de las investigaciones se han realizado por medio de percepción remota centrada en algunas variables como temperatura, salinidad, clorofila, anomalía del nivel del mar, etc, quedando por ende vacíos de información in situ la cual es relevante como insumo para contrastar con los modelos de circulación existentes así a distribución de comunidades planctónicas y bentónicas la cual es un indicador clave de la productividad biológica de la zona. Así mismo, es necesario reconstruir la historia de la sedimentación en el sistema de surgencia de La Guajira para de esta manera comprender los modos y ciclos de la conexión entre el ROFI-Surgencia relacionada a la variabilidad climática tropical y global en diferentes escalas de tiempo durante el calentamiento actual y los períodos cálidos pasados.

**ESTADO DEL ARTE** (Tiene como finalidad darle sustento teórico al problema planteado y a la investigación que busca llevarse a cabo, y tiene como objetivo conocer a profundidad el tema a investigar e identificar los principales avances obtenidos a la fecha en esa área del conocimiento para orientar la investigación a generar nuevo conocimiento.) 20.000 caracteres

Dinámica Oceánica en el Caribe colombiano

Las características más notables de la circulación superficial en el Caribe son: la Corriente del Caribe (CC), el Giro Panamá-Colombia (PCG), la Contracorriente Panamá-Colombia (PCC) y su variabilidad se ha asociado con remolinos de mesoescala. La Corriente del Caribe (CC) fue reportada por Wüst (1963) y Gordon (1967) como una corriente moderada, con procedencia principalmente del oeste, en los primeros 1200 m de profundidad, con un máximo dentro de los 500 km al norte de la costa sudamericana. El CC se considera como la ruta principal por la cual el agua del Atlántico Sur fluye hacia la Corriente de Florida y la Corriente del Golfo y, por lo tanto, es un conducto importante de la parte superior de la circulación de vuelco meridional (MOC) que fluye hacia el norte. Richardson (2005) identificó la parte de mayor velocidad del CC,  $>0,25$  m/s, a lo largo del límite sur de la cuenca de Venezuela, cerca de los  $12-15^{\circ}$  N con velocidades medias de hasta  $0,80$  m/s. El flujo continúa a través de la parte media de la cuenca de Colombia cerca de los  $14-16^{\circ}$  N, hacia el noroeste a través del pasaje de Jamaica Ridge cerca de  $81^{\circ}$  W, hacia el oeste, al norte de Honduras entre  $18^{\circ}$  N y  $19^{\circ}$  N, y hacia el norte a lo largo de Yucatán cerca de  $86^{\circ}-87^{\circ}$  W donde las velocidades alcanzan  $1,20$  m/s. En la cuenca de Colombia, los vectores de la corriente del Caribe se fusionan con los vectores del brazo norte de la PCG que fluye hacia el oeste. Richardson (2005) también identificó un segundo flujo hacia el oeste más lento ( $0,25-0,30$  m/s).

El Giro Panamá-Colombia consiste en un ciclón ancho e intenso que, junto con un anticiclón y un ciclón adyacente, está incorporado en un giro ciclónico más grande pero más débil (Mooers y Maul, 1998). A través de derivadores desplegados en diferentes lugares y tiempos, Andrade y Amaya (2000), Fratantoni (2001), Andrade-Amaya (2001) y Centurioni y Niiler (2003) identificaron y describieron el PCG como una intensa y persistente recirculación ciclónica en la cuenca colombiana, centrada cerca de los  $80^{\circ}$  W,  $12^{\circ}$  N con una amplitud de más de 200 km que impulsa fuertes corrientes de frontera ( $\sim 0,6$  m/s) a lo largo de las costas colombo-panameñas y que pueden influir hasta los 500 m de profundidad. Así mismo, identificaron corrientes promedio más fuertes, superiores a  $0,7$  m/s en las costas de Panamá. El punto de giro frente a la costa colombiana donde el flujo se dirige hacia el oeste es muy variable según Andrade-Amaya (2000). En su investigación, los derivadores con flujo hacia el este, giraron ciclónicamente antes de los  $76^{\circ}$  W, mientras que sólo una llegó más allá de los  $74^{\circ}$  W. En ambos casos, los derivadores viajaron hacia el oeste entre  $14^{\circ}$  N y  $12^{\circ}$  N, y cerraron la celda o giraron en dirección noroeste hacia la salida de Centroamérica. A escala estacional, la estructura superficial del PCG (en la altura de la superficie del mar) no mostró grandes cambios pero fue más fuerte en julio y más débil en octubre. Presentando valores positivos (alrededor de 8 cm) entre diciembre y mayo (anticiclónico) mientras que entre junio y noviembre se identificaron anomalías ciclónicas ( $-10$  cm).

Existe evidencia teórica de la existencia de un flujo hacia el este en el extremo sur del Mar Caribe modulado tanto en la circulación remota del Atlántico Norte como en la circulación local impulsada por el viento. Esta teoría sostiene que el flujo que ingresa al Caribe, al sur de los  $15^{\circ}$  N en el giro tropical, tendría que girar hacia el sur, en el Caribe occidental para formar una corriente de frontera que se dirige hacia el este a lo largo del margen sur de la cuenca, para finalmente fluir de regreso fuera del Caribe y hacia el sur para cerrar el giro tropical. La presencia de la PCC a lo largo del suroeste del Caribe fue reportada por primera vez por Gordon (1967) y estudiada a escalas anuales e interanuales por Pujos et al. (1986); Corredor (1981); Andrade et al. (2003) y Bernal et al. (2010). Mediante mediciones in situ, Corredor (1981) y Pujos et al. (1986) describieron la PCC como un flujo a contracorriente desde el Golfo de Urabá hacia las costas de la Guajira desprendido

del PCG, en dirección noreste, y dependiente de las estaciones; además identificaron que la corriente modula la dinámica de los sedimentos y sus concentraciones en la desembocadura del río Magdalena y sus alrededores. Estos estudios sugieren que durante la estación húmeda (de julio a noviembre) cuando el viento es más débil, la PCC se fortalece con velocidades de hasta 0,61 m/s llegando a las costas de la Guajira; en esta condición, la pluma de los sedimentos proveniente del Magdalena se aleja de su dirección, tomando un flujo hacia el este, por lo que las aguas cercanas a La Guajira son más cálidas y turbias. En contraste, bajo condiciones más secas y vientos más fuertes (enero a abril), la PCC no sobrepasa el Golfo de Urabá, por lo que aguas más frías y transparentes son comunes cerca de La Guajira. Durante esta temporada el CC y los vientos Alisios tienen mayor importancia. Estos comportamientos estacionales se identificaron a través de imágenes satelitales, mediciones in situ y observaciones visuales de las aguas costeras.,

Alrededor de 12° N y 72° W, la PCC se sumerge debajo de los sistemas de surgencia de La Guajira y Cariaco para convertirse en una corriente subsuperficial conocida como Corriente Subsoperficial Costera del Caribe (CCU). Este flujo persiste en la cuenca venezolana hasta el Canal de Granada donde sale del Caribe a 200 m de profundidad. Esta corriente subsuperficial hacia el este, entre los 100 y 150 metros de profundidad en el límite meridional, fue identificada inicialmente por Gordon (1967) en el centro de Venezuela (68,3° O). En contraste, Bernal et al. (2010) determinaron que la PCC alcanza hasta los 75°O (Barranquilla) y no hasta los 72°O (Guajira) como lo reportó Andrade et al. (2003).

La CCU es más fuerte frente a las costas colombianas a 200 m por debajo del sistema de surgencia de la Guajira, alcanzando velocidades de 0,1 m/s. Jouanno et al. (2008) simularon la CCU e identificaron que se localiza principalmente entre 200 y 400 m de profundidad pero puede tener aportes localmente más profundos como en la Cuenca del Cariaco. Correa-Ramírez et al. (2020) también identificaron que la CCU se intensifica estacionalmente por la intensificación de la surgencia costera en La Guajira que aporta la mayor parte de las aguas SUW afloradas. Bernal et al. (2010) evaluaron la variabilidad interanual de las corrientes costeras identificando que en eventos El Niño, el PCC y el CCU se debilitan a lo largo del año, excepto en la temporada JJA (cuando se intensifica). En el caso de La Niña, el PCC y el CCU se fortalecen de diciembre a febrero y se debilitan de junio a noviembre.

Adicionalmente, es importante destacar el ingreso de remolinos provenientes del norte de Brasil, como lo registra Richardson (2005). Los remolinos incrementan la velocidad de las corrientes e interactúan con las costas en la cuenca.

### Surgencia de La Guajira

Otro de los forzantes físicos más importantes en la región lo constituye la surgencia de La Guajira, la cual hace parte del Sistema de Surgencia del sur del Caribe (Gordon 1967, Andrade y Barton 2000, Ruiz-Ochoa et al. 2012, Rueda-Roda & Muller-Karger 2013), asociado con los vientos alisios estacionales del NE y CLLJ. Su baja concentración de clorofila ha sido explicada por: (a) El agua subsuperficial subtropical es más profunda que en el sector E de la surgencia del Sur del Caribe (Rueda-Roda & Muller-Karger 2013); (b) La plataforma continental es más estrecha, lo que no

permite la retención adecuada de huevos y larvas; (c) El alto grado de turbulencia y el fuerte transporte costa afuera de aguas con nutrientes y parches de fitoplancton (Rueda-Roda & Muller-Karger 2013, Páramo et al. 2011) transportados por filamentos (Andrade 2000); (d) Un desacoplamiento físico biológico, donde la concentración máxima de clorofila no corresponde a un aumento de la productividad, ya que en esta región el zooplancton tarda alrededor de dos meses en responder al aumento de productores primarios (Páramo et al. 2011); (e) Una intensa estratificación producida por los aportes estacionales e interanuales de las aguas cálidas y dulces del giro Panamá-Colombia y especialmente del río Magdalena (Beier et al. 2017).

La evidencia sugiere que la contracorriente Panamá-Colombia hacia el este, es una característica permanente en la costa de Panamá y el oeste de Colombia (Richardson 2005, Alvera-Azcárate et al. 2009), la cual puede extenderse estacionalmente y año tras año, la corriente ascendente de La Guajira, trayendo agua del río Magdalena al sistema de surgencia (Beier et al. 2017, Montoya et al. 2018b). Durante estos eventos, las aguas de baja salinidad del río pueden favorecer la estratificación, limitando la corriente ascendente y su productividad asociada. Por lo tanto, comprender la relación histórica entre la surgencia y esta intrusión de agua dulce puede explicar en parte la baja productividad de este sistema de surgencia.

Las velocidades de Ekman en la región son positivas, lo que indica una condición de succión o surgencia casi permanente. Según Montoya et al. (2018b) durante la estación seca, la surgencia de agua fría se puede medir por la aparición de la isoterma de 25° que alcanza los 50 m en algunas zonas. Durante la temporada de lluvias, los vientos son más débiles pero su dirección sigue siendo favorable a la surgencia, por lo que la succión de Ekman sigue siendo positiva pero débil, las velocidades se han desacelerado y la temperatura de la superficie del mar no muestra enfriamiento debido que la isoterma de 25 ° permanece por debajo de los 80 m de profundidad. En La Guajira, la surgencia se desarrolla con vientos superiores a 8 m/s, con una duración de más de 20 días. Sin embargo, las variaciones en la profundidad de la capa de mezcla y la termoclina pueden cambiar estos parámetros. Precisamente, la llegada de agua dulce desde el SO a la región durante la época húmeda induce cambios en estos parámetros. Por lo tanto, la surgencia se relaja como una combinación de un reducido transporte y succión de Ekman, más la presencia de agua cálida y ligeramente salada en la capa de mezcla que aumenta la estratificación vertical y hace que las isotermas se profundicen (Montoya et al., 2018b).

En el área de La Guajira, la estacionalidad explica el 75% de la variabilidad total de la temperatura superficial del mar (Ruiz-Ochoa et al. 2012). La variabilidad no estacional corresponde al calentamiento y enfriamiento de toda la cuenca de Colombia debido a la NTA, al rotacional del viento y la divergencia del viento en una celda de circulación atmosférica zonal entre La Guajira y el Urabá (Ruiz-Ochoa et al. 2012). Así, junto con la fuerza del viento y el transporte de Ekman, el rotacional del viento juega un papel importante en la surgencia de La Guajira. La temperatura superficial del mar en la surgencia de la Guajira covaría fuertemente con el rotacional del viento. Los valores negativos del rotacional del viento son favorables para la succión de aguas profundas (surgencia) y viceversa (Ruiz-Ochoa et al. 2012). Además, en la región existe una variabilidad importante de mesoescala asociada con remolinos y filamentos que advectan agua de la surgencia a distancias de hasta 400 km (Andrade & Barton 2005).

En La Guajira también se presentan algunos cambios intraestacionales en el viento que no son favorables a las surgencias. En época de lluvias se relacionan generalmente con tormentas tropicales y huracanes y en época seca con los llamados frentes fríos o “Nortes”. Estos eventos son breves pero pueden inhibir el oleaje durante varios días e incluso inducir condiciones de hundimiento (Montoya et al. 2018b). De acuerdo con los resultados de Montoya et al. (2018b), estos eventos son más prolongados y frecuentes en la estación húmeda. Y aunque no analizaron la variabilidad interanual, existen claras variaciones interanuales en estas frecuencias (los años 2005, 2007 y 2011, posiblemente relacionadas con condiciones de La Niña).

#### Variabilidad océano clima

El clima estacional del Mar Caribe está determinado por la alternancia de estaciones secas y húmedas que coinciden con la dinámica del Jet de bajo nivel del Caribe (CLLJ por sus siglas en inglés) (Cook & Vizy 2010) y la sequía del verano (Magaña et al. 1999). El invierno boreal es la estación seca del año, con la zona de convergencia intertropical (ZCIT) en su posición más austral, mientras que en el verano, esta zona se ubica sobre el Caribe produciendo la estación húmeda. El verano se caracteriza por una actividad convectiva y precipitaciones mínimas, lo que provoca un régimen de lluvia bimodal en la región. Las máximas velocidades del CLLJ ocurren en la estación seca principal (diciembre-febrero) y en la mitad del verano (junio-agosto). Según Wang (2007), las anomalías en el CLLJ varían con los cambios en la presión atmosférica sobre el Caribe que, a su vez, están relacionados con la variación del centro de alta presión Subtropical del Atlántico Norte.

El Caribe occidental se ve afectado en escalas interanuales relacionadas con eventos del Atlántico relacionados con el ENSO, que tienen un componente bianual importante, y que son medidos por medio del índice del Atlántico Norte Tropical (NTA, Handoh et al. 2006, Mo & Hakkinen 2001). El aumento y/o disminución de la intensidad del CLLJ durante los eventos de El Niño responden al calentamiento del Pacífico tropical y al enfriamiento del Atlántico tropical, lo cual modifica la circulación zonal y meridional que se extiende hasta los mares intra-americanos (Muñoz et al., 2008). Los cambios oceanográficos asociados con los eventos ENSO en la región dependen de las estaciones, y no son opuestos entre El Niño y La Niña (Bernal et al. 2014). Durante El Niño los vientos son más fuertes que en un año normal (Amador 2008) pero solo durante el segundo semestre del año (Bernal et al. 2014). De hecho, Wang (2007) indicó que las teleconexiones del ENSO son diferentes en el invierno boreal y en el verano. También mostró que el CLLJ varía a frecuencias más altas que el ENSO (1.25 y 2.3 años respectivamente), como lo identificaron Montoya-Sánchez et al. (2018a) en la capa de mezcla del Caribe.

En escalas decadales a interdecadales, tanto la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), la oscilación decadal del Pacífico (PDO) y la variabilidad multidecadal del Atlántico Norte (AMO) tienen un impacto en la variabilidad del Mar Caribe. Las fases cálidas de la PDO coinciden con temperaturas superficiales del mar anormalmente cálidas y un alto nivel de la superficie del mar a lo largo de la costa occidental de las Américas y un período anormalmente seco (similar a El Niño) en el centro y norte de Sur América (Mantua y Hare 2002). Aunque en la oceanografía del Caribe se han encontrado más relaciones con el Pacífico Norte (PDO) que con la NAO (Ruiz-Ochoa et al. 2012,

Beier et al. 2017, Hoyos et al. 2018, Montoya-Sánchez et al. 2018), se sabe que la AMO está altamente conectada a la PDO a través de la migración de la zona de convergencia intertropical (Green et al. 2017). Goldenberg et al. (2001) relacionaron períodos de alta y baja ocurrencia de huracanes con los ciclos AMO. En los registros paleoceanográficos de Puerto Rico y la cuenca del Cariaco también se encontraron ciclos de 60 años, posiblemente relacionados con AMO, aunque no en fase (Black et al. 1999, Kilbourne et al. 2008).

Adicionalmente, las variaciones interdecadales intrínsecas en el ENSO han variado en escalas centenarias, con el Período Cálido Medieval (MWP), la Pequeña Edad de Hielo (LIA) y el Período de Calentamiento Actual (CWP) (Mann et al. 2005, Li et al. 2013 ). Estos períodos centenarios han cambiado significativamente el clima del Caribe. Las sequías en la región circun-caribeña durante la LIA están relacionadas con condiciones similares a las de El Niño en el Pacífico ecuatorial oriental y a una radiación solar reducida (Burn y Palmer 2014, Hodell et al. 2005).

## Plancton

Las comunidades de plancton marino juegan un papel activo y también están condicionadas por los ciclos biogeoquímicos globales y la variabilidad climática. Las funciones clave de la comunidad, incluyendo la exportación de carbono (C) desde la superficie del océano, la transferencia de energía y materia orgánica a los niveles tróficos superiores y la utilización de nutrientes esenciales para la producción primaria, determinan el intercambio de C y otros elementos entre la atmósfera, la superficie del océano y el océano profundo (Falkowski et al. 1998). Las condiciones ambientales, a su vez, retroalimentan la abundancia relativa y la diversidad de especies en las comunidades de plancton (Finkel et al. 2007; Barton et al. 2010; Edwards et al. 2013), dicha diversidad a su vez determina algunos de los servicios ecosistémicos marinos más importantes (Stocker, 2015).

La comunidad planctónica del Mar Caribe Colombiano (CCS) se caracteriza por un conjunto de ensamblajes estables y maduros, propios de un sistema oligotrófico tropical (Gutiérrez-Salcedo, 2011). Esos ensamblajes cambian dependiendo de su ubicación, mostrando alta abundancia y baja riqueza en localidades costeras (Bernal, 2000). Este patrón se invierte a medida que se alejan de la costa y la región oceánica muestra los ensamblajes menos abundantes y más ricos (Lozano-Duque et al., 2010).

## Bentos

Las comunidades bentónicas están compuestas por casi todos los filos del reino animal. Están constituidas por organismos vegetales (fitobentos, todos los productores primarios de formas unicelulares como cianobacterias, protistas, algas unicelulares y formas multicelulares como hongos, líquenes y macroalgas) y animales (zoobentos, compuesto por todos los grupos zoológicos, desde protozoos hasta peces) que tienen una íntima relación con el fondo de los ecosistemas acuáticos para fijarse en él, excavar o moverse en su superficie (Pohle & Thomas 2001). La

distribución y abundancia de éstos dependen en gran medida de las variaciones en el tiempo y el espacio debido a las distribuciones heterogéneas de los hábitats bentónicos (Mistri et al. 2000).

Las actividades de la fauna bentónica marina tienen efectos de largo alcance sobre el límite óxico-anóxico y la distribución multidimensional de solutos dentro del sedimento, así como sobre el transporte de reactivos y metabolitos a través de la interfase sedimento-agua (Aller, 2001).

## Microplásticos

XXXXXXXXXX

## Registros Paleo oceanográficos en áreas de surgencia

Los sedimentos marinos, producto de los procesos oceánicos y climáticos, son un archivo histórico de estos procesos, con los que se pueden realizar reconstrucciones paleoceanográficas que permitan extender el conocimiento del presente al pasado. En los márgenes continentales la producción de sedimentos se debe principalmente a la producción de sedimentos biogénicos in situ y a la llegada de aportes continentales de sedimentos terrígenos y biogénicos. La acumulación y conservación de estos sedimentos depende a su vez de las condiciones hidrodinámicas en la columna de agua y de las condiciones químicas en el fondo. Las fuertes corrientes y la re suspensión en el fondo pueden hacer que los sedimentos no se asienten en su lugar de origen, o que sean removidos y pierdan la secuencia histórica. Las condiciones de alto oxígeno en el fondo generalmente muestran una comunidad bentónica abundante que puede bioturbar los sedimentos alterando la secuencia histórica. A su vez, el oxígeno controla la conservación de la materia orgánica en los sedimentos, la cual requiere condiciones anóxicas para su conservación. En cuanto a los componentes biogénicos inorgánicos del sedimento, dominados por carbonatos y ópalo, su conservación depende de la saturación en el agua de las especies químicas específicas ( $\text{CO}_4^{2-}$  y  $\text{SiO}_4$ ). Los carbonatos se disuelven en aguas ácidas, subsaturadas en iones de carbonato y bicarbonato (por debajo de la lisoclina) y solo se acumulan por encima de la profundidad de compensación de la calcita. Así mismo, el ópalo biogénico está generalmente sujeto a disolución, excepto en áreas de alta productividad, donde el agua intersticial de los sedimentos puede saturarse con óxido silícico (Libes 2009, Seibold y Berger 2017).

En las áreas de surgencia costera, la alta productividad asociada puede generar desde condiciones subóxicas a anóxicas en la zona de mínima concentración de oxígeno (ZMO) o en el fondo de cuencas con circulación restringida, lo que permite una alta acumulación de materia orgánica y una baja bioturbación, condiciones necesarias para obtener buenos resultados de registros paleoceanográficos. Este es el caso de la cuenca de Cariaco, en Venezuela, ubicada en el mismo sistema de surgencia que La Guajira, pero bajo un régimen de mayor productividad en la parte oriental de este sistema. En esta cuenca, las condiciones han sido propicias para la formación de sedimentos laminados, un tipo de registro sedimentario ideal por su alta resolución y control

cronológico (Hughen et al. 1996). Por otro lado, por debajo del GUS no existen estudios paleo-oceanográficos que permitan reconstruir las variaciones temporales en la productividad y conocer qué tan permanentes han sido las condiciones de baja productividad, o si bajo algunos escenarios climáticos se han presentado altas productividades en la zona. De igual forma, existen muchos estudios de variabilidad climática en diversos sistemas de surgencia del mundo, pero no se conocen casos con la particularidad de La Guajira, de tener un sistema fluvial importante, con altos caudales y cargas de sedimentos, interactuando con la surgencia.

Los indicadores sedimentarios para reconstruir la variabilidad oceánica-climática en una zona de surgencia son numerosos. Entre los que se planean trabajar en este proyecto se encuentran:

### Foraminíferos

Los foraminíferos son muy buenos indicadores paleoceanográficos debido a su amplia distribución, sus hábitos tanto planctónicos como bentónicos, su facilidad de estudio, su dependencia ambiental con asociaciones de especies y el registro geoquímico de sus conchas (Barbieri et al. 2006). En particular, son una comunidad importante en ambientes deficientes en oxígeno y existen especies indicadoras de los niveles de oxigenación en las cuencas oceánicas (Bernhard y Sen Gupta 2000). En áreas de surgencia, se han utilizado ampliamente como indicadores de paleotemperatura y nutrientes (p. ej., Schaefer et al. 2005, Schiebel et al. 2001). Weldeab et al. (2013) estudiaron una aplicación a un caso de surgencias que interactúan con cuerpos de agua dulce en la surgencia de Benguela. Los isótopos estables de oxígeno ( $\delta^{18}O$ ) junto con los metales traza (Mg/Ca y Sr/Ca) en foraminíferos se han utilizado ampliamente para reconstruir las condiciones de salinidad y temperatura en el pasado. Así mismo, la diferencia entre  $\delta^{13}C$  en conchas de foraminíferos planctónicos y bentónicos es un excelente indicador de productividad oceánica.

### Polen

El análisis palinológico de núcleos de fondos marinos ayudan a identificar cambios en la vegetación continental a lo largo de las cuencas de los principales ríos que llegan a la cuenca marina y especialmente la vegetación costera en respuesta a cambios en la precipitación, particularmente en la intensidad y duración de las sequías, en la intensidad de las corrientes de viento, y en el caso de la vegetación costera, también en los niveles de mar. En las cuencas marinas cercanas a la zona continental Norte de Suramérica los primeros análisis de secciones palinológicas del lecho marino fueron realizados en el Pacífico por Heusser y Shackleton 1994 (TR 163-31B) y González et al. 2006 (ODP 677B y TR 163-38) los cuales registraron cambios en la precipitación y temperatura de los últimos 40.000 años Antes del presente (AP) que influyeron en la contracción y expansión de los bosques andinos, bosques húmedos tropicales, manglares y pantanos, entre otros, con los Periodos glaciares e interglaciares. Se destaca la expansión de los bosques tropicales y manglares desde hace 15.000 años AP en respuesta al aumento de la precipitación y la temperatura eficaces,

posteriores a la última glaciación. Estos análisis mostraron la influencia del transporte marino, fluvial y eólico en la deposición de polen y otros microfósiles en las cuencas marinas y su coherencia con la señal isotópica  $^{18}O$  y con el análisis palinológico de columnas sedimentarias continentales, y con los cambios registrados en el nivel del mar.

Los granos de polen son transportados al fondo del océano por el viento y las corrientes aluviales y luego se incorporan a los sedimentos del lecho marino (Hooghiemstra et al. 2006). De ahí que las secuencias de sedimentos de las profundidades del mar constituyan los registros más completos de los cambios en la vegetación y el clima del pasado en el continente y para comprender las interacciones océano-atmósfera (Sánchez-Goñi et al. 2018). Las variaciones en las abundancias relativas de polen de algunos taxa indicadores, reflejan cambios en los aportes de las corrientes de los ríos y la cobertura vegetal de los fondos de los estuarios y lagunas y también reflejan la composición de la vegetación en las áreas de influencia de estas corrientes y su relación con las variaciones en la precipitación y la temperatura (Urrego et al. 2009a).

### Geoquímica en Sedimentos

El contenido de Ópalo biogénico (Ob), Carbono Orgánico (Co), Carbono Inorgánico (Ci) y terrígenos en los sedimentos son indicadores de cambios en la productividad oceánica, la oxigenación del fondo y las contribuciones continentales a las cuencas oceánicas. La relación C/N en la materia orgánica es un indicador de su origen (continental o marino). Asimismo, están los isótopos estables que contienen ( $\delta^{13}C$  y  $\delta^{15}N$ ), que también pueden ser utilizados como indicadores de productividad. El contenido de elementos superiores en los sedimentos (Ti, Fe, Al) son buenos indicadores de la escorrentía continental, y pueden marcar los aportes de los ríos a las cuencas oceánicas.

**JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO** (Se debe describir los factores que hacen necesario y pertinente la realización del proyecto y su contribución, desde la CTel a la construcción de paz, crecimiento verde o la agregación de valor a recursos renovables y no renovables) 20.000 caracteres

Este proyecto marca un esfuerzo sin precedentes y una oportunidad única para el país, que sumado a la cooperación internacional, nos va a permitir posicionar aún más la investigación que se desarrolla en la región a nivel mundial. Esto de la mano de una investigación pertinente con sentido ambiental y social, que apunta al desarrollo sostenible de la región del Caribe Colombiano.

El entendimiento físico, biológico, químico y geológico de nuestras zonas costeras y marítimas permite acercarnos al reconocimiento real de nuestros océanos. Expediciones como Bio, Pacífico y SeaFlower, llevadas a cabo como iniciativas gubernamentales, han evidenciado el reto que tenemos como país para reconocer y entender el 45% del territorio nacional. Este proyecto se centra en el entendimiento del sur del mar Caribe colombiano, una región en la que confluyen fenómenos como la surgencia de la Guajira y la descarga del río más grande del territorio Nacional

(el río Magdalena), además, alberga el 90% de los pastos marinos en aguas colombianas, ecosistemas de coral de aguas someras y profundas (algunos de estos bajo figuras de protección), etc. Todo esto sumado a las actividades de desarrollo industrial, el cual debe ser sostenible, plantea la necesidad urgente de entender las conexiones dinámicas de esta región en la que confluyen la alta descarga de aguas dulces, la topografía compleja y la zona de surgencia, permitiendo comprender las relaciones biológicas, sedimentológicas y químicas.

Por tanto, este programa es de alta relevancia para la región Caribe Colombiana desde el punto de vista de desarrollo sostenible (social, ambiental y económico) para la región, desde el punto de vista científico, de formación académica y de cooperación internacional.

Este proyecto surge producto de muchos años de investigación previa, entre los grupos de investigación, demostrada en tesis de doctorado, maestría y decenas de artículos científicos publicados en revistas de alto nivel.

Desde el punto de vista de desarrollo para la región, la zona de surgencia de la Guajira es la zona más productiva en pesca del Caribe Colombiano. Esto la determina como una zona estratégica en aprovechamiento de alimentos marinos y seguridad alimentaria para la región. Además, debido a la disponibilidad de agua dulce y al acceso al mar que ofrecen las áreas de influencia de las desembocaduras, estos sistemas son sitios preferentes para asentamientos humanos, donde coexisten actividades de desarrollo urbano e industrial, comercio portuario, navegación, agricultura, turismo, pesca, entre otros. En los últimos 20 km del río Magdalena, conviven muchas de estas actividades y se produce la captación del agua de consumo humano de Barranquilla y los municipios aledaños. Por tanto, el crecimiento de la ciudad de Barranquilla, la región Caribe y el país en general, requieren del entendimiento holístico de los procesos físicos que se desarrollan en este estuario, de tal forma que al final del programa se puedan aportar elementos para la gestión integral del recurso hídrico (y su relación con la producción de sedimentos y nutrientes), el aumento de la resiliencia y la coexistencia de los múltiples usos del sistema y sus servicios ecosistémicos.

Por tanto, las técnicas que se pretenden implementar a nivel científico y las preguntas de investigación planteadas, permitirán reconstruir la interacción entre el río Magdalena y la surgencia de la Guajira y se documentará el papel de los aportes de agua dulce sobre un sistema de surgencias tropical y su variabilidad asociada a los cambios climáticos. El análisis de los núcleos de sedimentos (con técnicas paleoceanográficas y geoquímicas) del fondo marino permitirá entender los cambios históricos (en escalas interdecadales a centenarias) en las condiciones del océano-clima, aportados por la temperatura, la precipitación, los caudales de los ríos y el nivel del mar. De este modo, se demostrará el papel que tienen los aportes de la RIAD-RM en la productividad oceánica de la región y definir escenarios de futuro frente a estrategias de seguridad alimentaria. Con toda la información obtenida se podrá entender mejor el futuro probable de la productividad oceánica en el Caribe Colombiano. Además, las técnicas de campo (recolección de datos oceanográficos y fluviales) complementadas con la modelación numérica, permitirá el entendimiento de los procesos a nivel de la estructura de la pluma del río, los procesos turbulentos en la pycnoclina, la estructura espacial y dinámica de la zona de mezcla y las interacciones ola corriente en la desembocadura, aportando conocimientos relevantes para la comunidad científica

internacional, dadas las características únicas a nivel mundial de este tipo de desembocaduras tropicales de gran magnitud.

Finalmente, como programa holístico, se contribuirá con la formación de profesionales a nivel de posgrado en temas innovadores para las ciencias del mar del país.

Esta propuesta apunta a dos de los tres grandes retos de país propuestos por la Misión Internacional de Sabios 2020 (MIS): (i) Colombia Biodiversa y Cultural en las líneas de Exploración, conservación de ecosistemas y Educación en ciencias naturales y (ii) Colombia equitativa en la línea de Ciencia abierta y Educación. La MIS concluyó que Colombia es un país por descubrir en términos del Océano y los recursos hidrobiológicos, y resalta la necesidad de promover la ciencia abierta y la cooperación internacional para lograrlo, de cara al cumplimiento de las metas de conservación y el cambio climático, ambos objetivos cubiertos en esta propuesta.

Dentro de las Misiones emblemáticas esta propuesta cubre: Exploración del mar profundo y Ciencia abierta, datos abiertos. Con relación a las propuestas de la MIS, la formación de estudiantes de todos los niveles se enmarcaría en la propuesta 2, Educación sobre la riqueza biótica y ambiental de Colombia y la modernización de becas doctorales en la componente de aplicación de la comunidad científica formada en estas áreas.

Con relación a los proyectos emblemáticos esta propuesta a través del cumplimiento de sus objetivos y actividades apoyaría al cumplimiento de los siguientes:

3. Fortalecer el recurso humano a los niveles locales y regionales en las ciencias del mar y la limnología.

5. Ampliar las bases del conocimiento de la biodiversidad continental y marina.

Los retos, misiones y propuestas están circunscritos en la Calidad y sostenibilidad del recurso agua como marco de acción, para este se contribuye en esta propuesta a los siguientes pilares identificados por la MIS: conectividad, biogeoquímica, biodiversidad y servicios ecosistemas.

El CONPES 2030- COLOMBIA POTENCIA BIOCEÁNICA SOSTENIBLE, identificó cinco problemáticas en el desarrollo bioceánico de Colombia, una de estas problemáticas se relaciona con la limitada generación de conocimiento, cultura y formación científica, tecnológica e innovación para los temas oceánicos, constituyendo como una de las causas principales una reducida oferta de formación e investigación en temas marino-costeros y baja sostenibilidad de estrategias que promuevan las capacidades científicas y técnicas para el conocimiento de los océanos entre otras. Por otro lado en el CONPES 4069 se identificaron ocho áreas estratégicas del conocimiento de la misión internacional de sabios con la cual se busca direccionar los esfuerzos venideros en materia de Ciencia Tecnología e Innovación (CTI). Una de estas estrategias se basa en los océanos y recursos hidrobiológicos enfocada en identificar, valorar, y proyectar, este recurso natural. Bajo este contexto, el presente proyecto se articula con los dos CONPES anteriormente mencionados debido que tiene como objetivo generar información in situ de dos áreas pobremente estudiadas como lo son la surgencia de La Guajira y la región de influencia del río Magdalena. En este sentido, se realizará un estudio integral de la ROFI del Magdalena y el GUS a través de un enfoque biogeoquímico y paleoceanográfico, integrando aproximaciones geofísicas, sedimentológicas y bioquímicas, esto se realizará mediante un crucero oceanográfico donde se coleccionará información

física de la columna de agua (termohalina y de circulación), planctónica, de microplásticos, sedimentológica (muestras de box core y núcleos) e información satelital (temperatura, salinidad, estrés del viento y anomalía del nivel del mar). Finalmente, toda esta información se utilizará para generar un modelo de integración que explicará la conectividad entre la ROFI del río Magdalena y el GUS.

Por lo tanto, con la realización de éste proyecto se estaría generando nuevo conocimiento para una mejor planificación y gestión de los recursos marinos en la zona, por otro lado se pretende mejorar las capacidades de investigación marina en el Caribe colombiano, incluyendo la educación de alto nivel de estudiantes de pregrado y postgrado, así mismo se espera que los resultados de este proyecto abran nuevas líneas de investigación y áreas de conocimiento en ciencias marinas para el futuro, contribuyendo además al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 13 y 14 y el Decenio de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible a través del “Pacto Región Océanos” del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022.

## **OBJETIVO GENERAL**

Generar información sobre la ROFI del Magdalena y el sistema de surgencias de La Guajira a través de un enfoque biogeoquímico y paleoceanográfico, integrando aproximaciones físicas dinámicas, sedimentológicas y biológicas.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Comprender la circulación oceánica de meso y sub-mesoescala en el Sur del Caribe colombiano: procesos, conectividad e impactos de un sistema con alta descarga de agua dulce inducida por el río Magdalena y el transporte de agua salada desde la surgencia de Guajira.

Describir las comunidades planctónicas y bentónicas asociadas al río, al océano y al sistema de surgencia.

Evaluar la influencia de los patrones de circulación y sedimentación en la distribución de la contaminación reciente por microplásticos y sus interacciones con las comunidades bénticas

Comprender la interacción biogeoquímica entre la ROFI del y el GUS

Reconstruir la historia de la sedimentación en el sistema de surgencia de La Guajira para comprender los modos y ciclos de la conexión ROFI-Surgencia vinculada a la variabilidad climática tropical y global en escalas de tiempo durante el calentamiento actual y los períodos cálidos pasados

**METODOLOGÍA** (Exposición en forma organizada y precisa de cómo se desarrollará y alcanzará el objetivo general y cada uno de los objetivos específicos del proyecto, presentando los componentes del mismo y las actividades para el logro de estos.) 20.000 caracteres

Metodología para el logro del Objetivo específico 1.

Objetivo 1: Comprender la circulación oceánica de meso y sub-mesoescala en el Sur del Caribe colombiano: procesos, conectividad e impactos de un sistema con alta descarga de agua dulce inducida por el río Magdalena y el transporte de agua salada desde la surgencia de Guajira.

Actividad 1.1 Realizar un (1) crucero de investigación para la caracterización termohalina y la circulación en la zona del ROFI del río Magdalena y el GUS.

Se tomarán mediciones y muestras de agua y sedimentos durante un crucero oceanográfico a bordo del buque de investigación alemán Maria S. Merian. El crucero incluye diez transectos a través de la desembocadura, el delta y la pluma del río Magdalena (transversal y paralelo a la costa, transectos 1-10 Figura 1), un transecto a lo largo del trayecto a La Guajira (Transecto 11, Figura 1) y dos transectos a lo largo de la región de surgencia de La Guajira (Transecto 12 y 13 Figura 1). Se planea recopilar un total de 67 perfiles de datos y 19 núcleos de sedimentos. El crucero está programado para una duración total de 28 días.

Las mediciones de los parámetros fisicoquímicos se realizarán por medio de una CTDO, cubriendo la totalidad de la columna de agua. Adicionalmente, se realizarán mediciones estacionarias de corrientes en la toda la columna durante un ciclo de marea que complementarán el análisis dinámico y la distribución de los trazadores activos y pasivos en el área muestreada.

Figura 1. Red de estaciones de muestreo del crucero oceanográfico.

- Responsable: Yuley Cardona, Universidad Nacional de Colombia.
- Resultados de la actividad: datos de temperatura y salinidad,
- Medio de verificación: Datos in situ de los equipos oceanográficos, bitácoras de campo

Actividad 1. 2. Análisis de datos oceanográficos in situ

Para analizar la conectividad entre el ROFI y el GUS se realizará en análisis de los datos termohalinos colectados en el crucero oceanográfico, siendo estos parámetros los dos primeros trazadores a considerar en el análisis de conectividad.

- Responsable: Yuley Cardona, grupo oceánicos-Universidad Nacional de Colombia
- Tareas: procesamiento de los datos del CTDO, aplicación de los diferentes filtros.
- Resultados de la actividad: gráficos de temperatura y salinidad,
- Medio de verificación: informe técnico de crucero.

Actividad 1. 3. Análisis de información satelital oceanográfica y climática

Se descargarán y se procesarán datos de provenientes de diferentes bases de datos satelitales de temperatura superficial del mar (OISST-Reynolds), salinidad superficial (SMOS), estrés del viento (ASCAT) y anomalía del nivel del mar (AVISO). La información satelital permitirá tener una perspectiva de la influencia de las condiciones atmosféricas y oceánicas durante el período de muestreo.

- Responsable: Yuley Cardona, grupo de investigación OCEANICOS-Universidad Nacional de Colombia
- Tareas: procesamiento de los datos de las diferentes bases de datos satelitales (ASCAT, SMOS, OISST y AVISO)
- Resultados de la actividad: gráficos de temperatura y salinidad, estrés del viento y anomalía del nivel del mar (SLA).
- Medio de verificación: artículo científico.

#### Actividad 1. 4. Modelo de integración en el Caribe colombiano.

Para generar un modelo de integración se utilizará tanto la información termohalina y de corrientes colectada en campo, la información satelital de las diferentes variables mencionadas en la actividad 1.3 y el modelo generado por el grupo de investigación de OCEANICOS de la Universidad Nacional; dicho modelo es de alta resolución espacio temporal para el mar Caribe con un periodo de tiempo de 1993-2016, este modelo fue integrado al sistema de modelación oceánica regional (ROMS) en un dominio cerrado entre los 8.5°N y 14.5°N; 84°W y 70°W.

Con toda esta información se configurará un modelo integrado donde a través de trazadores pasivos y activos se evaluarán los procesos, la conectividad y los impactos en un ambiente con alta descarga de agua dulce proveniente del río Magdalena y el transporte de agua salada desde la surgencia de la Guajira. El conjunto de entradas del modelo incluirá escenarios de condiciones de surgencia activa/inactiva, descargas altas y bajas del río, fases del ENSO cálidas y frías y rango de expansión/extensión hacia el oeste de PCG/PCCC

- Responsable: Yuley Cardona, grupo de investigación OCEANICOS-Universidad Nacional de Colombia
- Tareas:
- Resultados de la actividad: Salidas del Modelo.
- Medio de verificación: artículo científico.

#### Actividad 1. 5. Administración y apoyo a la supervisión.

Para poder ejecutar los recursos del proyecto se requiere una alta dedicación del componente administrativo que será el encargado de realizar los contratos, acuerdos contra-actuales, compras

de material y supervisión de los mismos. Esta actividad es transversal a todos los objetivos del proyecto y se requiere desde el mismo momento del desembolso de los recursos asignados.

- Responsable: Personal que trabaja en las áreas de Gestión Contractual, Financiera y Planeación de las instituciones beneficiarias. Tareas: Alistamiento de proyecto, generación de contratos y análisis contable y financiero.
- Resultados: Administración y apoyo al desarrollo del proyecto.
- Medio de verificación: informes financieros y de supervisión.

Metodología para el logro del Objetivo específico 2.

Objetivo específico 2 (OE2): Describir las comunidades planctónicas y bentónicas asociadas al río, al océano y al sistema de surgencia

Actividad 2.1 Realizar un (1) crucero de investigación para caracterizar las comunidades planctónicas y bentónicas en la zona del ROFI del río Magdalena y el GUS.

El muestreo de plancton se realizará en estaciones establecidas para el análisis biológico, físico-químico y de nutrientes, se utilizarán botellas Niskin y redes de fitoplancton y zooplancton. El tiempo de arrastre se ajustará de acuerdo con las características físicas de la columna de agua. Las muestras se conservarán en frascos (500 ml) con formaldehído neutralizado con bórax (concentración final del 4%).

El muestreo de macrobentos se realizará mediante draga o descorazonador. Las características del lecho marino determinará el equipo de muestreo más eficaz. Para sustratos de fondo blando, se utilizará una draga de diseño estándar. La draga Van Veen se empleará como un muestreador de macrobentos estándar, dado que es un muestreador eficiente para sedimentos blandos. La profundidad de muestreo de las dragas puede variar según las condiciones del sedimento. Las muestras de fauna bentónica se conservarán con formol al 10% para su posterior análisis biológico.

- Responsable: Mónica Zambrano, Fernando José Parra- Universidad de Antioquia; Investigadores Universidad de Bremen.
- Tareas: preparación del material para colecta de las muestras, participación en las estaciones de muestreo, colecta y fijación muestras
- Resultados de la actividad: Muestras colectadas,
- Medio de verificación: bitácora de campo, muestras colectadas

Actividad 2.2 Análisis en laboratorio del material biológico colectado en el crucero de investigación.

Las muestras biológicas serán analizadas en los laboratorios del Campus de Ciencias del Mar de la Universidad de Antioquia, utilizando microscopios, estereoscopios y guías taxonómicas

especializadas. Se identificarán organismos y se realizarán análisis cualitativos y cuantitativos para estimar densidades y calcular índices ecológicos.

- Responsable: Mónica Zambrano, Fernando José Parra- Universidad de Antioquia; Investigadores Universidad de Bremen.
- Tareas: preparación de las muestras para el análisis en el laboratorio. Identificación y conteo de organismos para estimar densidades, cálculo de índices ecológicos.
- Resultados de la actividad: matrices de identificación y conteo de los organismos, índices ecológicos
- Medio de verificación: listado de especies identificadas.

Actividad 2.3 Acoplamiento de las matrices biológicas con la información oceanográfica.

Los resultados de las densidades y los índices ecológicos se acoplarán con la información oceanográfica para determinar patrones de distribución.

- Responsable: Mónica Zambrano, Fernando José Parra- Universidad de Antioquia; Investigadores Universidad de Bremen.
- Tareas: análisis estadísticos, gráficos de distribución espacial y abundancia,
- Resultados de la actividad: integración de la información biológica y física
- Medio de verificación: Artículo científico

Metodología para el logro del Objetivo específico 3.

Objetivo específico 3 (OE3): Evaluar la influencia de los patrones de circulación y sedimentación en la distribución de la contaminación por microplásticos y sus interacciones con las comunidades bénticas

Actividad 3.1 Realizar un (1) crucero de investigación para coleccionar muestras de microplásticos en la zona del ROFI del río Magdalena.

Para analizar los microplásticos se coleccionarán entre 2 y 3 cm de la parte superior de las muestras de sedimento obtenidas a través del box core, un nucleador de gravedad o pistón core (según el tipo de sedimentos) en cada punto de muestreo

Las láminas de sedimentos de 2-3 cm proveniente de los núcleos se cortarán a bordo del barco, se almacenarán en recipientes limpios y luego se congelarán a -20 °C. Como precaución para evitar la contaminación cruzada, quienes manipulen las muestras deberán usar únicamente ropa de fibras naturales, y estarán protegidos con batas de laboratorio 100% algodón y gorros y guantes de látex durante el crucero de investigación.

- Responsable: José Marín Riascos- Universidad de Antioquia; Investigadores Universidad de Bremen.

- Tareas: preparación del material para colecta de las muestras, participación en las estaciones de muestreo, colecta y fijación muestras
- Resultados de la actividad: Muestras colectadas,
- Medio de verificación: bitácora de campo, muestras colectadas

Actividad 3.2 Análisis en laboratorio del material colectado en el crucero de investigación.

Las muestras de sedimentos serán analizadas en los laboratorios del Campus de Ciencias del Mar de la Universidad de Antioquia, a su llegada al laboratorio, el sedimento será liofilizado y almacenado a temperatura ambiente en recipientes sellados. Las láminas sedimentarias se conservarán en formalina al 4% en recipientes sellados. Todos los líquidos utilizados para la fijación y procesamiento se filtrarán a través de un tamiz de 32  $\mu\text{m}$  antes de agregarlos a las muestras.

- Responsable: José Marín Riascos- Universidad de Antioquia; Investigadores Universidad de Bremen.
- Tareas: Preparación de las muestras para el análisis en el laboratorio. Liofilización.
- Resultados de la actividad: identificación de las principales partículas contaminantes y sus densidades.
- Medio de verificación: matrices de datos

Actividad 3.3 Análisis estadísticos del material analizado en el laboratorio y acoplamiento con la circulación de mesoescala en la zona.

Los resultados de la densidad del microplástico por estación será asociado con los patrones de circulación en la zona y de esta manera determinar los patrones de agregación y distribución.

- Responsable: José Marín Riascos- Universidad de Antioquia; Investigadores Universidad de Bremen.
- Tareas: análisis estadísticos, gráficos de distribución espacial,
- Resultados de la actividad: integración de la información de microplásticos con la información física
- Medio de verificación: Artículo científico

Actividad 4.2 Análisis en laboratorio del material biológico colectado y las trampas de sedimentos.

Teniendo las cabezas de coral en el laboratorio, se cortarán en láminas de 5 mm de espesor siguiendo su eje de crecimiento vertical. En cada lámina se realizarán mediciones de susceptibilidad magnética cada 5 mm desde la base hasta la parte superior. Se obtendrán fotografías de luz ultravioleta para trazar una cronología a partir de la medición del número y grosor de las bandas de crecimiento coralino (Siguiendo a Escobar-Gómez, 2018).

Respecto a las trampas de sedimentos, el contenido de cada una se filtrará en un colector acoplado a una bomba de vacío. Los sedimentos y demás contenidos será retenidos en filtros de celulosa de

52 mm previamente pesados, se secarán a una temperatura de 65°C por 24h y se pesarán nuevamente.

Luego, los sedimentos serán trasladados de los filtros de celulosa a filtros Whatman GF/F (42mm) previamente pesados y se incineraran a 450°C durante 5 horas. Se calculará el peso seco de las muestras de sedimentos y el contenido orgánico promedio de cada trampa.

- Responsable: Fernando José Parra- Universidad de Antioquia.
- Tareas: corte de las cabezas de coral, filtración del material de las trampas y determinación del peso de los sedimentos.
- Resultados de la actividad: datos de susceptibilidad magnética, peso y contenido orgánico
- Medio de verificación: Base de datos.

Actividad 4.3 Escritura de manuscrito con la interpretación de los resultados obtenidos.

Los resultados del material de las trampas de sedimentos y los análisis de laboratorio de las cabezas de coral se relacionaran con la dinámica sedimentaria de la zona.

- Responsable: Fernando José Parra- Universidad de Antioquia
- Tareas:
- Resultados de la actividad: integración de la información de las trampas y las cabezas de coral con la dinámica sedimentaria del delta del río Magdalena.
- Medio de verificación: Artículo científico

Metodología para el logro del Objetivo específico 5.

Objetivo específico 5 (OE5): Reconstruir la historia de la sedimentación en el sistema de surgencia de La Guajira para comprender los modos y ciclos de la conexión ROFI-Surgencia vinculada a la variabilidad climática tropical y global en escalas de tiempo durante el calentamiento actual y los períodos cálidos pasados

Actividad 5.1 Realizar un (1) crucero de investigación para la reconstrucción histórica de la sedimentación en el GUS.

Se analizarán los 14 perfiles de los transectos 11-13 para entender la estructura de la columna de agua. Se recolectarán 20 muestras de agua superficial (14 del GUS y 6 frente al río Magdalena), 5 muestras de agua de la subsuperficie (agua de surgencia) y 1 del Banco de las Ánimas para realizar el análisis isotópicos como trazadores. Además, para cada uno de estos perfiles seleccionados, se recolectará una muestra de sedimentos tomando la primera capa para el análisis de los sedimentos (tamaño de grano, composición) y microfósiles (polen y foraminíferos).

En cinco estaciones frente a la península de La Guajira se recolectarán testigos cortos y largos de sedimentos. Serán descritos y se les tomarán radiografías. Se seleccionarán dos núcleos cortos (aproximadamente 50 cm de largo) para el muestreo a alta resolución (1 cm) y un núcleo largo a

menor resolución (5 cm). Las muestras para análisis palinológico se obtendrán de dos núcleos cortos y uno largo muestreados a la misma resolución explicada anteriormente. Se cortarán los núcleos de sedimento cada 1-5 cm dependiendo de la longitud y resolución temporal de cada uno.

- Responsable: Gladys Bernal, Ligia Urrego - Universidad Nacional.
- Tareas: preparación del material para colecta de las muestras de agua y sedimentos, colecta de agua, colecta de núcleos,
- Resultados de la actividad: Descripción de los núcleos, muestras para análisis isotópicos.
- Medio de verificación: bitácora de campo, muestras colectadas

#### Actividad 5.2 Análisis en laboratorio de las muestras colectadas.

Se asignarán muestras de agua y sedimentos para análisis geoquímicos y de microfósiles (foraminíferos y polen), para el fechado se utilizará los isótopos de  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{14}\text{C}$  y se ajustarán los modelos de edad para cada núcleo de acuerdo con técnicas y procedimientos estándar (por ejemplo, Swarzensky 2014, Reimer et al. 2013, Blaaw y Christen 2011). Así mismo se realizarán análisis geoquímicos de C/N, carbono orgánico (Co), carbono inorgánico (Ci), ópalo biogénico (Ob), Al, Fe y Ti. Se identificarán y clasificarán foraminíferos planctónicos y bentónicos y se realizarán conteos hasta alcanzar al menos 300 ejemplares por muestra para establecer asociaciones de especies. Se separarán unos 20 ejemplares de especies estratégicas por cada muestra para realizar análisis químicos en las conchas, en concreto isótopos estables y Mg/Ca.

Las muestras de los núcleos se prepararán en laboratorio con los métodos estándar para la extracción de polen, Acetólisis (Faegri & Iversen 1989), utilizando previamente pirofosfato de sodio (10%) para tamizar, desagregar sedimentos y separar el polen de la materia orgánica. Debido a los altos contenidos de cuarzo y silicatos que presentan este tipo de sedimentos, se realizarán tratamientos previos con ácidos clorhídrico (33%) y fluorhídrico (30%) como recomienda Hergreen (1983). Las concentraciones de polen por muestra se calcularán en función del recuento de esporas de *Lycopodium* con un contenido de esporas constante que se agregará a las muestras antes de la extracción del polen. Una vez procesadas, las muestras serán montadas y fijadas con glicerina, entre 2 y 5 placas por muestra, según la abundancia de granos de polen. A través de un microscopio óptico, se contará un mínimo de 200 granos de polen para incluirlos en la suma de polen, incluidas hierbas, arbustos y árboles y, en algunos casos, esporas de helechos indicadores como los que se encuentran en los manglares (p. ej., *Acrostichum aureum*). Se contabilizarán algunas esporas y microfósiles marinos (diferentes a los foraminíferos), que complementarán los análisis pero no se incluirán en la suma de polen. A partir de la suma de polen se calcularán los porcentajes por especie y por muestra.

- Responsable: Gladys Bernal, Ligia Urrego - Universidad Nacional.
- Tareas: Fechado de las muestras de agua y sedimentos, conteo de foraminíferos, conteo de esporas

- Resultados de la actividad: matrices con información del fechado de las muestras de agua y sedimentos.
- Medio de verificación: Base de datos.

#### Actividad 5.3 Análisis multivariados y reconstrucción de las condiciones ambientales.

Todos los registros se analizarán por separado y en conjunto (análisis multiproxy). A través de análisis multivariados se analizarán los cambios en los grupos de vegetación y foraminíferos, y se evaluarán las relaciones con los demás proxies (isótopos, foraminíferos y variables geoquímicas) y las variables climáticas, articuladas al modelo de edad que se elaborará con base en las dataciones obtenidas. La señal isotópica del agua nos permitirá caracterizar isotópicamente las masas de agua que interactúan en la región, y servirá para interpretar las variaciones isotópicas encontradas en los foraminíferos. Luego de la calibración de los registros sedimentarios con datos recientes, los registros se utilizarán para reconstruir variables oceánicas como temperatura, salinidad, productividad y oxígeno disuelto. Las series temporales generadas se analizarán según sus ciclos interanual, interdecadal, centenal y milenar. Los resultados serán discutidos en términos del clima regional y la relación con la variabilidad climática global.

- Responsable: Gladys Bernal, Ligia Urrego - Universidad Nacional.
- Tareas: integración de las muestras de agua, sedimentos y núcleos con la información oceanográfica y climática de la zona.
- Resultados de la actividad: series temporales.
- Medio de verificación: Artículo científico

#### Metodología para el logro del Objetivo específico 6.

Objetivo específico 6 (OE6): Comprender la interacción biogeoquímica entre el ROFI del río Magdalena y el GUS

##### Actividad 6.1 Acoplamiento del modelo de circulación con la información biogeoquímica

Los resultados del modelo de circulación se utilizarán para explicar la conectividad entre la descarga de agua dulce del río Magdalena con la corriente del Caribe (CC), la contracorriente Panamá-Colombia (PCCC) y la surgencia de La Guajira bajo escenarios de surgencia activa e inactiva, caudal alto y bajo del río, fases cálidas y frías del ENSO, y rango de expansión /extensión hacia el oeste del PCG/PCCC. Esta conectividad será la principal evidencia de las interacciones del ROFI-GUS. Con los resultados de circulación se espera comprender en qué condiciones el ROFI llega hasta el GUS.

En consecuencia, las interacciones entre estos sistemas físicos pueden verse como la interacción de las tres principales masas de agua a nivel superficial: el Agua Superficial del Caribe, el Agua del Magdalena y el Agua de Surgencia (posiblemente parte del Agua Subsuperficial Subtropical). Estas masas de agua traen firmas biológicas, sedimentológicas y químicas características. De esta forma,

se correlacionarán variables planctónicas, sedimentológicas y químicas con las condiciones de circulación durante el muestreo para explicar las firmas características de cada masa de agua.

Finalmente, luego de conocer las firmas isotópicas, el análisis de los fósiles y la geoquímica contenida en los núcleos de sedimentos permitirá reconocer periodos de tiempo para cada modo de interacción en el sistema. El estudio de la variabilidad de los proxies a lo largo de los núcleos permitirá comprender en escalas de tiempo más largas dichas interacciones.

- Responsable: Yuley Cardona, Mónica Zambrano, Gladys Bernal, Ligia Urrego - Universidad Nacional.
- Tareas: análisis integrado del patrón de circulación con los resultados de los objetivos 2 y, 5
- Resultados de la actividad: información integrada de la circulación con la información biogeoquímica.
- Medio de verificación: Artículo científico

**CONFORMACIÓN DEL EQUIPO DE INVESTIGACIÓN** (Definir perfil, roles y responsabilidades de los integrantes del equipo) 20.000 caracteres

A continuación, se enuncia el personal científico que participó activamente en la elaboración de la presente propuesta y que será responsable de llevarla a cabo, con su perfil general:

Gladys Bernal CC 42892188

Experta en Oceanografía, Sedimentos y Paleoceanografía.

CVLac:

[http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0000176109](http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000176109)

Ligia Estela Urrego CC 42879061

Experta en Ecosistemas Costeros y Palinología.

CVLac:

[http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0000064580](http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000064580)

Yuley Mildrey Cardona CC 21481858

Experta en Oceanografía y Modelación Oceanográfica.

CVLac:

[https://scienti.colciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0000144541](https://scienti.colciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000144541)

Mónica María Zambrano Ortiz CC 66818586

Experta en Contaminación Marina y Calidad del agua

CVLac

[https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod\\_rh=0000396982](https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000396982)

Lina Zapata CC xxxxx

Experta en xxxxxx

CVLac: xxxxx

**RESULTADOS ESPERADOS DE LA INVESTIGACIÓN** (Conocimiento generado en el cumplimiento de cada uno de los objetivos.)

Esta propuesta tendrá impactos positivos en el medio ambiente, la sociedad, la ciencia, la tecnología, la innovación, la productividad y la competitividad.

Los impactos ambientales positivos que se identificaron se basan en la generación de nuevo conocimiento para una mejor planificación y gestión de los recursos marinos en la zona. Conocimiento integral de la dinámica del ROFI del río Magdalena y el GUS, que permitirá explicar las causas de alta y/o baja productividad biológica frente a La Guajira.

El conocimiento del comportamiento de los microplásticos en la región permitirá medir el impacto de este contaminante y las cantidades que transporta el río Magdalena a los ecosistemas marinos relacionados. Además, se obtendrá información determinante relevante sobre la ecología de las comunidades coralinas asociadas a las regiones ROFI. El conocimiento de las condiciones climáticas que determinan los tipos de interacciones biogeoquímicas río-mar es fundamental para predecir las pesquerías y de esta manera ayudar a las comunidades locales a mejorar el uso de estos

recursos. Finalmente, todo el conocimiento integrado que se genere de este proyecto dará una herramienta importante para la toma de decisiones a nivel gubernamental con el fin de cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

Se espera altos impactos científicos generando nuevo conocimiento sobre: (1) La región ROFI en entornos tropicales que interactúan con regiones de surgencia (2) la variabilidad climática y oceánica en el Caribe Sudoccidental a lo largo de varias escalas de tiempo y especialmente en el contexto del cambio climático actual; (3) Las conexiones biogeoquímicas del río Magdalena y el mar Caribe y los patrones de sedimentación resultantes; (4) La contaminación por microplásticos; (5) Las adaptaciones de los arrecifes condicionadas por los aportes fluviales. Finalmente, se utilizará tecnología de punta en Investigación Marina, combinando métodos nuevos y tradicionales. Los datos y las muestras se recogerán a bordo de uno de los buques oceanográficos mejor equipados del mundo. Se implementarán tecnologías tales como herramientas avanzadas de modelación, satelitales, físicas, biológicas y geoquímicas.

Además, el proyecto incluye un importante componente de intercambio tecnológico entre universidades alemanas y colombianas, a través de la formación conjunta de estudiantes, el uso compartido de infraestructura y la colaboración en la producción de artículos científicos. Este intercambio contribuirá a la mejora de las capacidades de investigación marina en el Caribe colombiano. Los impactos académicos son fundamentales en este proyecto, incluyendo la educación de alto nivel de los estudiantes de grado y postgrado. Se espera que los resultados de este proyecto abran nuevas líneas de investigación y áreas de conocimiento en ciencias marinas para el futuro.

**IMPACTO AMBIENTAL** (Los proyectos de investigación deben incluir una reflexión responsable sobre los efectos positivos o negativos, sobre el medio natural y la salud humana, de las actividades a realizar durante la ejecución del proyecto, o en la posible implementación de sus resultados en el corto, mediano y largo plazo.)

Esta propuesta tendrá impactos positivos en el medio ambiente, la sociedad, la ciencia, la tecnología, la innovación, la productividad y la competitividad.

Los impactos ambientales positivos que se identificaron se basan en la generación de nuevo conocimiento para una mejor planificación y gestión de los recursos marinos en la zona. Conocimiento integral de la dinámica del ROFI del río Magdalena y el GUS, que permitirá explicar las causas de alta y/o baja productividad biológica frente a La Guajira.

El conocimiento del comportamiento de los microplásticos en la región permitirá medir el impacto de este contaminante y las cantidades que transporta el río Magdalena a los ecosistemas marinos relacionados. Además, se obtendrá información determinante relevante sobre la ecología de las comunidades coralinas asociadas a las regiones ROFI. El conocimiento de las condiciones climáticas que determinan los tipos de interacciones biogeoquímicas río-mar es fundamental para predecir

las pesquerías y de esta manera ayudar a las comunidades locales a mejorar el uso de estos recursos. Finalmente, todo el conocimiento integrado que se genere de este proyecto dará una herramienta importante para la toma de decisiones a nivel gubernamental con el fin de cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

**BIBLIOGRAFÍA** (Fuentes bibliográficas empleadas en cada uno de los ítems del proyecto. Se hará referencia únicamente a aquellas fuentes empleadas en el suministro de la información del respectivo proyecto. No se incluirán referencias que no se citen. Las citas, en cada uno de los campos del formulario, se harán empleando el número de la referencia dentro de paréntesis cuadrados (p. ej. [1]).

Alvera-Azcárate A., Barth A., Weisberg R.H., 2009. The Surface Circulation of the Caribbean Sea and the Gulf of Mexico as Inferred from Satellite Altimetry. *J Phys Oceanogr*, 39:640–57.

Andrade, C.A., 2000. Circulation and variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea. Ph.D. Thesis, University of Wales, 223p

Aller, R.C. 2001. Transport and reactions in the bioirrigated zone. Oxford University Press, Oxford. In: K. Norling<sup>1,\*</sup>, R. Rosenberg, S. Hulth, A. Grémare, E. Bonsdorff. 2007. Importance of functional biodiversity and species-specific traits of benthic fauna for ecosystem functions in marine sediment. *Mar Ecol Prog Ser*. 332: 11–23.

Barton, A.D., Finkel, Z.V., Ward, B.A., Johns, D.G. & Follows, M.J. (2013). On the roles of cell size and trophic strategy in North Atlantic diatom and dinoflagellate communities. *Limnol. Oceanogr.*, 58, 254–266.

Beier, E., Bernal, G., Ruiz-Ochoa, M., Barton, E.D. 2017. Freshwater exchanges and surface salinity in the Colombian basin, Caribbean Sea. *PLoS One* 12, e0182116. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182116>.

Bernal, A. 2000. Die struktur der zooplanktongemeinschaft im neritischen Bereich des Kolumbianischen karibischen meeres. In: Gutiérrez-Salcedo, J.M., Cabarcas-Mier, A., Suárez-Mozo, N. 2015. First characterization of the planktonic community in the northern sector of the joint regime area Jamaica-Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 44. 343-368.

Day, J. W., Ramachandran, R., Giosan, L., Syvitski, J., & Kemp, G. P. (2019). Delta Winners and Losers in the Anthropocene. In E. Wolanski, J. W. Day, M. Elliott, & R. Ramachandran, *Coasts and Estuaries* (pp. 149–165). Elsevier.

Díaz, J.M. 1995. Zoogeography of marine gastropods in the southern Caribbean: a new look at provinciality. *Carib J Sci*, 30(1/2): 104-121.

Díaz, J.M. , Barrios, L. M., Cendales, M. H., Garzón-Ferreira, J., Geister, J., López-Victoria, M., Ospina, G. H., Parra-Velandia, F., Pinzón, J., Vargas-Angel, B.A., Zapata, F. A. y Zea, S. 2000. Áreas coralinas de Colombia. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 5, Santa Marta, 176p.

Edwards, K.F., Litchman, E. y Klausmeier, C.A. 2013. Functional traits explain phytoplankton community structure and seasonal dynamics in a marine ecosystem. *Ecol. Lett.*, 16, 56–63.

Escobar Gómez, María Camila. (2018). Evaluación de la variación de condiciones medioambientales en corales mediante la medición del parámetro susceptibilidad magnética en un ejemplar de *Siderastrea Sidera* en el complejo arrecifal de Isla Fuerte. Programa de Geología Universidad EAFIT. Medellín Colombia. 30p.

Falkowski, P.G., Barber, R.T., Smetacek, V. 1998. Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Science*, 281, 200–206.

Finkel, Z.V. 2007. Does phytoplankton cell size matter? The evolution of modern marine food webs. In: *The Evolution of Aquatic Photoautotrophs* (eds Falkowski, P. & Knoll, A.H.). Academic Press, San Diego, CA, pp. 333–350.

Gutiérrez-Salcedo, J.M. 2011. Estructura vertical del zooplancton oceánico del mar Caribe colombiano. In: Gutiérrez-Salcedo, J.M., Cabarcas-Mier, A., Suárez-Mozo, N. 2015. First characterization of the planktonic community in the northern sector of the joint regime area Jamaica-Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 44. 343-368.

Hanna, E. G., & McIver, L. (2014). 19 small island states—canaries in the coal mine of climate change and health. *Climate change and global health*, 181-192.

Hoyos, I., Cañón-Barriga, J., Arenas-Suárez, T., Domínguez, F., Rodríguez, B.A., 2018. Variability of regional atmospheric moisture over Northern South America: patterns and underlying phenomena. *Clim Dyn*, 52:893–911. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4172-9>.

Lozano-Cortés, Diego F., Giraldo, Alan, & Izquierdo, Vanessa. (2014). Short-term assessment of the sediment deposition rate and water conditions during a rainy season on La Azufrada coral reef, Gorgona Island, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 62(Suppl. 1), 107-116.

Lozano-Duque, Y., L.A. Vidal., Navas, G.R. 2010. La comunidad fitoplanctónica en el mar Caribe colombiano. 87-118. In: Gutiérrez-Salcedo, J.M., Cabarcas-Mier, A., Suárez-Mozo, N. 2015. First characterization of the planktonic community in the northern sector of the joint regime area Jamaica-Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 44. 343-368.

Martínez Silva, P., & Nanny, M. A. (2020). Impact of microplastic fibers from the degradation of nonwoven synthetic textiles to the Magdalena River water column and river sediments by the City of Neiva, Huila (Colombia). *Water*, 12(4):1210.

Meehl, G.A., Hu, A., Castruccio, F., England, M.H., Bates, S.C., Danabasoglu, G., McGregor, S., Arblaster, J.M., Xie, S.P., Rosenbloom, N. 2021. Atlantic and Pacific tropics connected by mutually interactive decadal-time scale processes. *Nat Geosci*, 14:36–42. <https://doi-org.ezproxy.unal.edu.co/10.1038/s41561-020-00669-x>

Mistri, M., Fano, E. A., Rossi, G., Caselli, K., Rossi, R. 2000. Variability in macrobenthos communities in the Valli di Comacchio, Northern Italy, a hypereutrophized lagoonal ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51(5), 599-611.

Montoya-Sánchez, R.A., Devis-Morales, A., Bernal, G., Poveda, G., 2018. Seasonal and interannual variability of the mixed layer heat budget in the Caribbean Sea. *J Mar Syst*, 187: 111–127.

Paramo J., Correa M. Núñez S., 2011. Evidence of physical-biological mismatch in the Guajira upwelling system, Colombian Caribbean. *Rev Biol Mar Oceanogr*, 46(3):421-430.

Pohle, G., Thomas, M. 2001. Marine biodiversity monitoring. Monitoring protocol for marine benthos: intertidal and subtidal macrofauna. A report by the marine biodiversity monitoring committee (Atlantic Maritime Ecological Science Cooperative, Huntsman Marine Science Center) to the ecological monitoring and assessment network of environment data. Huntsman Marine Science Center, New Brunswick, Canadá. 28 p.

Restrepo, J.D., Park, E., Aquino, S., Latrubesse, E.M., 2016. Coral reefs chronically exposed to river sediment plumes in the southwestern Caribbean: Rosario Islands, Colombia. *Science of the Total Environment*, 553:316-329.

Riascos, J. M., Valencia, N., Peña, E. J., & Cantera, J. R. (2019). Inhabiting the technosphere: The encroachment of anthropogenic marine litter in Neotropical mangrove forests and its use as habitat by macrobenthic biota. *Marine Pollution Bulletin*, 142:559-568.

Richardson P.L., 2005. Caribbean Current and eddies as observed by surface drifters. *Deep Res Part II Top Stud Oceanogr*, 52:429

Rueda-Roa, D.T., Muller-Karger F.E., 2013. The southern Caribbean upwelling system: Sea surface temperature, wind forcing and chlorophyll concentration patterns. *Deep Res Part I Oceanogr Res Pap*, 78:102–14.

Ruiz-Ochoa, M., Beier, E., Bernal, G., Barton, E.D., 2012. sea Surface temperature variability in the Colombian basin, Caribbean sea. *Deep-Sea Res. part I: Oceanogr Res Pap*, 64:43–53.

Salon Barros, J.C., 2013. Caracterización de la comunidad fitoplanctónica en áreas oceánicas del Caribe Colombiano durante la época seca del año 2011 (Febrero y Marzo). Programa de Biología, Universidad del Magdalena, 69 p.

Severiche, C.A., Baldiris, I., Acosta, J.C., Bedoya, E.A., Castro, I., Pacheco, H., 2017. Multivariate Analysis of Water Quality in Rosario Islands National Park (Colombia). *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 6(6):136-144.

Song, X., Lyu, M., Zhang, X., Ruthensteiner, B., Ahn, I. Y., Pastorino, G., ... & Peng, X. (2021). Large Plastic Debris Dumps: New Biodiversity Hot Spots Emerging on the Deep-Sea Floor. *Environmental Science & Technology Letters*, 8(2):148-154.

Stocker, T. F. 2015. The silent services of the world ocean. *Science* 350, 764–765.

Urrego, L.E., Prado, M.A., Bernal, G., Galeano, A. 2019. Mangrove responses to droughts since the little ice age in the Colombian Caribbean. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 230:106432. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106432>

**CRONOGRAMA** (Lista de actividades, con mes de inicio y mes de finalización)

## **GRUPOS DE INVESTIGACIÓN**

La presente propuesta será desarrollada por el grupo de investigación OCEANICOS (COL0069699) de la Universidad Nacional de Colombia, clasificado en categoría A1, el grupo de investigación en Sistemas Marinos y Costeros - GISMAC (COL0023849) de la Universidad de Antioquia, clasificado en categoría B y el grupo de investigación en gestión y modelación ambiental – GAIA (xxxxxx).

## **PRODUCTOS**

Generación de nuevo conocimiento

Ponencias internacionales 4

Artículos científicos Q1 2

Desarrollo tecnológico e innovación

Apropiación social del conocimiento

Producto de apropiación social del conocimiento 1

Formación de recursos humanos

Maestría graduados 2

Maestría en formación 2

Pregrado graduados 4

**PERSONAL**

**PRESUPUESTO**