ADAPTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA EVALUAR LOS RIESGOS POTENCIALES ASOCIADOS A LA CONTAMINACIÓN POR VERTIMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS SOBRE EL RECURSO HÍDRICO MARINO Y COSTERO EN EL MUNICIPIO DE SAN ANTERO, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

PRESENTADO POR:

ROBERTO ARREGOCES GARCÉS
Estudiante de ingeniería Ambiental y Sanitaria
Código: 2016117010

PRESENTADO A:

ING. MARIO ESTEBAN MEJÍA VIVES
Tutor de prácticas profesionales

ING. LIZBETH JANET VIVAS AGUAS
Jefe inmediato empresa

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

SANTA MARTA D.T.C.H., MAGDALENA, COLOMBIA
2022

CONTENIDO

1 PRESENTACIÓN 5
2 OBJETIVOS Y FUNCIONES 6
2.1 OBJETIVO GENERAL 6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
2.3 FUNCIONES DEL PRACTICANTE EN LA ORGANIZACIÓN 6
3 JUSTIFICACIÓN 7
4 GENERALIDADES DE LA EMPRESA 8
4.1 INFORMACIÓN BÁSICA 8
4.1.1 Objetivos de la entidad 9
4.1.2 Ubicación de la entidad 10
4.1.3 Funciones de la entidad 11
4.2 RESEÑA HISTÓRICA 12
4.3 PLANEACIÓN ESTRATÉGICA 13
4.3.1 Misión 13
4.3.2 Visión 13
4.3.3 Organigrama 14
4.3.4 Mapa de procesos 15
4.4 PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN 16
4.4.1 Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM) 16
4.4.2 Geociencias Marinas (GEO) 16
4.4.3 Valoración y Aprovechamiento de los Recursos Marinos (VAR) 17
4.4.4 Calidad Ambiental Marina (CAM) 17
4.4.5 Líneas de investigación 18
5 SITUACIÓN ACTUAL 19
5.1.1 Identificación de la problemática 19
5.1.2 Situación actual de la problemática 20
5.1.3 Magnitud del problema 21
6 BASES TEÓRICAS RELACIONADAS 22
7 DESARROLLO DE ACTIVIDADES 23
8 ACTIVIDADES TÉCNICAS SOBRE EVALUACIÓN DE IMPACTOS, RIESGO E INDICADORES AMBIENTALES 23
8.1 REVISIÓN BIBLIOGRAFÍCA 23

8.2 ESTRUCTURACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EVALUAR RIESGOS, VULNERABILIDAD E IMPACTOS 23
8.2.1 Organización y ejecución de la salida de reconocimiento del área de estudio 23
8.2.2 Salida de reconocimiento del municipio de San Antero Córdoba 24
8.2.3 Organización y ejecución del plan de trabajo de la segunda salida de campo, taller con la comunidad y encuestas de participación social 26
8.3 ESPACIOS DE PARTICIPACIÓN Y TRASFERENCIA DE CONOCIMIENTOS . 29
9 DESARROLLO DEL PROYECTO DE PASANTÍA DE INVESTIGACIÓN 30
9.1 INTRODUCCIÓN 30
9.2 ALCANCE 31
9.2.1 Pregunta de investigación 31
9.2.2 Objetivo General 31
9.2.3 Objetivos Específicos 31
9.3 METODOLOGÍA 32
9.3.1 Área de estudio 32
9.3.2 Identificación metodologías de riesgo 33
9.3.3 Definición de variables, indicadores, criterios y ecuaciones 34
9.3.4 Propuesta metodologíca para evaluar los riesgos potenciales asociados a la contaminación por vertimientos de aguas residuales 37
9.4 RESULTADOS 38
9.4.1 Metodologías de riesgo identificadas 38
9.4.2 Variables, indicadores y criterios definidos 40
9.4.3 Propuesta metodologíca para evaluar los riesgos potenciales asociados a la contaminación por vertimientos de aguas residuales 42
10 CONCLUSIONES 44
11 BIBLIOGRAFÍA 45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sede principal del INVEMAR 8
Figura 2. Ubicación INVEMAR. Fuente: Google Earth y elaboración propia 10
Figura 3. Organigrama del INVEMAR. Tomado de www.invemar.org.co 14
Figura 4. Mapa de procesos. Tomado de www.invemar.org.co/sistema-intregrado-de-gestion 15
Figura 5. Programa BEM. Tomado de www.invemar.org.co 16
Figura 6. Programa GEO. Tomado de www.invemar.org.co 16
Figura 7. Programa VAR. Tomado de www.invemar.org.co 17
Figura 8. Programa CAM. Tomado de www.invemar.org.co 17
Figura 9. Mesas de discusión de metodologías sobre evaluación de riesgos. 23
Figura 10. Reconocimiento del STARD (17 de mayo/2022) 24
Figura 11. Realización de la reunión de socialización con la comunidad (18 de mayo/2022) 25
Figura 12. Recorridos de arroyos y aplicación de encuestas (19-20 de mayo/2022) 25
Figura 13. Segunda mesa de discusión para el taller de participación comunitaria 26
Figura 14. Organización de espacios con los insumos previamente adquiridos para el taller en el CREM de San Antero (28-29 de junio/2022) 27
Figura 15. Resultados de la evaluación de impactos según la percepción de la comunidad (28-29 de junio/2022) 27
Figura 16. Identificación de cuerpos de agua, línea de tiempo y evaluación de la amenaza y vulnerabilidad (28-29 de junio/2022) 27
Figura 17. Aplicación de encuesta en las zonas de alcantarillado y marino costera (29-30 de junio/2022) 28
Figura 18. Entrenamiento para el uso de GPS para la salida de campo en San Antero, Córdoba .. 28
Figura 19. Apoyo tomas de muestras en el Parque Tayrona y la Boya 2 de la Marina de Santa Marta 28
Figura 20. Participación del taller TOXICROP (Del 15 al 18 de marzo/2022) 29
Figura 21. Participación del taller Alfabetización Oceánica (4 de mayo/2022) 29
Figura 22. Mapa de la zona de aplicación del proyecto. Elaborado por Andrea Beltrán LABSIS 32
Figura 23. Metodología PRISMA aplicada para la identificación de metodologías asociadas a los riesgos potenciales. Elaboración propia adaptado de Moher et al, 2009 33
Figura 24. Interacciones del sistema socio-ecológico partiendo de suministro de servicios por el sistema ecológico y la demanda de servicios por el sistema social, sumado a las amenazas derivadas de las acciones humanas. 39
Figura 25. Relación amenaza por vertimientos de ARD-vulnerabilidades-capacidad adaptativa, impacto-riesgo-medidas de prevención y protección. 39

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Generales del INVEMAR. Fuente: Elaboración propia tomado de la página del INVEMAR 8
Tabla 2. Coordenadas, instalaciones y área total, sede principal 10
Tabla 3. Documentos revisados para adaptar metodología a San Antero 38
Tabla 4. Variables para analizar la amenaza del vertimiento de agua residuales. 40
Tabla 5. Variables para analizar la vulnerabilidad 40
Tabla 6. Asignación de peso o valor de importancia 41
Tabla 7. Rangos de valoración de la amenaza 42
Tabla 8. Rangos de valoración de la vulnerabilidad 43

1 PRESENTACIÓN

El presente informe corresponde al desarrollo de prácticas profesionales como opción de grado, realizadas en el Instituto de Investigación Marinas y Costeras "José Benito de Andréis" – INVEMAR, durante un tiempo de 6 meses, comprendiendo un periodo entre el 7 de marzo al 31 de agosto de 2022, con funciones de practicante de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, apoyando en el programa de Calidad Ambiental Marina – CAM, Línea de Investigación, prevención y Protección de Ecosistemas Marinos y Costeros – PEM, sede Santa Marta, Magdalena.

Las prácticas profesionales, tuvieron como meta apoyar las actividades técnicas sobre evaluación de impactos, riesgo e indicadores ambientales de los proyectos de la línea PEM, ejecutados de manera oportuna, con la calidad requerida y el acercamiento y transferencia de conocimientos a las partes interesadas de los proyectos de la línea antes mencionada cumplidas con satisfacción. De lo anterior fue necesario realizar una serie de actividades que se desarrollaron en el periodo de las prácticas profesionales, en las que se pueden mencionar, el apoyo a la organización y ejecución de salida de campo, recopilación de datos e información sobre la temática comprendida en dicha meta y dar soporte en la elaboración de informes técnicos de los proyectos en ejecución.

Este estudio se realizó en el marco del proyecto "evaluación de la calidad ambiental de los cuerpos de agua y el manglar receptores de los vertimientos de agua residual domésticas en el municipio de San Antero, departamento de Córdoba" el cual fue financiado por Gef Crew + y ejecutado por la Sociedad Alemana de Cooperación Internacional GIZ; donde se pudo adaptar una metodología para evaluar los riesgos potenciales asociados a la amenaza por vertimientos de agua residual doméstica, el cual será un insumo al momento de importancia local y nacional.

2 OBJETIVOS Y FUNCIONES

2.1 OBJETIVO GENERAL

Adaptación de una metodología para evaluar los riesgos potenciales asociados a la contaminación por vertimientos de aguas residuales sobre el recurso hídrico marino y costero en el municipio de San Antero, departamento de Córdoba.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Identificar metodologías teóricas para la evaluación de impactos y riesgos que se adaptan a la zona de estudio.

- ✓ Analizar datos e información para la valoración de riesgo e asociados a la contaminación por vertimientos de aguas residuales

2.3 FUNCIONES DEL PRACTICANTE EN LA ORGANIZACIÓN

- ✓ Apoyo en las actividades técnicas de la Línea de Investigación, Prevención y Protección de Ecosistemas Marinos y Costeros – PEM del programa de Calidad Ambiental Marina –CAM, relacionadas con recopilación de datos y análisis de información sobre evaluación de impactos, riesgo e indicadores ambientales.
- ✓ Apoyar la organización y ejecución de las salidas de campo de los proyectos en ejecución.
- ✓ Recopilar datos e información sobre las temáticas de impactos, riesgos e indicadores de los proyectos en ejecución.
- ✓ Analizar datos e información obtenida de impactos y riesgos de los proyectos en ejecución.
- ✓ Organizar y ejecutar talleres y reuniones de los proyectos en ejecución.
- ✓ Apoyo en las actividades de acercamiento y trasferencia de conocimientos a las partes interesadas en los proyectos de la Línea de Prevención y Protección de Ecosistemas Marinos y Costeros.

3 JUSTIFICACIÓN

La investigación acerca de la adaptación de una metodología para evaluar los riesgos potenciales asociados a la contaminación por vertimiento de aguas residuales domesticas sobre el recurso hídrico marino y costero en el municipio de San Antero, departamento de Córdoba nos permitirá ampliar el conocimiento acerca de la problemática que actualmente enfrenta los ecosistemas costeros en función a los vertimientos de agua residuales y así mismo los posibles riesgos potenciales que surgen por esta actividad.

Los tratamientos de las aguas residuales en muchos de los casos se quedan cortos, es decir, no suelen ser suficientes al momento de remover todo tipo de desechos que estas contienen; por consiguiente, es de suma importancia identificar esos riesgos potenciales y así poder proponer estrategias que lleven a la erradicación del origen de este problema.

Los cuerpos marinos, por lo general, son contaminado por las descargas de agua residuales sin ningún tipo de tratamiento, se trata de una acción que no esta medida por ningún tipo de consideración sobre las posibles consecuencias derivadas de esta práctica; esto pasa mucho en Colombia, en las grandes ciudades costeras es evidente el incumplimiento de la legislación planteada por las distintas autoridades ambientales existentes en el país. La Resolución 1433 del 2004 creada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; estipula los Planes de Saneamiento y Manejos de Vertimientos –PSMV. La Resolución 883 de 2018 “Por la cual se establecen los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos de agua residual domestica puntuales a cuerpos de aguas marinas”, complementa la reglamentación vigente para el control de la contaminación hídrica establecida en el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible 1076 del 2015; la norma forma parte de la estrategia para la prevención y control de la contaminación de agua costeras y marinas por fuentes puntuales; también evitar las afectaciones de la calidad ambiental y propender por la protección de los ecosistemas presentes en los espacios marinos y costeros de nuestro país.

Adaptar una metodología para evaluar los riesgos potenciales asociados a la contaminación por vertimientos en el recurso hídrico marino será un insumo de mucha importancia, puesto que va contemplar el paso a paso de que a partir de una amenaza con una probabilidad de ocurrencia se determine los riesgos potenciales a su vez, permitirá crear consciencia para el cuidado de nuestros ecosistemas marinos costeros y ayudará a plantear estrategias que encaminen a la mitigación de los impactos ambientales producidos.

4 GENERALIDADES DE LA EMPRESA

4.1 INFORMACIÓN BÁSICA

El Instituto de Investigación Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andréis" INVEMAR es una Corporación civil sin ánimo de lucro, de carácter público, vinculada al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenibles de Colombia - Minambiente, que se rige por las normas del decreto privado de acuerdo con los lineamientos establecidos por la ley 99 de 1993 artículos 18 y los decretos 1276 de 1994 y 1076 del 2015. (INVEMAR, 2005)

Tabla 1. Generales del INVEMAR. Fuente: Elaboración propia tomado de la página del INVEMAR

Nombre de la entidad	**Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andréis" - INVEMAR**
Nit	800250062-0
Dirección	Calle 25 No. 2-55 Playa Salguero
Ciudad	Santa Marta D.T.C.H., Magdalena
País	Colombia
Representante legal	Francisco Armando Arias Isaza
Teléfono/Fax	+57 +60 (5) 4328200 / +57 +60 (5)4328694

Figura 1. Sede principal del INVEMAR

4.1.1 Objetivos de la entidad

- ✓ Dar apoyo científico y técnico al Sistema Nacional Ambiental (SINA), en los aspectos de competencia del INVEMAR.

- ✓ Realizar investigación básica y aplicada de los recursos naturales renovables, el medio ambiente y los ecosistemas costeros y oceánicos, con énfasis en la investigación de aquellos sistemas con mayor diversidad y productividad como lagunas costeras, manglares, praderas de fanerógamas, arrecifes rocosos y coralinos, zonas de surgencia y fondos sedimentarios.

- ✓ Emitir conceptos técnicos sobre la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos marinos y costeros.

- ✓ Colaborar con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de acuerdo con sus pautas y directrices, en la promoción, creación y coordinación de una red de centros de investigación marina, en la que participen las entidades que desarrollen actividades de investigación en los litorales y los mares colombianos, propendiendo por el aprovechamiento racional de la capacidad científica de que dispone el país en ese campo.

- ✓ Cumplir con los objetivos que se establezcan para el Sistema de Investigación Ambiental en el área de su competencia.

- ✓ Los demás que le otorgue la ley y le fije el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

4.1.2 Ubicación de la entidad

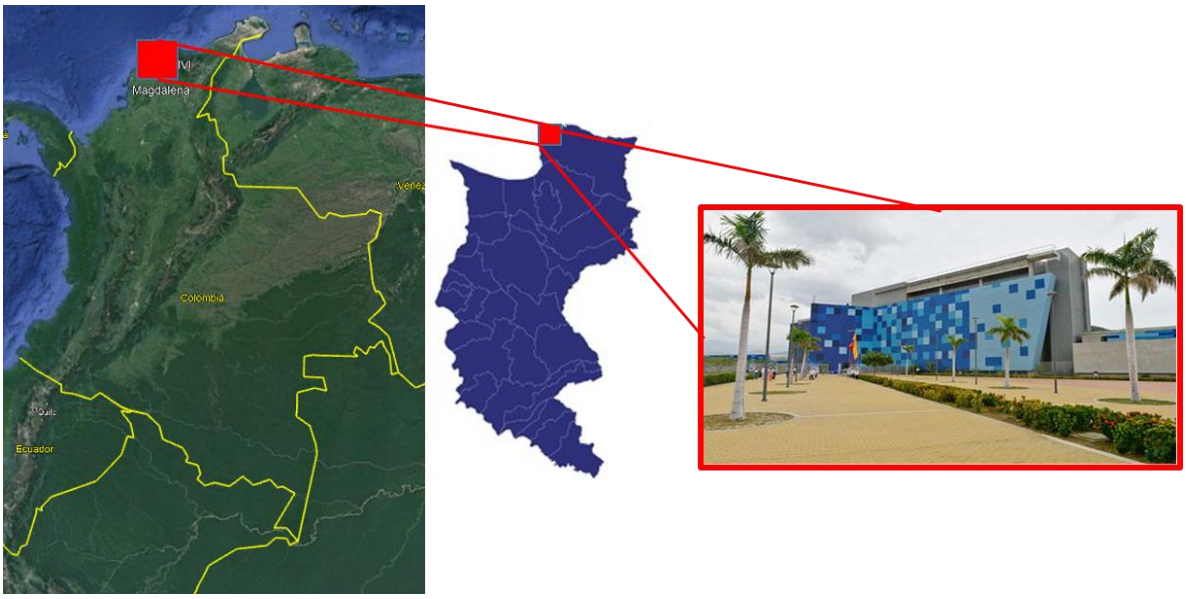

Figura 2. Ubicación INVEMAR. Fuente: Google Earth y elaboración propia

El Instituto de Investigación Marina y Costera “José Benito de Andréis” tiene tres sedes a nivel nacional. La sede principal está en la ciudad de Santa Marta D.T.C.H., Magdalena, específicamente en la Calle 25 No. 2-55, Playa Salguero. Las otras dos sedes se encuentran en los departamentos de Córdoba y Pacifico colombiano.

Tabla 2. Coordenadas, instalaciones y área total, sede principal

SEDE PRINCIPAL INVEMAR	
Coordenadas	11°11’18” N - 74°13’50” W
Instalaciones	Oficinas, laboratorios, auditorios, parqueaderos, bodegas, comedor y talleres
Otros espacios	Zonas verdes
Área total	48.585 metros cuadrados

4.1.3 Funciones de la entidad

- ✓ Obtener, almacenar, analizar, estudiar, procesar, suministrar, coordinar y divulgar información básica sobre oceanografía, ecosistemas marinos, sus recursos y sus procesos para el conocimiento, manejo y aprovechamiento de los recursos marinos.

- ✓ Efectuar el seguimiento de los recursos marinos de la Nación especialmente en lo referente a su extinción, contaminación y degradación, para la toma de decisiones de las autoridades ambientales.

- ✓ Realizar estudios e investigaciones, junto con otras entidades, relacionados con la fijación de parámetros sobre emisiones contaminantes, vertimientos y demás factores de deterioro ambiental que puedan afectar el medio ambiente marino, costero e insular o sus recursos naturales renovables.

- ✓ Desarrollar actividades de coordinación con los demás institutos científicos vinculados al Ministerio del Medio Ambiente y apoyar al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, en el manejo de la información necesaria para el establecimiento de políticas, planes, programas y proyectos, así como de indicadores y modelos predictivos sobre el comportamiento de la naturaleza y sus procesos.

- ✓ Coordinar el Sistema de Información Ambiental en los aspectos marinos y costeros, de acuerdo con las prioridades, pautas y directrices que le fije el Ministerio del Medio Ambiente y suministrar oportunamente la información que éste, el IDEAM o las Corporaciones requieran y la que se determine como necesaria para la comunidad, las instituciones y el sector productivo.

- ✓ Colaborar con el Ministerio del Medio Ambiente, las Corporaciones Autónomas Regionales, las Corporaciones para el Desarrollo Sostenible y los Grandes Centros Urbanos, en la definición de las variables que deben ser contempladas en los estudios de impacto ambiental de los proyectos, obras o actividades que afecten al mar, las costas y sus recursos.

- ✓ Evaluar nuevas técnicas y tecnologías cuyo uso se pretenda implantar en el país, en cuanto a sus posibles impactos ambientales.

4.2 RESEÑA HISTÓRICA

Anteriormente, INVEMAR tenía oficinas en Punta Betín, en memoria del Ingeniero Militar Juan Betín, quien en 1693 construyó en la cima del cerro el Veladero, el Fuerte de Nuestra Señora de la Caridad. Sin embargo, debido a que no se consideró un lugar estratégico, se abandonó y se cambió por el Fuerte San Vicente, que se construyó en el extremo opuesto del cerro. En 1724, por orden del gobernador de la provincia de Santa Marta, se reconstruyó y amplió el fuerte, agregándole cuarteles y una torre de vigilancia. Además, dentro del fuerte tiene que haber suficientes víveres y mercancías para cubrir las necesidades más urgentes en caso de un asedio prolongado. El sitio recibió el nombre de Fuerte San Felipe.

Durante varios períodos de tiempo se perdió el registro histórico de este lugar. Aparentemente el fuerte fue abandonado a mediados del siglo XIX. A finales de los años 50 y principios de los 60 se construyó en este lugar, tomando como base la antigua fortaleza, una casa club con terrazas y salones de baile y otros menesteres más íntimos. Además, durante el mismo período se inició la urbanización de Rodadero, y el Hostal Punta del Betín perdió atractivo. Además, también perdió a su vecino más cercano, el popular barrio de Ancón, cuyos terrenos terminaron formando parte del puerto comercial de Santa Marta.

En el año 1967 y con el financiamiento de la Fundación Volkswagen, se lograron varios hitos importantes; adecuación de la infraestructura técnica de los laboratorios del Instituto, complementada con una casa de huéspedes para trece personas. Fue comprado por un médico español y ubicado en el suroeste de la península de Betín, lugar donde antes funcionaba un restaurante y ahora es la sede de la administración del Instituto. La adquisición del primer barco de observación, un cortador de camarones alemán construido en 1959 y traído desde el Mar del Norte en la cubierta de un carguero, se recibió en diciembre y se le dio el nombre de "Tortuga", - porque su motor había sido ajustado para que sólo se podía alcanzar una velocidad máxima de ocho nudos (14 km/h aproximadamente) para evitar el sobrecalentamiento. La “Tortuga” naufragó en aguas de la bahía de Santa Marta, tratando de ayudar a una lancha patrullera de la Policía. Sería reemplazada por una embarcación similar, la “Tortuga II”, que en un futuro sería entregada en donación al SENA de Cartagena y sería reemplazada en 1986 por la actual motonave: Ancón.

4.3 PLANEACIÓN ESTRATÉGICA

4.3.1 Misión

Realizar investigación científica básica y aplicada basada en recursos naturales renovables y ecosistemas marinos y costeros, que sea de interés nacional. El propósito es reunir los conocimientos científicos necesarios para formular políticas, tomar decisiones y elaborar planes y proyectos que nos ayuden en el desarrollo de; la gestión sostenible de los recursos, la recuperación de los ecosistemas marinos y costeros, y mejorar la calidad de vida de los colombianos mediante la implementación racional de la capacidad científica del Instituto y su articulación con otras entidades públicas y privadas.

4.3.2 Visión

Ser una institución científica de excelencia, reconocida a nivel nacional e internacional por su alta calidad y liderazgo en investigación científica básica y aplicada, y por su compromiso con el aprovechamiento sustentable de los recursos marinos y costeros. INVEMAR debe estar conformado por un grupo humano comprometido, altamente calificado y con valores éticos que contribuya al mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos.

4.3.3 Organigrama

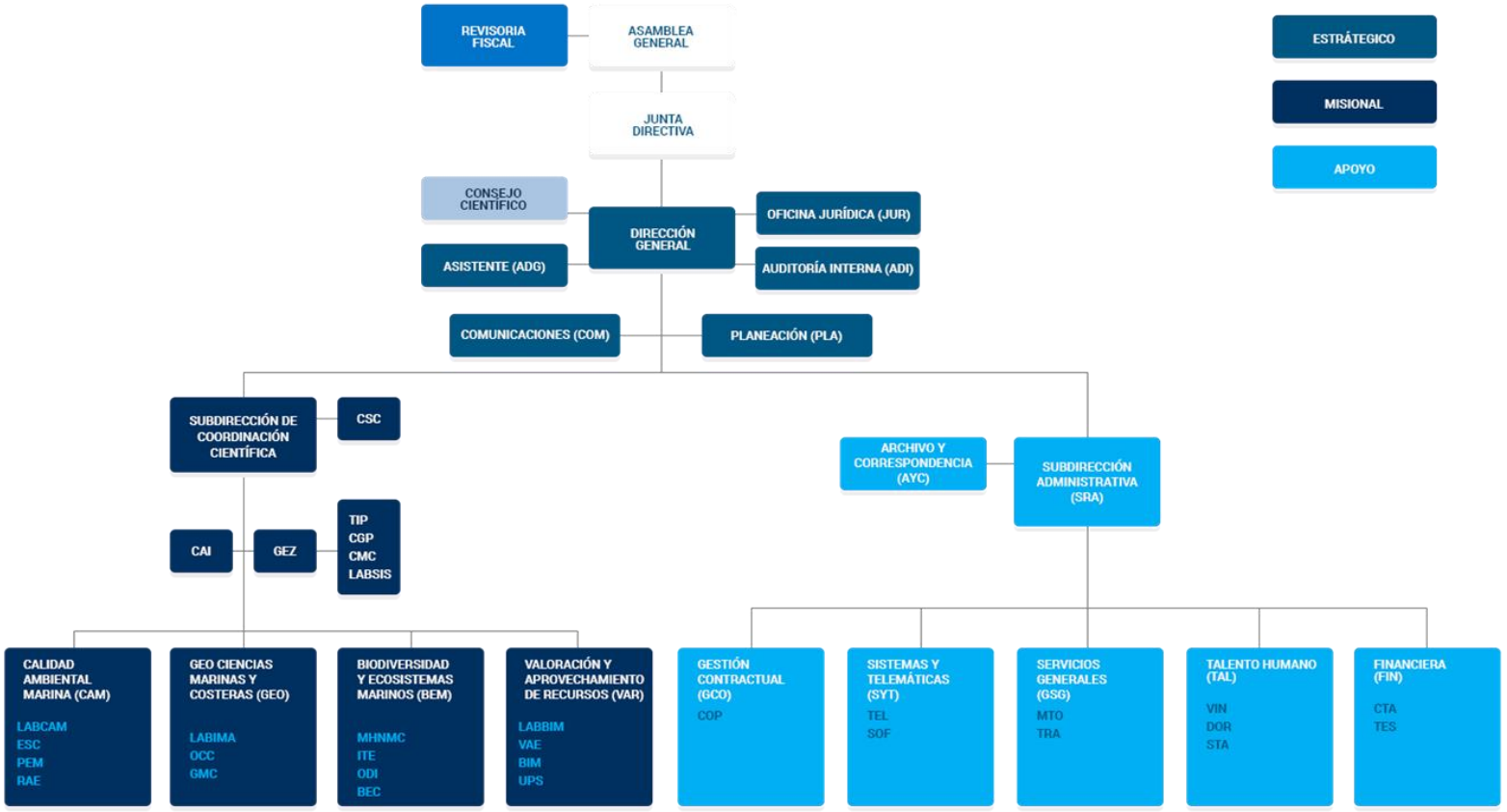

Figura 3. Organigrama del INVEMAR. Tomado de www.invemar.org.co

4.3.4 Mapa de procesos

Conscientes de la importancia de la aplicación de un sistema de procesos dentro del Instituto y el reconocimiento de la interdependencia que existe entre estos para el logro de los objetivos, el INVEMAR ha adoptado un enfoque basado en procesos para la gestión. La aplicación de este enfoque permite el control continuo sobre los vínculos entre los procesos, así como sus interacciones y enfatiza en la importancia de la comprensión y cumplimiento de los objetivos, la necesidad de considerar los procesos en términos que aporten valor y la obtención de resultados de desempeño, eficacia, eficiencia y efectividad, favoreciendo así la mejora continua y el aumento de la satisfacción del cliente.
Dentro del Sistema de Gestión el INVEMAR ha identificado procesos Gerenciales, Misionales, de Apoyo y de Evaluación, esta estructura se muestra a través del Mapa de Procesos (INVEMAR, 2022)**:**

Figura 4. Mapa de procesos. Tomado de www.invemar.org.co/sistema-intregrado-de-gestion

A partir del siguiente mapa de procesos (Imagen 8), INVEMAR lleva a cabo todo la síntesis e identificación del paso a paso dentro del instituto, con el fin de llegar al cumplimiento de los objetivos plasmados en cada proyecto u actividad.

4.4 PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN

4.4.1 Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)

Este programa de investigación es responsable del avance del inventario de la biodiversidad marina nacional, así como de la caracterización de la estructura y función de la biodiversidad en los diferentes niveles de organización biológica (desde los genes hasta los ecosistemas). Establece las bases técnicas para definir, medir y establecer estrategias para la conservación de especies amenazadas o vulnerables, así como de ecosistemas, identificando y analizando el riesgo potencial de las especies marinas invasoras como una amenaza para la salud de la biodiversidad del país.

Figura 5. Programa BEM. Tomado de www.invemar.org.co

4.4.2 Geociencias Marinas (GEO)

El programa tiene como objetivo estudiar las fuerzas físicas oceánicas para comprender las interrelaciones entre los ecosistemas y el medio ambiente marino. Oceanografía, climatología, vulnerabilidad costera, geoquímica, acidificación de los océanos, geomorfología entre otras áreas, enmarcan actividades de investigación con la comunidad. El desarrollo de la investigación básica y aplicada que realiza GEO con instrumentos de alta tecnología contribuye al conocimiento oportuno y eficaz de los mares y costas, así como a la gestión eficiente de sus recursos.

Figura 6. Programa GEO. Tomado de www.invemar.org.co

4.4.3 Valoración y Aprovechamiento de los Recursos Marinos (VAR)

Este programa evalúa el estado y valora el potencial biológico, económico y social de los recursos naturales marinos y costeros para su conservación y uso sostenible. Aplicando herramientas de análisis interdisciplinario, el programa genera investigación básica y aplicada para proponer sistemas de uso sostenible, desarrollar tecnologías de producción limpia y asesorar en la toma de decisiones y formulación de políticas para el desarrollo económico sostenible de la biodiversidad.

Figura 7. Programa VAR. Tomado de www.invemar.org.co

4.4.4 Calidad Ambiental Marina (CAM)

La misión, de este programa de investigación, es contribuir a la comprensión de las características ambientales y los impactos de los tensores naturales y antropogénicos en los ecosistemas marinos y costeros; identificar, evaluar y priorizar las causas, efectos y posibles acciones de prevención y mitigación sobre las tensiones que degradan o deterioran dichos ecosistemas y proponer acciones de rehabilitación o restauración en su caso. Para lograr la misión, el programa CAM genera conocimiento científico, realizando investigación básica y aplicada y definiendo lineamientos de seguimiento de problemas ambientales en áreas o ecosistemas estratégicos, con el fin de brindar información predictiva, servicios de asesoría y herramientas para la gestión ambiental sustentable de los ecosistemas costeros y marinos. del país.

Figura 8. Programa CAM. Tomado de www.invemar.org.co

4.4.5 Líneas de investigación

Evaluación y Monitoreo de la Calidad Ambiental – ESC: La Línea de Evaluación y Monitoreo de la Calidad Ambiental, evalúa espacial y temporalmente las características cualitativas y cuantitativas de los ecosistemas marinos y costeros para determinar su condición asociada a los impactos naturales y antrópicos, brindando información básica y aplicada indispensable para estructurar herramientas de gestión ambiental tomadas de los ecosistemas regionales y costeros. sistema nacional de vigilancia, evaluación de fuentes contaminantes y aplicación de indicadores de calidad ambiental.

Prevención y Protección de Ecosistemas Marinos y Costeros – PEM: La Línea de Prevención y Protección de Ecosistemas Marinos y Costeros (PEM), tiene como objetivo identificar y evaluar los posibles impactos de origen natural y antrópico sobre los ecosistemas marinos y costeros. En este contexto, la Línea establece estrategias para predecir y minimizar los efectos de los impactos, considerando el grado de vulnerabilidad de los ecosistemas.

Rehabilitación de Ecosistemas Marinos y Costeros – RAE: La Línea de Investigación en Rehabilitación de Ecosistemas Marino-Costeros (RAE) formula e implementa diversas estrategias para apoyar la recuperación en la calidad ambiental y los servicios ecosistémicos de áreas marinas y costeras que han sido degradadas o alteradas.

Laboratorio del programa CAM – LABCAM

El programa CAM cuenta con la Unidad de Laboratorio de Calidad Ambiental Marina, LABCAM donde se desarrollan diferentes procedimientos a través de diferentes áreas:

- ✓ Rehabilitación de ecosistemas marinos
- ✓ Área óptica
- ✓ zona de metales pesados
- ✓ Química Física
- ✓ Contaminantes orgánicos
- ✓ Microbiología
- ✓ Técnicas nucleares (Alfa, Beta y Gamma)
- ✓ Áreas comunes

5 SITUACIÓN ACTUAL

Colombia es un país con 1'137.814 km^2 de área continental, que cuenta aproximadamente con 3.531 km de costa sobre el océano Pacífico y el mar Caribe, que le otorgan otros 892.102 km^2 de aguas jurisdiccionales, según el mapa Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos (IDEAM et al., 2007).

La contaminación del agua en Colombia es uno de los cinco motores de transformación y pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos ya reconocidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Programa de la ONU para el Desarrollo, la cual constituye una amenaza que se origina por procesos naturales y tensores antropogénicos. (Minambiente y PNUD, 2014)

Los vertimientos de aguas residuales municipales se han convertido en uno de los problemas ambientales más críticos y crecientes, si consideramos que el incremento poblacional de la mayoría de los centros urbanos medianos y grandes es notable debido a la situación socioeconómica y de orden público del país. Esta situación se refleja en el aumento de las descargas de tipo doméstico y productivo, deteriorando cada vez más el estado de la calidad del recurso. La situación se hace más crítica cuando la corriente tiene un uso definido aguas abajo, pues se alteran las condiciones de calidad del agua requeridas para el abastecimiento de actividades específicas (doméstica, industrial, agrícola, pecuaria, etc.) y la vida acuática. (Ministerio de Medio Ambiente, 2002).

5.1.1 Identificación de la problemática

La descarga de aguas residuales domesticas sobre las corrientes de aguas superficiales naturales da lugar a una serie de impactos ambientales entre los cuales se destacan la disminución de la calidad del agua, la afectación de la vida acuática, el deterioro del paisaje y el riesgo para la salud humana. Estos impactos alcanzan ya una magnitud significativa en el municipio de San Antero, departamento de Córdoba, donde los vertimientos de aguas residuales domesticas son protagonistas, el municipio al carecer en su mayoría sistema de alcantarillado, las aguas son vertidas a los arroyos existentes, principalmente sobre el arroyo Cardales, lo anterior, imposibilitando los usos benéficos que puedan hacerse de estas fuentes, convirtiendo su saneamiento en un asunto de atención prioritaria.

Por lo anterior, se adaptó una metodología para evaluar los riesgos potenciales asociados a la contaminación por vertimientos de aguas residuales sobre el recurso hídrico marino y costero en el municipio de San Antero, departamento de Córdoba, teniendo en cuenta que en el municipio dispone de una riqueza de ecosistemas y

también, debido a la importancia de las distintas actividades que mantienen la economía de la zona, tales como la pesca, ganadería, agricultura, entre otras.

5.1.2 Situación actual de la problemática

Colombia ha centrado el ojo en este tema de los vertimientos debido a que ha aumentado significativamente en todo el país. El manejo de vertimientos está ligado a la obligación del Estado de garantizar un ambiente sano a todos los colombianos (Pérez *et al., 2007)*. Se tiene vigente una norma que regula los vertimientos de las aguas domesticas en el cuerpo marino, donde la idea es poder conservar su calidad.

En el municipio de San Antero se encuentra la bahía de Cispatá, esta constituye un estuario rico en bosques de manglar y ciénagas, cruzado por varios caños provenientes del rio Sinú; este estuario, brinda una serie de servicios importantes y mantienen el equilibrio de los procesos que allí se presentan (Rojas & Sierra-Correa, 2010), sin embargo, esa riqueza se está gastando progresivamente por la influencia antrópica y aunque existe una legislación que regule los vertimientos de agua domesticas sobre los cuerpos de agua marino-costeros y continentales (883 de 2018 y 0631 de 2015) y estrategias aplicables en pro de la disminución a estas acciones, aún siguen siendo un problema a nivel nacional.

Los principales receptores de las aguas residuales domesticas en San Antero son los arroyos que atraviesan todo el casco urbano y rural, tales como el arroyo Cardales, arroyo cuchilla, entre otros. Lo anterior es una consecuencia que surge por la deficiencia en el sistema de alcantarillado; según el Plan de Saneamiento y Manejo de vertimientos –PSMV de San Antero del 2020 – 2023 (Alcaldía San Antero, 2019), el municipio tiene una cobertura del 100% en la zona urbana, en la zona rural 78.4%, distribuidos en los corregimientos de Nuevo Agrado y El Porvenir. En materia de alcantarillado Pluvial se ha llegado a 45% de canalización de cursos de agua. el sistema de tratamiento que recoge toda el agua proveniente de las redes de alcantarillado no funciona de manera óptima, situación que se evidenció en campo, donde las infraestructuras estaban en mal estado y colmatadas, por ende, toda el agua residual que está entrando al sistema de tratamiento se va por el canal de rebose, llegando al arroyo Cardales sin ningún tratamiento. Todo lo anterior se encamina a que esos arroyos a los cuales llegan todas esas aguas residuales con y sin tratamiento desembocan en el cuerpo de agua marino, principalmente donde se encuentran los ecosistemas de manglar. Cabe resaltar que el arroyo Cardales es el principal cuerpo receptor del agua que se descarga por las lagunas estabilizadoras del municipio.

Toda esa situación antes planteada ha sido objeto de investigación para proponer nuevas estrategias que ayuden a minimizar esos riesgos que día a día se

potencializan más y a los cuales se exponen las personas del municipio de San Antero, trayendo consecuencias para el ambiente como para la misma vida humana.

5.1.3 Magnitud del problema

Según un informe de la defensoría del pueblo, San Antero pertenece al 79% de los municipios que no cuenta con el permiso de vertimientos de aguas residuales al río Sinú y señala también que la problemática por contaminación del río viene dada por las actividades agrícolas, disposición de residuos sólidos, las descargas directas de agua residual generada por la baja cobertura del servicio de alcantarillado en las zonas rurales y urbanas. (Defensoría, 2022).

Según un informe de auditoría a la empresa prestadora de los servicios de saneamiento básico, el municipio de San Antero tiene una prestación ineficiente de servicios públicos lo que conlleva a posibles afectaciones a la salud y el medio ambiente y por ende al no desarrollo del municipio. Los puntos de sistema de alcantarillado se encuentran colmatados, sistema de lagunas colapsado, presencia de espuma; todo lo anterior genera contaminación a los cuerpos de agua y proliferación de vectores. (Defensoría, 2019). En el municipio existen vertimientos puntuales que no son controlados, tales como; en las salidas directa de las Estaciones de Bombeo sobre el arroyo Cardales, los vertimientos que generan los habitantes del municipio que no están conectados al sistema de alcantarillado, salida del tanque Imhoff perteneciente al barrio Petare, que vierte sobre el arroyo Cardales, esto trayendo afectaciones negativas, que pueden verse en un corto tiempo; el hallazgo comprende el 40% puesto que, el impacto ambiental generar es un pasivo ambiental, afectando así a la población y a los ecosistemas del municipio. Los puntos focos de contaminación por vertimientos de agua residual deben tener un plan de manejo de vertimientos –PSMV. (CVS, 2019)

6 BASES TEÓRICAS RELACIONADAS

En el marco de mis prácticas profesionales, he aplicado fundamentos importantes adquiridos en el pregrado del programa Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Magdalena, el cual, aportaron significativamente a un desarrollo integral y exitoso, por ende, se resaltan las bases teóricas más fundamentales:

1. **Metodología de la investigación y seminario:** Teniendo en cuenta las actividades desarrolladas en el marco de mis prácticas profesionales, estas asignaturas me permitieron aplicar las bases teóricas en cuanto a investigación y obtención de información.

2. **Legislación ambiental:** Esta materia me permitió recordar y hacer uso de la legislación ambiental vigente en Colombia en cuanto a ecosistemas y protección de ellos.

3. **Estudio de evaluación ambiental:** Con las bases teóricas abordadas en esta asignatura en cuanto a selección, construcción y la aplicación de matrices, esta asignatura brinda conceptos claves e importantes para poder llevar a cabo mis prácticas profesionales.

4. **Procesos biológicos**: Esta asignatura brinda bases teóricas en cuanto a los tipos de muestreos que existen y a su vez me preparó en la temática de normativa por vertimientos de agua residuales domésticas.

5. **Plantas depuradoras de agua residual:** Las bases teóricas de esta materia me permitieron entender en mi tiempo de practicante las partes con las que cuenta un tratamiento primario y/o un sistema de tratamiento de agua residual doméstica.

6. **Residuos sólidos:** Las bases teóricas de esta materia me permitió proponer estrategias para la buena disposición de los residuos sólidos generados en el área de estudio.

7. **Sistema de gestión ambiental:** Dentro de la realización de un Sistema de Gestión Ambiental se tiene contemplado la preparación y respuesta ante emergencias, esto me permitió proponer en las distintas mesas de conversación, ideas para el tema de emergencias por los vertimientos e inundaciones.
8. **Educación ambiental:** Con las bases teóricas de esta materia pude sensibilizar a la comunidad en temas ambientales relacionado al buen uso y manejo del recurso hídrico.

7 DESARROLLO DE ACTIVIDADES

8 ACTIVIDADES TÉCNICAS SOBRE EVALUACIÓN DE IMPACTOS, RIESGO E INDICADORES AMBIENTALES

8.1 REVISIÓN BIBLIOGRAFÍCA

La revisión bibliográfica sobre las metodologías para valorar los posibles riesgos potenciales asociados a los vertimientos de agua residuales domesticas fue la base principal para el desarrollo técnico del proyecto, lo cual se utilizaron distintas bases de datos conocidas, tales como, Scopus, Science Direct, Google Scholar; donde se seleccionaron estudios con temática acerca de los vertimientos de agua residuales domesticas o en su defectos aquellas investigaciones que utilizaron una metodología para identificar y valorar posibles riesgos y así adaptarla al contexto del municipio de San Antero, Córdoba.

8.2 ESTRUCTURACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EVALUAR RIESGOS, VULNERABILIDAD E IMPACTOS.

Se realizaron mesas de discusión para la estructuración del paso a paso, correspondiente a la amenaza, vulnerabilidad e impacto. En este sentido, se revisó todos los resultados de las búsquedas con el fin de adaptarla al área de estudio en San Antero.

Figura 9. Mesas de discusión de metodologías sobre evaluación de riesgos.

8.2.1 Organización y ejecución de la salida de reconocimiento del área de estudio

Plan de trabajo: Se apoyó la elaboración del plan de trabajo detallado de las actividades que se realizaron en la primera salida de campo en San Antero, teniendo en cuenta tareas, responsables y cronograma de las diferentes temáticas de calidad de aguas, sedimentos, manglares, fuentes de contaminación con la finalidad de avanzar en el cumplimiento de los objetivos y metas a alcanzar por el proyecto GEF CREW +.

Taller con la comunidad de San Antero: Se realizó un primer espacio participativo con las comunidades de San Antero, donde asistieron 15 personas conformadas por asociaciones de mangleros, pescadores, fundación Omacha, CVS, y alcaldía; en este espacio se hizo la presentación del proyecto por parte del cuerpo técnico de INVEMAR y con ayuda de la comunidad se reconoció el área de estudio en mapas impresos, incluyendo los cuerpos de agua, ecosistemas y el Sistema de Tratamiento de Agua Residual –STARD.

Encuesta de participación social: Se elaboró un formato de encuesta social, con el propósito de caracterizar las problemáticas de saneamiento básico del municipio de San Antero y la percepción de la comunidad frente a la posible afectación que puede tener al estar expuestos a los vertimientos de agua residuales. Se abordaron los siguientes temas: características socioeconómicas de la población, de saneamiento básico, uso de los cuerpos de agua, identificación de amenaza, vulnerabilidad y propuestas de mejora.

8.2.2 Salida de reconocimiento del municipio de San Antero Córdoba

La salida de reconocimiento del proyecto Gef Crew + se realizó entre el 16 y 20 de mayo de 2022, en donde participaron 11 investigadores del INVEMAR y 15 personas de la comunidad como expertos locales. Durante la salida de campo se realizó el reconocimiento del STARD y se midió el caudal aproximado que entra al sistema, el recorrido del arroyo Cardales desde su nacimiento hasta la desembocadura, también, se realizaron las encuestas sociales en 17 barrios de San Antero, donde se identificaron fuentes de presiones y estresores, incluyendo la zona marino costera.

Figura 10. Reconocimiento del STARD (17 de mayo/2022)

Figura 11. Realización de la reunión de socialización con la comunidad (18 de mayo/2022)

Figura 12. Recorridos de arroyos y aplicación de encuestas (19-20 de mayo/2022)

8.2.3 Organización y ejecución del plan de trabajo de la segunda salida de campo, taller con la comunidad y encuestas de participación social

Plan de trabajo: Se apoyó en la organización del plan de trabajo de la segunda salida de campo, teniendo en cuenta las actividades a realizar cada persona día a día, con la finalidad de tener una visión de los objetivos, metas a alcanzar, actividades a desarrollar, responsables y cronograma al momento de dirigirnos a campo.

Taller con la comunidad de San Antero: Se realizó el primer taller de evaluación de riesgos con la comunidades los días 28 y 29 de junio en el Centro de Recursos Educativos Municipal –CREM, donde asistieron 30 personas entre asociaciones de pescadores, de mangleros, asociaciones comunales, acompañados por personal de la Alcaldía de San antero, fundación Omacha y la de turismo sostenible; el taller se titulaba ***"San Antero mi territorio: conocimientos y vivencias en torno al recurso hídrico y al riesgo asociado a la contaminación por vertimientos"*** el cual tuvo como propósito identificar los cuerpos de agua, las actividades desarrolladas en la zona del centro poblado, rural y costera, las problemáticas ambientales y también, evaluar los impactos ambientales derivados de los vertimientos de las Aguas Residuales Domesticas -ARD; así como definir los criterios variables e indicadores para valorar la amenaza identificada; en este caso nos apoyamos con mapas impresos del municipio San Antero y matrices previamente definidas.

Encuesta de participación social: Se ajustó el formato de encuesta diseñado para la salida de reconocimiento del área de estudio, con el fin de hacer más entendible las preguntas a la comunidad y así tener claridad de la información que se quería obtener de la población. Las temáticas de este nuevo formato fueron las mismas de la encuesta antes mencionada

Figura 13. Segunda mesa de discusión para el taller de participación comunitaria

Figura 14. Organización de espacios con los insumos previamente adquiridos para el taller en el CREM de San Antero (28-29 de junio/2022)

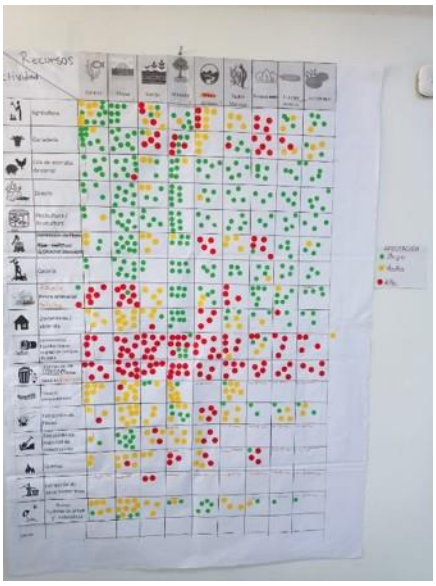

Figura 15. Resultados de la evaluación de impactos según la percepción de la comunidad (28-29 de junio/2022)

Figura 16. Identificación de cuerpos de agua, línea de tiempo y evaluación de la amenaza y vulnerabilidad (28-29 de junio/2022)

Figura 17. Aplicación de encuesta en las zonas de alcantarillado y marino costera (29-30 de junio/2022)

Figura 18. Entrenamiento para el uso de GPS para la salida de campo en San Antero, Córdoba

Salida de campo bahía Chengue

El día 26 de mayo y el 27 de julio apoyé en el monitoreo mensual sobre las condiciones ambientales de la zona marino-costera en las estaciones que están en Bahía Chengue del Parque Tayrona y en la Marina de Santa Marta (boya 2), donde con ayuda del multiparametros se obtenían resultados de las variables temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad, entre otros. Se tomó la transparencia en cada estación con ayuda del disco Secchi.

Figura 19. Apoyo tomas de muestras en el Parque Tayrona y la Boya 2 de la Marina de Santa Marta

8.3 ESPACIOS DE PARTICIPACIÓN Y TRASFERENCIA DE CONOCIMIENTOS

Talleres

Taller de Cianotoxinas y Cianobacterias –TOXICROP: Del 15 al 18 de marzo se apoyó el desarrollo del taller donde participaron 20 personas entre investigadores del INVEMAR, pasantes y ponentes extranjeros.

Taller Alfabetización Oceánica: El 4 de mayo apoyé en el desarrollo del taller que fue realizado en las instalaciones del auditorio de la CORPAMAG, donde se interactuó con personas que viven en las montañas, frente a ríos, fundaciones ambientalistas, docentes de colegios, la policía ambiental, bibliotecas y personas ubicadas en la línea de costa o cercano al mar.

Figura 20. Participación del taller TOXICROP (Del 15 al 18 de marzo/2022)

Figura 21. Participación del taller Alfabetización Oceánica (4 de mayo/2022)

9 DESARROLLO DEL PROYECTO DE PASANTÍA DE INVESTIGACIÓN

9.1 INTRODUCCIÓN

El riesgo se entiende como los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad (Ley 1523 de 2012). Existen dos tipos de riesgos naturales y antrópicos; el primero se presenta por fenómenos naturales como erupciones volcánicas, terremotos, entre otros, los antrópicos se dan por la acción del hombre, inundaciones, vertimientos de Aguas Residuales Domestica. El riesgo se calcula a partir de los componentes amenaza y la vulnerabilidad.

La amenaza como un peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (Ley 1523 de 2012).

La vulnerabilidad es la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Ley 1523 de 2012).

En San Antero se presenta la amenaza por vertimientos de Agua Residuales Domesticas -ARD a los cuerpos hídricos donde se ven afectados los ecosistemas presentes y la población.

Un vertimiento es la descarga final a un cuerpo de agua, alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en medio liquido; estos pueden ser puntuales y no puntuales. El primer caso sucede cuando se realiza a partir de un medio de conducción (tubería o zanja) y se puede precisar el punto exacto de descarga al cuerpo de agua, el alcantarillado o el suelo y los vertimientos no puntuales hacen referencia a que no se puede precisar el punto exacto de descarga. Ese es el caso de los provenientes de escorrentía (derrame y escurrimiento de agua en distintas direcciones), aplicación de agroquímicos u otros similares.
(Decreto 3930, 2010).

El objetivo de esta investigación fue adaptar una metodología para evaluar los riesgos potenciales asociados a la contaminación por vertimientos de agua residual domestica sobre el recurso hídrico marino y costero en el municipio de San Antero, departamento de Córdoba.

9.2 ALCANCE

9.2.1 Pregunta de investigación

¿Cuál sería la mejor metodología para evaluar los riegos potenciales asociados a los vertimientos de agua residuales domésticas que contaminan y ponen en riesgo al recurso hídrico marino y costero en el municipio de San Antero, Córdoba?

9.2.2 Objetivo General

Proponer una metodología para evaluar los riesgos potenciales asociados a la contaminación por vertimientos de aguas residuales domésticas sobre el recurso hídrico marino y costero en el municipio de San Antero, departamento de Córdoba.

9.2.3 Objetivos Específicos

1. Identificar metodologías teóricas para la evaluación de impactos y riesgos que se adapten a la zona de estudio.

2. Definir las variables, indicadores y criterios para la valoración de riesgo asociados a la contaminación por vertimientos de aguas residuales

3. Proponer una metodología para evaluar los riesgos potenciales asociados a la contaminación por vertimientos de aguas residuales domésticas sobre el recurso hídrico marino y costero adaptada a las condiciones de San Antero, Córdoba.

9.3 METODOLOGÍA

9.3.1 Área de estudio

El municipio de San Antero en el departamento de Córdoba, se encuentra ubicado a una latitud de 9°22'27.55"N y longitud de 75°45'34.00"O, entre los 5 y 47 metros sobre el nivel del mar. Presenta un clima subhúmedo húmedo, con precipitaciones anuales que oscilan entre 1000 y 1500 mm. La temperatura varia en un rango 26 a 28 °C, con valores de evapotranspiración entre 1200 y 1400 mm y de humedad relativa entre el 85 y el 90% (IDEAM, 2015). El municipio tiene una población total de 35.035 habitantes, donde las mujeres representan el 49.5% y los hombres el 50.5%, siendo la zona rural la más poblada con 18.944 habitantes y la zona urbana con 16.091 habitantes (DANE, 2018).

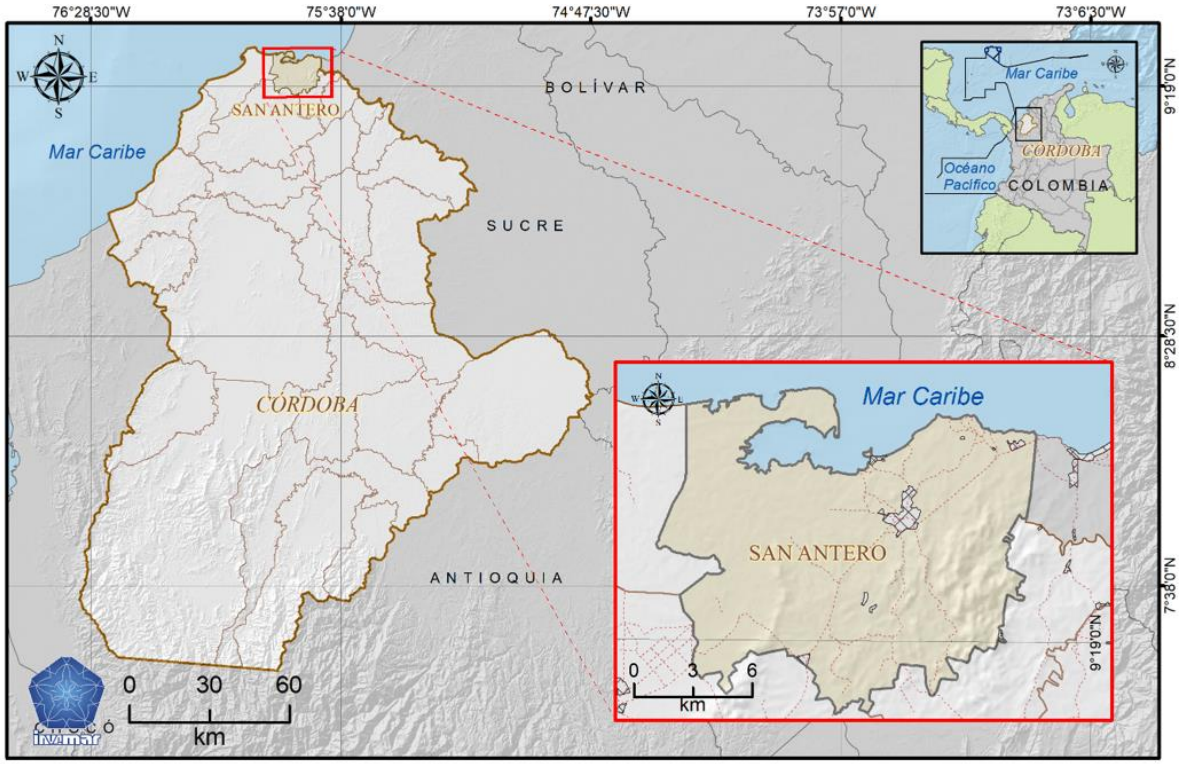

Figura 22. Mapa de la zona de aplicación del proyecto. Elaborado por Andrea Beltrán LABSIS

9.3.2 Identificación metodologías de riesgo

Para identificar las metodologías teóricas asociadas a los riesgos potenciales se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos Scopus y en Google académico. La búsqueda arrojó un total de 139 artículos usando palabras claves como: Risks AND threats AND vulnerability AND discharges wastewater. Como estrategia de búsqueda se utilizó la metodología PRISMA (Moher et al., 2009) la cual permite realizar una revisión sistemática y sintetizar la búsqueda, siguiendo los cuatro pasos mostrados en la Figura 23.

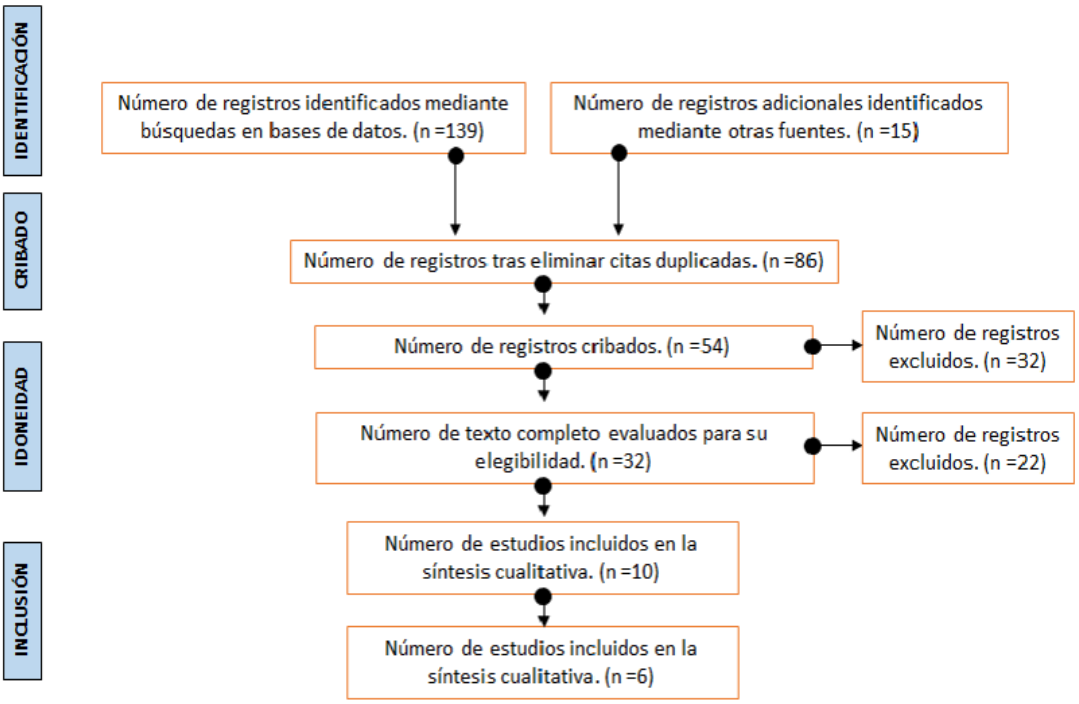

Figura 23. Metodología PRISMA aplicada para la identificación de metodologías asociadas a los riesgos potenciales. Elaboración propia adaptado de Moher et al, 2009

Además, se revisaron métodos utilizados en los proyectos “Implementación de acciones que contribuyan a la rehabilitación ecológica de áreas afectadas por hidrocarburo en Tumaco” (INVEMAR, UNIVALLE, CORPONARINO, 2017), “Evaluar el estado de contaminación y grado de vulnerabilidad sobre los ecosistemas de la Bahía de Cartagena” (INVEMAR-MINAMBIENTE, 2017 - 2018), “Vulnerabilidad de la población costera frente a la contaminación orgánica y microbiológica en la bahía de Buenaventura (INVEMAR, 2014) y otros documentos de literatura científica.

9.3.3 Definición de variables, indicadores, criterios y ecuaciones

Para realizar la valoración de riesgo asociados a la contaminación por vertimientos de aguas residuales, se definió realizar la evaluación desde el enfoque socioecológico que incluye el componente ambiental y social para la valoración de la amenaza y la vulnerabilidad considerando la determinación de las variables, indicadores y criterios teniendo en cuenta las características del área de estudio, los elementos expuestos: ecosistema de manglar, los cuerpos de agua y la población. Para ello se recopiló información secundaria de diferentes fuentes y de actores locales claves del municipio de San Antero, tales como, Alcaldía de San Antero, Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge -CVS y Fundación Omacha.

Los rangos de clasificación de cada una de las variables e indicadores tuvieron en cuenta literatura científica, datos históricos de variables disponibles en el proyecto, valores de referencia de zonas comparables con el área de estudio. Con este mismo enfoque, se revisó información secundaria y primaria recolectada en los talleres y encuestas de participación comunitaria sobre la percepción acerca de la exposición ante los vertimientos de agua residual y como se ven afectados los ecosistemas frente a dicha problemática. Estos insumos permitieron definir las variables e indicadores que dan respuesta a las áreas temáticas predefinidas para evaluar la amenaza, la vulnerabilidad ecológica y la social. Los valores obtenidos por cada variable se transformaron en características que me permitieran definir las condiciones del área en cuestión; sin embargo, la calificación varió dependiendo de la disponibilidad de información clave encontrada para cada una.

9.3.3.1 Riesgo ambiental

Para entender el riesgo ambiental asociado a los vertimientos de ARD, partiendo del esquema de la relación de amenaza, vulnerabilidad, capacidad adaptativa, riesgo y las medidas de prevención y protección ante dicha problemática (Figura 25) se definieron los siguientes atributos y variables indicadoras para valorar cada uno de los componentes.

El riesgo es la probabilidad de que ocurra una emergencia o desastre tomando en cuenta las amenazas a las que se puede estar expuesto, las vulnerabilidades y capacidad de respuesta (PNUD, 1991; Turner et al., 2003). En este caso se analizó el riesgo potencial sobre el deterioro de los ecosistema y recursos asociados ante los vertimientos de agua residual domesticas en el municipio costero de San Antero, a partir de la relación de la amenaza, vulnerabilidad.

9.3.3.2 Amenaza

Es el proceso mediante el cual se determina un peligro o amenaza que comprometa la calidad del agua, aire o suelo, poniendo en peligro la salud del ser humano y a la biodiversidad como consecuencia de la exposición a fuentes contaminantes del ambiente en lugar y tiempo determinado originado por actividades de origen natural o antropogénico (Ministerio de Ambiente, 2010). La amenaza está constituida por 3 atributos; probabilidad, magnitud y extensión.

✓ *Probabilidad*

Posibilidad de ocurrencia del riesgo; esta puede ser medida con criterios de frecuencia, si se ha materializado (número de veces en un tiempo determinado), en este sentido, se tuvo en cuenta la frecuencia con la que se presenta el vertimiento de agua residual doméstica.

✓ *Magnitud*

La magnitud se define como la cantidad de energía, grado de fuerza o intensidad de la amenaza natural o antrópica, cuyo efecto puede modificar los recursos naturales del ambiente (Conesa-Fernández, 1993). Para este estudio se identificaron los elementos expuestos; el ecosistema de manglar, la playa y la población.

Para valorar la magnitud de la amenaza por contaminación de los vertimientos de agua residual doméstica teniendo en cuenta todos los elementos expuestos, se utilizaron variables orgánicas e inorgánicas, microbiológicas y de metales pesados.

✓ *Extensión*

La extensión se define como el cubrimiento o amplitud de los efectos de la amenaza en este caso el vertimiento de las aguas residuales domesticas (Chardon y González, 2002)

En la valoración de la amenaza, se tuvo en cuenta los valores permisibles estipulado por las normas 0631 del 2015 y 883 del 2018, también las valoraciones existentes, plasmadas en informes de proyectos, tales como *(INVEMAR, UNIVALLE, CORPONARINO, 2017), (INVEMAR, 2014) y (INVEMAR-MINAMBIENTE, 2017 - 2018).*

9.3.3.3 Vulnerabilidad ecológica

La vulnerabilidad de los elementos expuestos es la debilidad que se tiene cuando se presenta una emergencia o desastre (Turner et al., 2003). La vulnerabilidad debe considerar la susceptibilidad al daño o el potencial de cambio o transformación del sistema cuando se enfrenta a una perturbación o estrés. Para que se produzca un daño debe ocurrir un evento adverso (amenaza), al que se encuentran expuestos los ecosistemas y la población, alterando su sensibilidad y capacidad adaptativa. (Gallopín, 2006). Para evaluar la vulnerabilidad ecológica se seleccionaron variables e indicadores relacionados con los tres (3) atributos; exposición, sensibilidad biológica y capacidad adaptativa de los ecosistemas expuestos (manglar y playa) frente a la contaminación por los vertimientos de agua residual doméstica.

✓ *Exposición*

Para estimar el grado de exposición definido como la duración en el cual los ecosistemas expuestos estuvieron en contacto a la perturbación (contaminantes de los vertimientos de agua residual domestica) (Adger, 2006; Gallopín, 2006). Se seleccionaron las variables de tiempo de residencia de los contaminantes en el agua o sedimentos, estimación del perímetro del manglar en contacto con cuerpos de agua y las corrientes de los flujos dentro del manglar.

✓ *Sensibilidad*

La sensibilidad entendida como el grado en que el sistema humano o natural puede verse afectado de forma adversa o beneficiosa, por una perturbación interna o externa o un conjunto de perturbaciones (IPCC, 2001; Gallopín, 2003). Para la valoración de la sensibilidad se utilizó el ICAM e indicadores del IDEAM para aguas continentales y el indicador de integridad biológica del manglar el cual compila los aspectos referentes a las condiciones del ecosistema de manglar; en este espacio se tuvo en cuenta información del manejo y caracterización del manglar.

✓ *Capacidad Adaptativa*

Para valorar la capacidad adaptativa definida como la capacidad de recuperación y de resistir presiones en curso de la sociedad y los ecosistemas ante un disturbio (Adger y Vincent, 2005). Se seleccionaron aspectos como el manejo del manglar, tiempo de recuperación del manglar, actividades desarrolladas cerca al manglar, regeneración del manglar y distancia del manglar a la cabecera municipal; estas variables me van ayudaron a interpretar la recuperación ecológica del ecosistema de manglar en San Antero y zonificación de acuerdo al manejo, buscando aproximar

de acuerdo a lo observado en campo, resultados de laboratorio y la información disponible en la zona y en cuanto a los cuerpos de agua se consideró el tiempo en el que el agua retoma su buena calidad, teniendo en cuenta la presencia de metales pesados y contaminantes asociados a los vertimientos de agua residual doméstica.

9.3.3.4 Vulnerabilidad social

Para evaluar la vulnerabilidad social se seleccionaron variables e indicadores relacionados con los tres (3) atributos; exposición, sensibilidad biológica y capacidad adaptativa de la población frente a la contaminación por los vertimientos de agua residual doméstica.

- ✓ *Exposición*

Se realizó el análisis a partir del rebosamiento de los manholes y que tan expuesto esta la población en toda el área de estudio.

- ✓ *Sensibilidad*

Para la valoración de la sensibilidad social, la variable de referencia fue la presencia o ausencia de coliformes fecales y totales. La información de la Organización Mundial de la Salud –OMS fue base principal para mirar esos datos valores estipulados o soportables de estas variables en cuanto al consumo humano.

- ✓ *Capacidad Adaptativa*

Se trabajó en tres áreas sociales: socio ecológica, socioeconómica y sociopolítica o institucional. En este caso se tuvo en cuenta información de las encuestas de participación social.

9.3.4 Propuesta metodologíca para evaluar los riesgos potenciales asociados a la contaminación por vertimientos de aguas residuales

Para la realización de la propuesta metodógica sobre evaluación de riesgos potenciales asociados a los vertimeintos de aguas residuales domesticas se tuvo en cuenta el paso a paso y recomendaciones de estudios obtenidos a partir de información secundaria adaptables al área de estudio. En este sentido, se hizo la adaptación de acuerdo a los estudios *INVEMAR, UNIVALLE, CORPONARINO, 2017; Vera y Albarracín, 2017; INVEMAR-MINAMBIENTE, 2017 – 2018.*

9.4 RESULTADOS

9.4.1 Metodologías de riesgo identificadas

De los documentos revisados se encontraron 13 métodos diferentes de valoración del riesgo ambiental de los cuales se utilizaron para adaptar dicha metodología al municipio de San Antero. La Tabla 3, contiene documentos relevantes utilizados para la adaptación de la metodología para valorar riesgos potenciales asociados a los vertimientos de ARD.

Tabla 3. Documentos revisados para adaptar metodología a San Antero

DOCUMENTOS REVISADOS			
Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenaza por inundación. *(Vera y Albarracín, 2017)*	Definición de variables e indicadores utilizados para evaluar amenaza, vulnerabilidad, impacto y riesgo por derrame de hidrocarburos en Tumaco. *(INVEMAR, UNIVALLE, CORPONARINO, 2017)*	Vulnerabilidad de la población costera frente a la contaminación orgánica y microbiológica en la bahía de Buenaventura. *(INVEMAR, 2014)*	Evaluar el estado de contaminación y grado de vulnerabilidad sobre los ecosistemas de la Bahía de Cartagena. *(INVEMAR-MINAMBIENTE, 2017 - 2018),*
Estudio de vulnerabilidad a la contaminación de un acuífero en el municipio de Yumbo, Valle del cauca. *(Díaz et al., 2013)*	Propuesta de una metodología simple para el análisis y representación gráfica de riesgos sobre activos. Aplicación al caso de una instalación portuaria. *(Camarero et al., 2015)*	Propuesta metodológica para la evaluación de riesgos ambientales en contextos complejos. *(Martínez-Bernal et al., 2018)*	Lineamientos metodológicos para la evaluación de riesgo ecológico. *(Caballero et al., 2014)*
Criterios para la evaluación de estresores y parámetros en la estimación del estado ecológico de ríos en Suramérica. *(Rodriguez et al., 2020)*	Evaluación y análisis de riesgos ambientales en las pozas de estabilización de agua residuales San Pablo – Sapallanga 2020. *(Torres, 2021)*	Determinación de la vulnerabilidad del acuífero del municipio de Santiago de Tolú a la contaminación por saneamiento in situ. *(Gutiérrez et al., 2004)*	Modelo de análisis de confiabilidad basado en gestión probabilística de riesgos. *(Acevedo, 2009)*

De acuerdo con los documentos revisados se escogió utilizar la metodología *INVEMAR, UNIVALLE, CORPONARINO, 2017; Vera y Albarracín, 2017; INVEMAR-MINAMBIENTE, 2017 – 2018.*

La metodología utilizada para construir el paso a paso de cómo llegar a valorar la amenaza, vulnerabilidad y el riesgo fue a partir del sistema socio ecológico y el sistema de relación donde se involucran diferentes componentes, atributos, temáticas y variables que dan respuestas a la conexión que tiene el ser humano con la naturaleza y producto de ellos se generan impactos antrópicos en los ecosistemas afectando el funcionamiento de los sistemas ecológicos y el bienestar de la sociedad (Figura 24; CEPAL, 2001; Foschiatt, 2004).

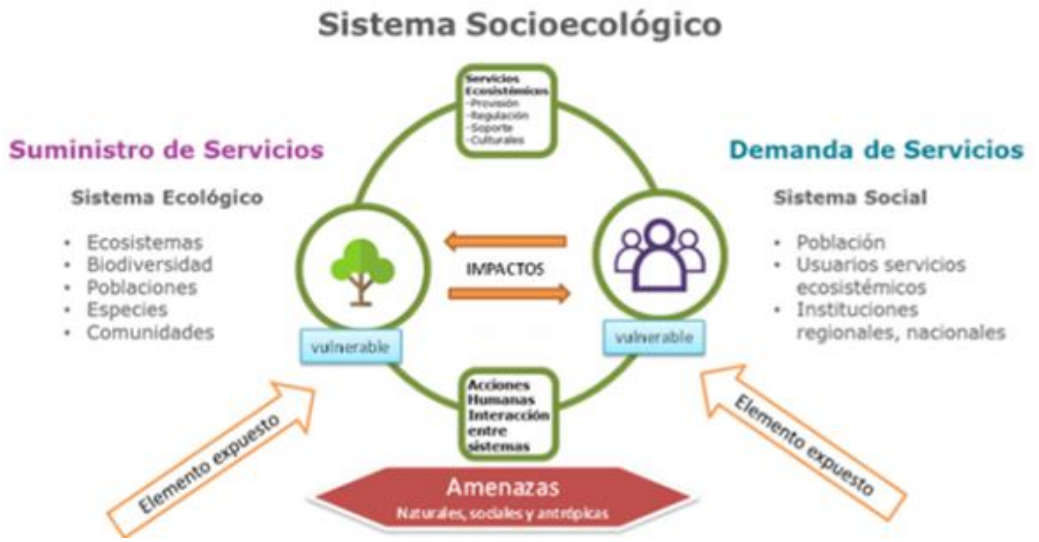

Figura 24. Interacciones del sistema socio-ecológico partiendo de suministro de servicios por el sistema ecológico y la demanda de servicios por el sistema social, sumado a las amenazas derivadas de las acciones humanas.

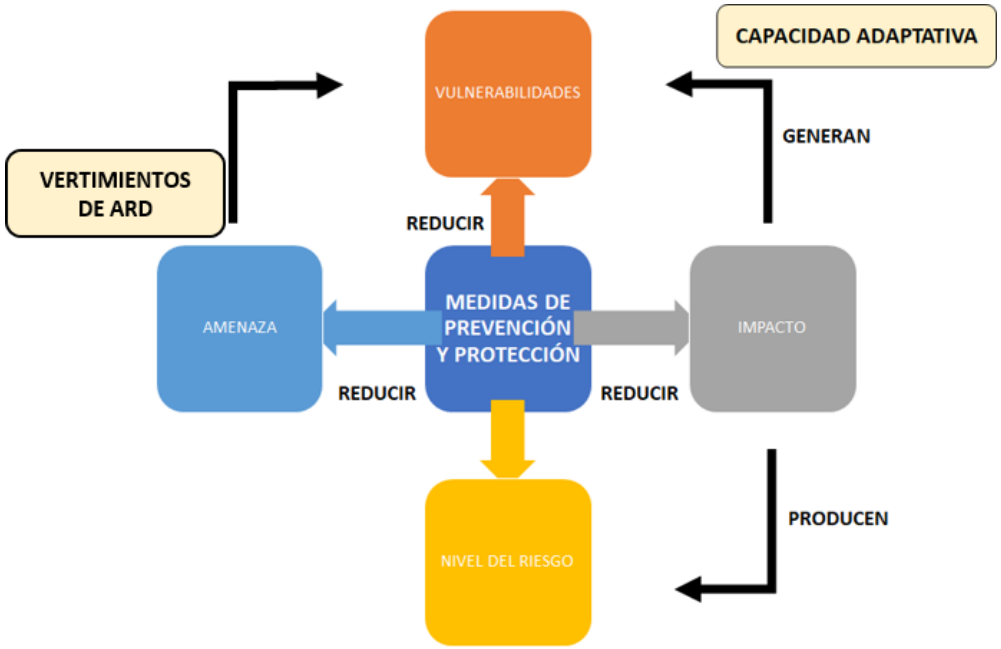

Figura 25. Relación amenaza por vertimientos de ARD-vulnerabilidades-capacidad adaptativa, impacto-riesgo-medidas de prevención y protección.

9.4.2 Variables, indicadores y criterios definidos

9.4.2.1 Variables para amenaza

Para realizar el análisis de amenaza se definieron 6 variables que dan respuesta a los atributos de probabilidad, magnitud y extensión ver Tabla 4.

Tabla 4. Variables para analizar la amenaza del vertimiento de agua residuales.

COMPONENTE	ATRIBUTO	CARACTERITICAS	INDICADOR/VARIABLE
Amenaza (vertimiento de agua residuales)	Probabilidad	Acumulación de los vertimientos	Número de vertimientos en las zonas
	Magnitud	Orgánicas	Concentraciones de las variables ARD
		Microbiológica	Coliforme termotolerantes y totales
		Metales pesados	Datos de Buchman
	Extensión	Escurrimiento del agua residual	Expansión del agua residual

9.4.2.2 Variables para vulnerabilidad ecológica

Para realizar el análisis de vulnerabilidad se definieron 7 variables que dan respuesta a los atributos de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa ver Tabla 5.

Tabla 5. Variables para analizar la vulnerabilidad

COMPONENTE	ATRIBUTO	CARACTERITICAS	INDICADOR/VARIABLE
Vulnerabilidad	Exposición	Contacto con los vertimientos de ARD	Rebosamientos de manholes, vertimientos, usos del agua
		Permanencia de los contaminantes en los cuerpos de agua	Metales pesados
	Sensibilidad	Capacidad para contraer enfermedades (Gastrointestinales, en la piel y respiratorias)	Enfermedades de piel y respiratoria aguda.
		Agua marina/estuarinas y continentales	ICAM
			Índice de eutrofización
		Condiciones del manglar	Indicador de integridad ecológica del manglar
	Capacidad Adaptativa	Dependencia de la calidad del ambiente	Ingresos mensuales en su vivienda

9.4.2.3 Asignación de peso o valor de importancia

La asignación de pesos (ponderación) de cada indicador dentro de los componente y atributos, está directamente relacionado con la importancia, así como la incidencia de cada temática y variable los aspectos evaluados (Vivas-Aguas, 2011; Vivas-Aguas *et al*., 2017). En este caso, para la determinación de los pesos se utilizó información del (INVEMAR, UNIVALLE, CORPONARINO, 2017) para valorar la importancia entre las áreas temáticas y los componentes para el cálculo de la amenaza, la vulnerabilidad y riesgo.

En la amenaza el atributo de extensión fue considerado la de mayor importancia (50 %), seguido de la magnitud (30%) y posteriormente la probabilidad (20%). En la vulnerabilidad el atributo de exposición y sensibilidad fueron considerados los de mayor importancia con (40 %) respectivamente, seguido de la capacidad adaptativa (20%).

Tabla 6. Asignación de peso o valor de importancia

COMPONENTE	ATRIBUTO	TEMÁTICO	Importancia (%)	Factor de ponderación (%)
Amenaza	Probabilidad	Acumulación de los vertimientos	20	20
	Magnitud	Orgánicas	10	30
		Microbiológica	10	
		Metales pesados	10	
	Extensión	Escurrimiento del agua residual	50	50
Vulnerabilidad	Exposición	Permanencia de los contaminantes en los cuerpos de agua	20	40
		Contacto con los vertimientos de ARD	20	
	Sensibilidad	Agua marina/estuarinas y continentales	10	40
		Condiciones del manglar	10	
		Capacidad para contraer enfermedades (Gastrointestinales, en la piel y respiratorias)	20	
	Capacidad adaptativa	Dependencia de la calidad del ambiente	20	20

9.4.3 Propuesta metodologíca para evaluar los riesgos potenciales asociados a la contaminación por vertimientos de aguas residuales

Se definió la clasificación de las variables e indicadores tanto para la amenaza como para la vulnerabilidad con los rangos respectivos en una escala de muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto. Se consideraron variables relacionadas con el número de vertimientos en la zona, concentraciones de los contaminantes inmersos al agua residual doméstica, coliformes termotolerantes y metales y hasta dónde llega el vertimiento, es decir, la expansión del agua residual doméstica; lo anterior es en cuanto a las variables de amenaza.

Para la vulnerabilidad se consideraron las variables de rebosamiento de manholes, rangos para variables orgánica, microbiológicas y por metales pesados, la calidad del agua, utilizando el índice de calidad de agua marina, el nivel trófico del agua, a partir del índice de eutrofización, las enfermedades causadas por olores ofensivos, para el manglar se definió el índice de integridad ecológica y por últimos los ingresos mensuales por viviendas (Tabla 7;Tabla 8).

✓ Ecuación de la amenaza

$$AMENAZA = PROBABILIDAD\ x\ MAGNITUD\ x\ EXTENSIÓN$$

Tabla 7. Rangos de valoración de la amenaza

ATRIBUTO	INDICADOR/VARIABLE	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
Probabilidad	Número de vertimientos en las zonas	Nunca	Ocurre accidentalmente	Algunas veces	Frecuente	Continuo
Magnitud	Concentraciones de las variables ARD	100-90	90-70	70-50	50-25	25-0
	Coliforme termotolerantes y totales	Ausente				Presente
	Metales pesados	1,5-5 mg/l	5-30 mg/l	30-60 mg/l	60-160 mg/l	>160 mg/l
Extensión	Expansión del agua residual	Puntual (se queda estancado en la calle donde se genera)		Mi barrio (abarca varias calles)		Municipio (abarca 2 o más barrios del municipio)

✓ Ecuación de la vulnerabilidad

$$VULNERABILIDAD = EXPOSICIÓN \; x \; SENSIBILIDAD \; x \; CAPACIDAD \; ADAPTATIVA$$

Tabla 8. Rangos de valoración de la vulnerabilidad

ATRIBUTO	INDICADOR/VARIABLE	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
Exposición	Rebosamiento de manholes	Ocurre menos de una vez al año	Ocurre una a 3 veces al año	Ocurre entre 4 y 6 veces al año	Ocurre entre 6 y 12 veces al año	Ocurre entre 12 y 24 veces al año
	Orgánica	>150-101 mg/l	61-100 mg/l	36-60 mg/l	16-35 mg/l	<15 mg/l
	Microbiológica	0%-20% >1000		41%-60% >1000		61%-100% >1000
	Metales pesados	0-0,2	>0,2-0,4	>0,4-0,6	>0,6-0,8	>0,8-1
Sensibilidad	Calidad de agua -ICAM	100-90	90-70	70-50	50-25	25-0
	Índice de eutrofización	Ultraoligotrófico 0≤TRIX≤4	oligotrófico 0≤TRIX≤5	Mesotrófico 0≤TRIX≤6	Eutrófico 0≤TRIX≤7	Hipertrófico 0≤TRIX≤8
	Enfermedades causadas por olores ofensivos	Detección 2 ppb	Reconocimiento 4 ppb		Molestia 100 ppb	Sensación de irritación 200 ppb
	Indicador de integridad ecológica del manglar	0,80-1,00	0,60-0,79	0,40-0,59	0,21-0,39	0,00-0,20
Capacidad Adaptativa	Ingresos mensuales en su vivienda	No afecta sus ingresos		Afecta mis ingresos en un 50%		Afecta más del 90% de mis ingresos

10 CONCLUSIONES

Se logró proponer una metodología para evaluar los posibles riesgos potenciales asociados a los vertimientos de las aguas residuales en el municipio de San Antero con un enfoque socio-ecológico, a partir de información primaria y secundaria, donde se alcanzó a definir las variables de cada atributo amenaza, vulnerabilidad y riesgo, también**,** se lograron determinar los rangos para cada una de las variables e indicadores, de acuerdo al contexto del área de estudio en San Antero, y las características de los elementos expuestos**.**

La metodología propuesta se constituye en un insumo técnico necesario para realizar valoraciones de riesgos y sensibilidad ambiental cuando se están analizando las problemáticas de las aguas residuales domésticas en municipios costeros como San Antero Córdoba y así mismo permite la toma adecuada de decisiones para disminuir la intensidad de una amenaza.

11 BIBLIOGRAFÍA

Adger, W. N. y K. Vincent. 2005. Uncertainty in adaptive capacity. Comptes Rendus Geoscience, 337(4): 399-410.ANI, 2017. Agencia Nacional de Infraestructura, Puertos: Sociedad Portuaria Regional de Tumaco S.A. Recuperado de: https://www.ani.gov.co/proyecto/puertos/sociedad-portuaria-regional-de-tumaco-sa-21412.

Chardon, A. y J.González. 2002. Programa de Información e Indicadores de Gestión de Riesgos. Indicadores para la Gestión de Riesgos. Amenaza, vulnerabilidad, riesgo, desastre, mitigación, prevención. Banco Interamericano de Desarrollo. Universidad Nacional de Colombia- Sede Manizales. Instituto de Estudios Ambientales-IDEA. Manizales. 38 p.

Conesa-Fernández, V. 2010. Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental. Editorial S.A. Mundi-Prensa. Madrid. Esp. 409 p.

Corporación Autónoma Regional de Los Valles del Sinú y del San Jorge – CVS e Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR. 2010. Plan integral de manejo del Distrito de Manejo Integrado (DMI) bahía de Cispatá - La Balsa - Tinajones y sectores aledaños del delta estuarino del río Sinú, departamento de Córdoba. Editores: Rojas, G. X y P. Sierra-Correa. Serie de Publicaciones Especiales No. 18 de INVEMAR. Santa Marta. 141 p.

Espinoza, G. 2007. Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. Banco Interamericano de Desarrollo-BID. Centro de Estudios para el Desarrollo-CED. Santiago de Chile. 288 p.

Gallopín, G. C. 2006. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. Global Environmental Change, 16 (3): 293-303.Garay, J., G. Ramírez; J. Betancourt, B. Marín, B. Cadavid, L. Panizzo, J. Lesmes, H. Sánchez y A. Franco. 2003. Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. INVEMAR. Serie Documentos Generales N° 13. Santa Marta. 177 p.

INVEMAR, UNIVALLE y CORPONARIÑO. 2017. Implementación de acciones que contribuyan a la rehabilitación ecológica de áreas afectadas por hidrocarburos en zona costera y piedemonte del departamento de Nariño. Espinosa, L.F. (Ed). Resolución No. 1516 y Acuerdo No. 010 de 2016, Minambiente. Código proyecto: PRYCAM-012-16. Informe técnico final. Santa Marta. 497 p.

Vivas-Aguas, J. L., M. Vargas-Morales, K. Guillen Oñate, M. Villarraga y D. Sánchez. 2014. Vulnerabilidad de la población costera frente a la contaminación orgánica y microbiológica en la bahía de Buenaventura. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 76, Santa Marta. 24 p.

INVEMAR. 2020. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 183 p.

Ministerio de Ambiente. 2010. Guía de evaluación de riesgos ambientales. Editora: Mendoza, V. Biblioteca Nacional del Perú. 55 p.

Ministerio del medio ambiente. (2002). Gestión para el Manejo, Tratamiento y Disposición Final de las Aguas Residuales Municipales. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005574/cartillas/Residuosmunicipales.pdf. 1-2002.

Turner, B. L., II, Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J. y R.W. CorellR. W., Christensen, L., et al. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100(14): 8074–8079.

Leopold, L. B., F. E. Clarke, B. B. Hanshaw, and J. E. Balsey. 1971. A procedure for evaluating environmental impact. U.S. Geological Suervey Circular 645, Whashington, D.C.

INVEMAR-MADS, 2017. Resolución No. 646 de 2017. Formulación de lineamientos, medidas de conservación, manejo y uso de ecosistemas marinos y costeros, con la intención de apoyar acciones de fortalecimiento en la gestión ambiental de las zonas costeras de Colombia. 278 pg + Anexos

Vera Rodríguez, Jorge Mario, & Albarracín Calderón, Adriana Paola. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, *27*(2), 109-136. https://doi.org/10.18359/rcin.2309

http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/EAMC_2001/IEAMCC017ACAM.pdf

http://www.invemar.org.co/web/guest/who-are-we

https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac79c9063217.pdf

https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad_Gnl/Resolucion%201433%20de%202004-Dic-13.pdf