

Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

1. Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 2959			
Título del proyecto: Estudio de los Procesos de Transporte (Advección y Dispersión) de los sólidos suspendidos totales en la bahía interna de Buenaventura.			
Facultad o Instituto Académico: Ingeniería			
Departamento o Escuela: Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR)			
Grupo (s) de investigación: Grupo de Investigación en Hidráulica Fluvial y Marítima (HIDROMAR)			
Entidades:			
Palabras claves: Sólidos suspendidos totales; modelación; transporte de sedimentos en suspensión; calidad de agua; bahía de Buenaventura.			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Princip.	Carlos Alberto Ramírez Callejas	5 hrs/semana	5 hrs/semana
Coinvestigador	José Luis García Vélez	5 hrs/semana	5 hrs/semana
Otros	Jennifer Paola Barbosa Hurtado	20 hrs/semana	20 hrs/semana
participantes	Claudia Patricia Giraldo Idarraga	40 hrs/semana	40 hrs/semana

2. Resumen ejecutivo:

RESUMEN

La bahía de Buenaventura concentra elementos fundamentales de la economía del país (puertos, producción maderera y piscícola, etc.); es un estuario receptor de contaminantes provenientes de fuentes naturales y antrópicas que afectan la calidad del agua, poniendo en riesgo los ecosistemas, la salud humana y las actividades socioeconómicas. La evaluación de estos impactos ambientales resulta fundamental para la formulación de planes de manejo ambiental que contribuyan a su recuperación y conservación. Este proyecto tuvo como finalidad el análisis de la variabilidad espacial y temporal de las concentraciones de los sólidos suspendidos totales (SST) en la Bahía, considerando diferentes condiciones oceanográficas, aportes de tributarios y descargas de agua residual doméstica (ARD) provenientes del distrito de Buenaventura. Para esto se realizó una revisión de información y se efectuó una campaña de medición de SST en nueve (9) puntos de muestreo representativos del estuario. A partir de la información recolectada se llevó a cabo la implementación del modelo MOHID, el cual se

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

calibró y validó con base en los registros de campo disponibles (CVC y Universidad del Valle, principalmente). Se plantearon cuatro escenarios según las proyecciones y acciones que pretenden realizarse en el Distrito de Buenaventura, contenidas en el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado y el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (Vallecaucana de Aguas - Unión Temporal Aquapozos, 2017), así: (1) año 2016, alternativa con seis sistemas de alcantarillado independientes, (2) año 2047, alternativa con seis sistemas de alcantarillado independientes, (3) año 2047, alternativa con dos sistemas de alcantarillado independientes, y (4) año 2047, sistema de alcantarillado con dos plantas de tratamiento de agua residual doméstica y un emisario submarino. En los tres primeros las ARD se vierten a la bahía sin ningún tipo de tratamiento y en el cuarto se vierten después de tratamiento primario.

Los resultados muestran que las mayores concentraciones se presentan durante las bajamareas vivas y muertas. Los resultados de las simulaciones realizadas para los escenarios al año 2047 realizando descargas en seis o dos zonas distintas en los sectores de la zona sur de la isla Cascajal y en el estero San Antonio, indican que la permanencia de las aguas en estas zonas es prolongada y la pluma de contaminación se desplaza hacia el interior del estero, lo que representa un riesgo para la población asentada en sus alrededores, las actividades productivas, comerciales e industriales y para la preservación de los ecosistemas acuáticos.

En el escenario 4 se evaluó el desplazamiento de las partículas por medio del módulo Lagrangiano de MOHID, el cual indica que existe una corriente residual neta en dirección hacia afuera de la Bahía; no obstante, alguna fracción del vertimiento realizado a través del emisario submarino se desplaza hacia el sector de la isla Cascajal, afectando la calidad del agua en este sector, por lo cual se recomienda investigar la alternativa de llevar el emisario hasta afuera de la bahía.

3. Síntesis del proyecto:

3.1 INTRODUCCIÓN

La bahía de Buenaventura es una zona estratégica para la economía del país puesto que en ella se encuentra el principal puerto sobre el Pacífico Colombiano, además de otros terminales marítimos y el principal núcleo urbano del municipio de Buenaventura. Las características propias de la Bahía la clasifican como un sistema estuarino, con una morfodinámica compleja, donde interactúan las mareas, las descargas de aguas continentales, los vientos, el oleaje, etc.; como consecuencia de esto, su hidrodinámica y los procesos del transporte de sedimentos y de las diferentes sustancias contaminantes que llegan a la Bahía a través de ríos, esteros, vertimientos de agua residual doméstica (ARD), agrícola e industrial, se torna más caótica (CVC-INVEMAR, 2015). La alteración del medio natural debido a estas fuentes contaminantes afecta severamente la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua, poniendo en riesgo el equilibrio biológico de los ecosistemas acuáticos, la salud humana y las actividades socioeconómicas que se desarrollan alrededor de las áreas costeras.

Un parámetro muy importante en los estudios de calidad del agua es la concentración de sólidos suspendidos totales (SST). Estos generan problemas durante los procesos de eutrofización debido a la influencia sobre la penetración de la luz y la disponibilidad de

nutrientes, afectando la producción primaria y con ello la vida acuática en general; además, pueden tener una relación directa con sustancias químicas disueltas en el agua y los procesos de adsorción-desorción, puesto que actúan como portadores de metales pesados, pesticidas y otros tóxicos de importancia ecológica y sanitaria, que pueden sedimentarse por largos periodos antes de ser resuspendidos a la columna de agua o ser transportados grandes distancias (Zhen-Gang, 2008).

Una estrategia relevante en la prevención del deterioro y contaminación de los ecosistemas acuáticos es el establecimiento de unos objetivos de calidad de agua, teniendo en cuenta tanto las cantidades de contaminantes vertidos como su comportamiento posterior en el medio acuático. Se hace necesario, entonces, determinar la evolución espacial y temporal de las concentraciones de los diferentes contaminantes y parámetros fisicoquímicos del agua y cómo pueden interferir con el resto de las sustancias presentes en el medio (Monerris & Domenech, 1997). Con este propósito la modelación matemática de los SST se convierte en una herramienta útil para describir y predecir la evolución espacio-temporal de la contaminación en los ecosistemas marinos y costeros. El presente estudio tuvo por objeto describir los procesos de transporte de los sólidos suspendidos totales, considerando diferentes escenarios y condiciones hidrodinámicas en la bahía de Buenaventura mediante la implementación del modelo matemático hidrodinámico MOHID.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo General

Estudiar los procesos de transporte (advección y dispersión) de los sólidos suspendidos totales en la bahía interna de Buenaventura.

3.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la hidrodinámica de la bahía de Buenaventura.
- Implementar un modelo numérico hidrodinámico y de calidad de agua de la bahía de Buenaventura.
- Implementar un módulo de trazadores lagrangianos en la bahía de Buenaventura.
- Establecer, simular y estudiar diversos escenarios de modelación de los sólidos suspendidos totales en la bahía de Buenaventura, considerando diferentes sitios de vertimientos, proyecciones de población y condiciones mareales.

3.3 METODOLOGÍA

La metodología se desarrolló en seis fases, así: (i) revisión bibliográfica y recolección de información disponible en entidades públicas y privadas con experiencia en investigación y estudios en la zona del proyecto; (ii) caracterización hidrodinámica y geomorfológica de la bahía de Buenaventura con base en la información obtenida inicialmente (la cual fue organizada, sintetizada y digitalizada); (iii) diseño y ejecución de un muestreo de campo para realizar la toma de muestras para medir las concentraciones de sólidos suspendidos totales en nueve (9) sitios de la Bahía; (iv) implementación del modelo matemático hidrosedimentológico con base en la información primaria y secundaria recolectada, en la cual se realizó la selección del modelo, la esquematización de la Bahía, la construcción de la malla computacional, el

establecimiento de las condiciones iniciales y de frontera, el análisis de sensibilidad y la calibración y validación del modelo; (v) planteamiento y modelación de los escenarios de calidad de agua considerando diferentes condiciones oceanográficas, aportes de tributarios y descargas de agua residual; y, (vi) análisis de los resultados obtenidos.

3.4 RESULTADOS

Los resultados de la investigación muestran que las mayores concentraciones se presentan en los instantes de las bajamares vivas y muertas, siendo el instante de bajamar viva el más crítico debido a los menores volúmenes de agua presentes en la Bahía. En el análisis espacial se aprecia claramente que las descargas de los ríos Dagua y Anchicayá incrementan de manera importante las concentraciones de SST en toda la zona sur de la Bahía, incluyendo el sector del canal de navegación, las zonas de confluencia de estos ríos, el sector suroccidental de la isla Cascajal (especialmente el río Dagua puesto que descarga directamente en este sector) y el estero San Antonio.

Se observa una mayor tendencia a la acumulación de sólidos suspendidos en la zona sur de la Bahía y los alrededores de la isla Cascajal debido a la influencia mareal y a las descargas provenientes de ríos y esteros, especialmente los ríos Dagua y Anchicayá y el estero San Antonio. Luego de transcurridos 10 días, la influencia mareal y las corrientes residuales asociadas resultaron determinantes para la remoción gradual de los sólidos suspendidos presentes en la desembocadura del río Anchicayá y en el sector del canal de navegación hacia la bahía exterior. Sin embargo, al finalizar el ciclo cuasi-quincenal de mareas vivas-mareas muertas, al interior de la bahía de Buenaventura se observan elevadas concentraciones de sedimentos en suspensión, las cuales superan los 60 mg/L la mayor parte del tiempo y se presentan especialmente en los sectores de la isla Cascajal, isla Cangrejo, deltas de los ríos Dagua y Anchicayá, el estero San Antonio y el canal de navegación.

Las concentraciones máximas obtenidas durante la modelación de los escenarios de calidad de agua se alcanzaron en el sector de Piñal Norte (162 mg/L), Canal-3 (46 mg/L) y Punta Soldado (55 mg/L). Lo anterior hace referencia al escenario 3 evaluado en la investigación, en el cual se modelaron dos vertimientos de agua residual doméstica proveniente del distrito de Buenaventura que descargan al sur de la isla Cascajal y en el estero San Antonio (ver Figura 1).

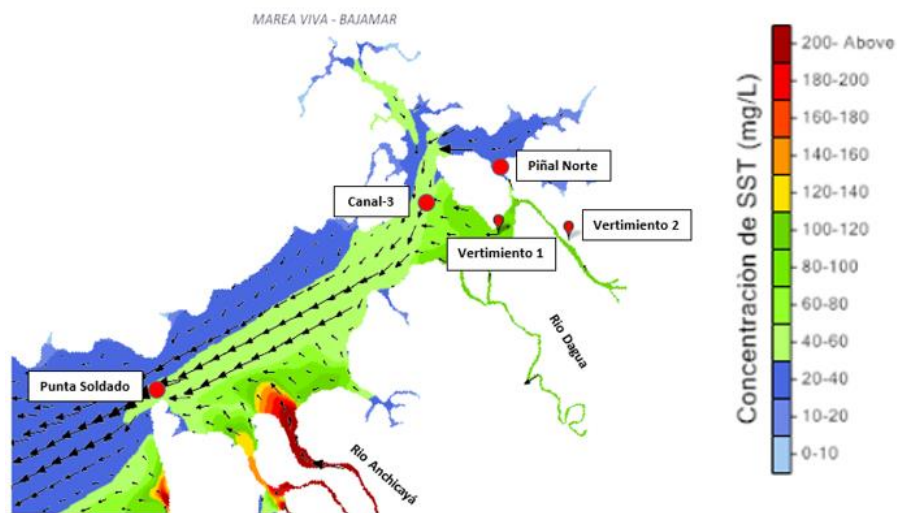


Figura 1. Variación espacial de las concentraciones de los SST en la bahía interior de Buenaventura (Escenario 3 consistente de dos vertimientos de agua residual: en el estero San Antonio y al sur de la isla Cascajal – año 2047)

Las simulaciones de los escenarios planteados mostraron que agrupar los numerosos vertimientos del municipio de Buenaventura en colectores principales, si bien disminuye el riesgo por contacto directo con el agua residual doméstica, también concentra la contaminación sobre los puntos de vertimiento en la Bahía y el estero San Antonio. Por tanto, las soluciones que se planteen deben ser evaluadas de forma integral con el fin de que estas contribuyan al mejoramiento de las condiciones de saneamiento ambiental en la Bahía y generen beneficios a la comunidad y al ecosistema en su conjunto.

Los resultados obtenidos de la implementación del módulo Lagrangiano en esta investigación y los estudios realizados en la zona de estudio por otros autores (Giraldo, 2017; Moreno & Perdomo 2017) indican que para una condición promedio de rango de mareas vivas, los vertimientos que sean realizados en el sector sur de la isla Cangrejo o en cercanías de la isla Cascajal, permanecerán hasta 90 días en la bahía interior, transportándose de acuerdo con las corrientes predominantes y siendo atrapadas en algunas zonas muertas y sectores de remolino existentes, especialmente en aquellos sectores donde las magnitudes de las velocidades son medias (0.63 m/s) y las profundidades son bajas, como la zona sur de la isla Cascajal. Asimismo, estudios realizados de las corrientes residuales lagrangianas en la Bahía, indican una dirección ligeramente dominante hacia el exterior de la Bahía; lo anterior es consecuente con lo representado en la modelación de la descarga del emisario submarino proyectado para Buenaventura, donde puede observarse una tendencia de las partículas de ser arrastradas por las corrientes de reflujo predominantes hacia el exterior de la Bahía (ver Figura 2). Sin embargo, es preciso indicar que el desplazamiento neto de las partículas no es solo función de las corrientes residuales eulerianas o de la dirección preponderante de los vectores de velocidad, pues también ocurren en la Bahía fenómenos de transporte aleatorios relacionados con la turbulencia del flujo y con el comportamiento individual de las partículas que determinan la posición final del sedimento.

3.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- F-04-MP-06-02-02
V-03-2016

- Se deben efectuar campañas periódicas de mediciones continuas y simultáneas en diferentes sitios de la Bahía, al menos durante un ciclo cuasi-quincenal de mareas vivas – mareas muertas, que incluyan diferentes parámetros, tales como, velocidad del agua a diferentes profundidades en la columna de agua, niveles de marea, concentración de sólidos suspendidos totales (a diferentes profundidades en la columna de agua y no sólo en superficie como se efectúa actualmente), salinidad, coliformes termotolerantes, etc. Se recomienda priorizar aquellos sectores que en este estudio han sido identificados como zonas críticas de contaminación por SST (alrededores de la isla Cascajal, estero San Antonio, canal de navegación y deltas de los ríos Dagua y Anchicayá).
- Se recomienda que la descarga del emisario submarino, proyectado por las entidades ambientales y sanitarias para verter al interior de la Bahía, sea reconsiderada y se evalúe rigurosamente su descarga final directamente en la bahía exterior (mar afuera).

4. Impactos actual o potencial:

El estudio realizado se constituye en una contribución al mejoramiento del conocimiento actual y comprensión de los procesos hidrodinámicos y sedimentológicos en la bahía de Buenaventura. Los resultados obtenidos en el estudio, se espera, sirvan de insumo para la formulación e implementación de los Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, los Planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado, la determinación de los Objetivos de Calidad de las aguas en la bahía de Buenaventura, la construcción y mantenimiento de los terminales marítimos y la evaluación y reformulación de las directrices en cuanto a usos actuales y futuros del agua de la Bahía.

Adicionalmente, el desarrollo de la herramienta de modelación puede llegar a ser de gran relevancia para la implementación de este software en el sector privado y entidades públicas, potencializándose su uso en diversas aplicaciones, más allá de los fines académicos para los cuales fue desarrollado en el marco de este proyecto.

Por otro lado, este estudio permitió realizar importantes aportes al ámbito académico e investigativo. En primera instancia, contribuyó a la formación y desarrollo profesional de varios estudiantes de pregrado de los programas de Ingeniería Agrícola, Ingeniería Civil e Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Adicionalmente, en el marco de este proyecto se desarrolló una tesis de pregrado, la cual fue sustentada y aprobada en el mes de septiembre del año en curso. Gracias a esta investigación también se generaron insumos para el enriquecimiento del programa de un curso electivo (Ingeniería de Costas), ofrecido en la Facultad de Ingeniería.

5. Productos:

Tabla No. 1. Cantidad y tipo de productos pactados en el Acta de Trabajo y Compromiso y productos finalmente presentados

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS				No. de PRODUCTOS PRESENTADOS			
Productos de nuevos conocimientos								
Artículo en revista ISI-SCOPUS:	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Artículo completo publicado en revistas indexadas	A1	A2	B	C	A1	A2	B	C
			1				1	
Libros de autor que publiquen resultados de investigación	Ninguno				Un informe final de investigación con los resultados del proyecto.			
Capítulos en libros que publican resultados de investigación								
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados								
☐ Prototipos y patentes								
☐ Software								
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial								
Normas basadas en resultados de investigación								
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados		No. de tesis		No. de estudiantes Vinculados		No. de tesis	
Estudiantes de pregrado	0		0		1			
Semillero de Investigación								
Estudiantes de maestría								
Estudiantes de doctorado								
Joven investigador								
Productos de divulgación								

Publicaciones en revistas no indexadas				
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
	1	0	1	0
Propuesta de investigación				
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.				

Para cada uno de los productos obtenidos y relacionados en la tabla anterior, indique la información solicitada para cada uno, anexando copia de las respectivas constancias. Como anexo a este formato encontrará el instructivo para la revisión de informes finales y productos.

Tabla No. 2. Detalle de productos

Tipo de producto:	Informe de Investigación
Nombre General:	No aplica
Nombre Particular:	Estudio de los Procesos de Transporte (Advección y Dispersión) de los sólidos suspendidos totales en la bahía interna de Buenaventura.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, 22 de octubre de 2018
Participantes:	Carlos Alberto Ramírez Callejas, José Luis García Vélez, Jennifer Paola Barbosa Hurtado, Claudia Patricia Giraldo Idárraga
Sitio de información:	Grupo de Investigación HIDROMAR, Vicerrectoría de Investigaciones.
Formas organizativas:	Grupo HIDROMAR

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	En evaluación. Revista Ingeniería e Investigación, Universidad Nacional de Colombia.
Nombre Particular:	Estudio de la contaminación por sólidos suspendidos totales en la bahía de Buenaventura.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali, octubre de 2018
Participantes:	Carlos Alberto Ramírez Callejas, José Luis García Vélez, Jennifer Paola Barbosa Hurtado, Claudia Patricia Giraldo Idárraga.
Sitio de información:	Revista Ingeniería e Investigación.
Formas organizativas:	Grupo HIDROMAR

Tipo de producto:	Ponencia - Memorias
Nombre General:	Modelación de la dinámica de los sólidos suspendidos totales en la bahía interna de Buenaventura. XXIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Sociedad Colombiana de Ingenieros.
Nombre Particular:	Modelación de la dinámica de los sólidos suspendidos totales en la bahía interna de Buenaventura.
Ciudad y fechas:	Ibagué, agosto 16 de 2018
Participantes:	Jennifer Paola Barbosa Hurtado, Claudia Patricia Giraldo Idárraga, .Carlos Alberto Ramírez Callejas, José Luis García Vélez,
Sitio de información:	Página web de la Sociedad Colombiana de Ingenieros: http://sci.org.co/sci/media/file/articulos_SNHH/4_HF/Art25.pdf
Formas organizativas:	Grupo HIDROMAR

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones