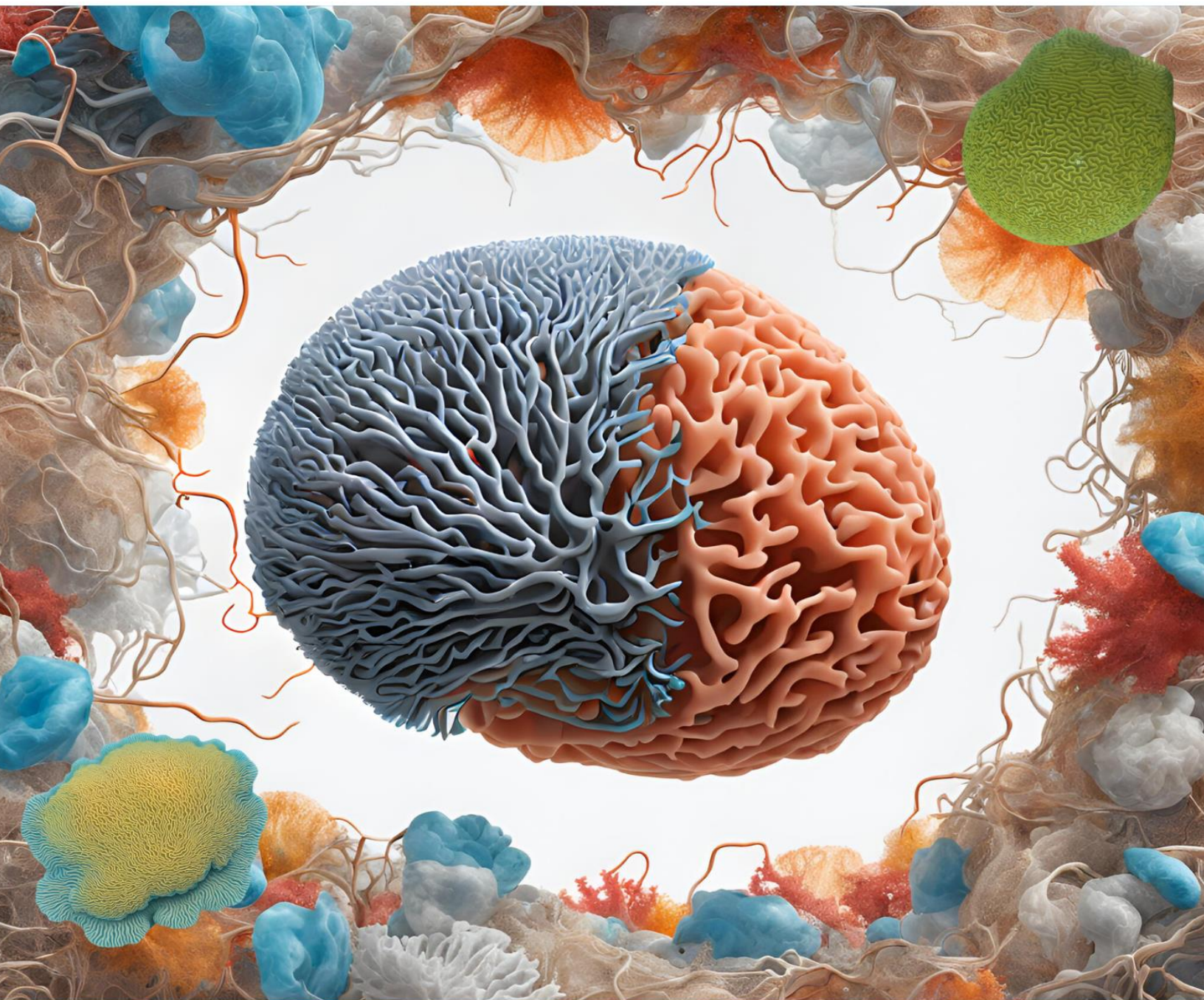
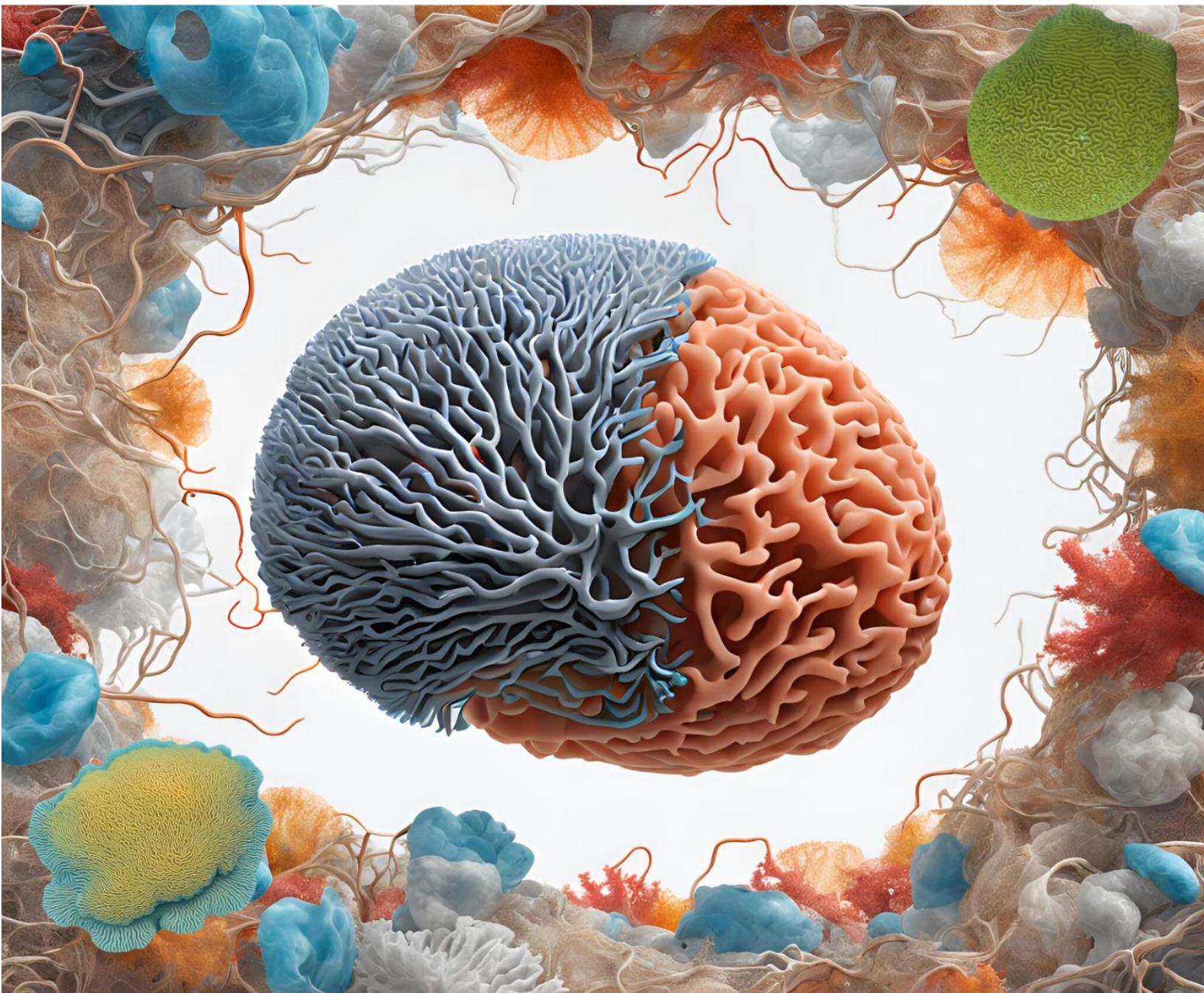


Ecología, amenazas y estrategias de conservación de las especies *Colpophyllia natans* y *Diploria labyrinthiformis* en el Caribe colombiano.



Ecology, Threats, and Conservation Strategies for *Colpophyllia natans* and *Diploria labyrinthiformis* in the Colombian Caribbean



Ecología, amenazas y estrategias de conservación de las especies *Colpophyllia natans* y *Diploria labyrinthiformis* en el Caribe colombiano.

Esta publicación fue realizada por la Corporación Cambio Sostenible, una entidad sin ánimo de lucro, constituida en el año 2020, cuya misión es promover el desarrollo sostenible para la equidad social.



Editado por Kenny Stiven Espinoza
Coordinación de la investigación María Alejandra Angarita
Revisión de estilo Kenny Stiven Espinoza
Diciembre, 2024.



Esta obra está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 Internacional
[CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Tabla de contenido

1. Introducción	2
2. Metodología	2
3. Discusión de resultados.....	3
3.1. Ecología de la especie 1	3
3.2. Ecología de la especie 2	3
3.3. Amenazas:	4
3.4. Conservación.....	5
4. CONCLUSIONES	8
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	9

Ecología, amenazas y estrategias de conservación de las especies *Colpophyllia natans* y *Diploria labyrinthiformis* en el Caribe colombiano.

Ecology, Threats, and Conservation Strategies for Colpophyllia natans and Diploria labyrinthiformis in the Colombian Caribbean

María Alejandra Angarita López^{1 2}

¹Tecnóloga Ambiental, Bióloga en formación de la Universidad Central de Colombia

²Investigadora de la Corporación Cambio Sostenible – alejandraangarita@cambiosostenible.org

RESUMEN

Las poblaciones de corales en todo el mundo están disminuyendo rápidamente debido al cambio climático y la actividad humana [1]. Colombia se posiciona como un país vulnerable al tener uno de los sistemas arrecifales más extensos del hemisferio occidental [2]. La presente investigación busca documentar las principales amenazas y posibles estrategias de conservación de las especies *Colpophyllia natans* y *Diploria labyrinthiformis* en Colombia. Se realizó una revisión documental ajustando la metodología de Barreiro y Castro de 2023 [3]. Con los resultados de la revisión documental se realizó una caracterización de cada especie y se identificaron sus principales amenazas, como lo son las derivadas del cambio climático y el vertimiento constante de residuos sólidos y aguas residuales provenientes de desembocaduras de ríos, el más contaminante es el río Magdalena, que vierte al mar 2.100 toneladas de residuos plásticos al mar, generando impactos negativos a estas especies sensibles al aumento de temperatura y a la fragmentación de su ecosistema ante la alteración generada por residuos sólidos. Por lo tanto, se concluye que se requieren estrategias combinadas de conservación y restauración de la especie, tanto en áreas críticas de contaminación como en áreas protegidas, acompañada de acciones de investigación e incidencia en políticas públicas que garanticen un control adecuado de los residuos arrojados al mar, focalizando puntos donde la subsistencia de especies en riesgo de desaparecer sea priorizada.

PALABRAS CLAVE: Coral cerebro, especies amenazadas, Colombia, conservación.

ABSTRACT

Coral populations worldwide are rapidly declining due to climate change and human activity [1]. Colombia is particularly vulnerable, hosting one of the most extensive reef systems in the Western Hemisphere [2]. This study aims to document the main threats and potential conservation strategies for *Colpophyllia natans* and *Diploria labyrinthiformis* in Colombia. A literature review was conducted following the methodology of Barreiro and Castro (2023) [3]. Based on the review, each species was characterized, and their primary threats were identified. Key challenges include those linked to climate change and the continuous discharge of solid waste and wastewater from river outlets, with the Magdalena River being the most polluting, dumping 2,100 tons of plastic waste into the sea. These pollutants negatively impact these species, which are highly sensitive to rising temperatures and ecosystem fragmentation caused by solid waste. The study concludes that combined strategies for species conservation and restoration are urgently needed in critical contamination areas and protected zones. These efforts must be supported by research initiatives and public policy advocacy to ensure effective waste control, with a focus on safeguarding key habitats for species at risk of extinction.

KEYWORDS: Brain coral, threatened species, Colombia, conservation.

1. Introducción

Entre los ecosistemas marinos estratégicos, el arrecife de coral es uno de los que despierta más interés debido a su atractivo del paisaje costero, como también por su variedad en fauna y flora [4]. Las formaciones coralinas constituyen uno de los ecosistemas tropicales más complejos, diversos y productivos del planeta, los cuales están constituidos por corales duros o blandos [5]. Colombia cuenta con 2.860 km² de arrecifes, de los cuales 2.845 km² en el mar Caribe Colombiano y 15 km² en el Pacífico [6]; actualmente el 60% de los arrecifes coralinos existentes en el territorio marino colombiano están bajo algún grado de amenaza, se calcula que un 19% ha sido destruido, el 15% se encuentra en estado crítico y el 20% restante puede desaparecer en la próxima década y media [7, 34].

La presente investigación buscó identificar el nivel de vulnerabilidad de especies de coral *Colpophyllia natans* y *Diploria labyrinthiformis*, clasificadas como vulnerable y riesgo crítico respectivamente en la Lista Roja de la Unión Internacional de Conservación Natural, en el contexto del Caribe colombiano.

2. Metodología

Contexto geográfico: Colombia es el único país de Sudamérica que tiene dos océanos, el mar Caribe y el océano Pacífico [34]. Su extensión marítima equivale al 50% del total de su territorio. Esta investigación se concentra en el mar Caribe como muestra el gráfico 1.

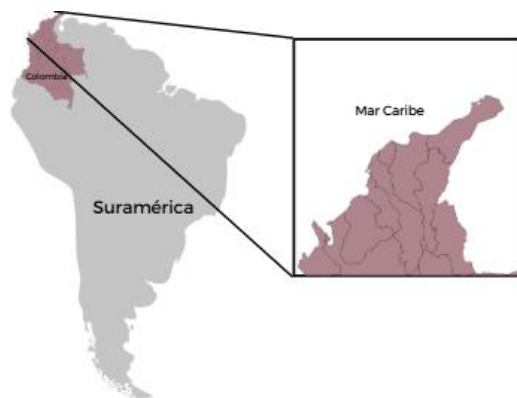


Gráfico 1. Georreferenciación del contexto de la investigación. Fuente: autora, 2024

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de 29 estudios académicos relacionados con las especies seleccionadas del estudio en Colombia. La información fue obtenida a través de bases de datos como Scielo (7), ScienceDirect (35), RefSeek (986), Redalyc (47) y motores de búsqueda como Google Académico (468). Se establecieron como criterios de selección artículos basados en la ecología y el estado de conservación y amenaza de las especies en Colombia, especialmente aquellos propuestos por entidades gubernamentales como la INVEMAR, Corporaciones Autónomas Regionales, Parques Nacionales Naturales, así como artículos o tesis realizadas por universidades en un periodo de veinte años comprendido entre los años 2004 y 2024. También se utilizaron palabras clave como "*Colpophyllia natans*" + "Colombia" y "*Diploria labyrinthiformis*" + "Colombia" [3].

3. Discusión de resultados.

3.1. Ecología de la especie 1

Diploria labyrinthiformis, llamado coloquialmente “coral cerebro” debido a que su superficie parece un laberinto que se asemeja a un cerebro y parece una piedra ya que produce esqueleto de calcio sobre el cual se pegan los pólipos, los cuales se juntan y forman esta colonia. Adicionalmente por ser un animal tan antiguo, es bastante simple [8] y se encuentra generalmente en las zonas arrecifales de post-barra, hacia los 2 m de profundidad [9]. *Diploria labyrinthiformis* cuenta con una estructura un poco compleja, ya que cuando se toca, se pone baboso, esto es precisamente por los pólipos que lo conforman, los cuales están vivos, aunque su base sea de calcio, como un hueso. Antes de asentarse en una colonia, estos pólipos nadan por el mar y son transparentes, pero una vez que se asientan, hacen relación con unas pequeñas algas, las cuales viven encima de ellos y son las que le dan el color. El *Diploria labyrinthiformis* es de color verde y café, aparte de darle color, las algas también cumplen otras funciones, pues al hacer la fotosíntesis, que es el proceso a través del cual las plantas se alimentan, producen nutrientes que ayudan a vivir a estos animales. Así, las algas buscan protección en los corales, y a cambio producen comida para alimentarlos [8]. Esta especie se encuentra en peligro crítico según la lista roja de la UICN [10].



Ilustración 1. Fotografía de la especie *Diploria labyrinthiformis*. Tomado de Crandall, 2024[11]

3.2. Ecología de la especie 2

Colpophyllia natans es un coral escleracéneo que pertenece a la familia Faviidae con crecimiento colonial. La distribución de *C. natans* a nivel mundial se restringe al Caribe [12]. Esta especie tiene la estructura de los septos simples, la columnela presenta dientes septales alargados y las colonias varían en cuanto a forma ya que los pólipos pueden formarse asexualmente [12].

Colpophyllia natans se caracteriza por presentar colonias grandes de aspecto cerebroide. Las crestas tienen de ocho a nueve septos por centímetro y los valles son largos y sinuosos. Los valles pueden tener un ancho entre 15 y 20 mm y una profundidad entre 10 y 12 mm. El color de las crestas puede variar entre café y amarillo, con valles del mismo color o verde [38]. Las colonias son largas y hemisféricas o incrustantes, con un surco ambulacral fino a lo largo de la parte superior de las paredes. Únicamente en la noche los pólipos extienden los tentáculos. Esta especie se encuentra en estado vulnerable según la lista roja de la UICN [13].

Estas formaciones conllevan a un gran número de beneficios biológicos y económicos. La importancia de los ecosistemas arrecifales se evidencia en sus funciones ecológicas, estéticas, económicas y culturales que sustentan y que a su vez contribuyen significativamente al bienestar local, nacional y global, como por ejemplo: funcionan como áreas de cría, refugio y alimentación de una gran variedad de organismos ; permiten el desarrollo de actividades turísticas; benefician el stock pesquero, al ser zonas de protección para peces juveniles; proveen especies para el comercio; contribuyen a la protección costera; son responsables de la formación y mantenimiento de miles de islas y barreras para playas; contribuyen con sustancias naturales bioactivas de gran valor presentes en organismos encontrados en los arrecifes de coral [5].



Ilustración 2. Fotografía de la especie *Colpophyllia natans*. Tomada de Wildlife Research Institute, 2012 [14]

3.3. Amenazas:

3.3.1. Clima

Estas especies son unas de las más sensibles al calentamiento global y a los cambios medioambientales, pueden llegar a morir si la temperatura fluctúa, además con el recalentamiento sufre decoloración [15, 35-37]. A lo largo del tiempo las especies se han ido perdiendo y deteriorando por diversos factores, la muerte masiva de estas en el caribe colombiano se debe principalmente a la enfermedad de la banda blanca, que se caracteriza por la liberación rápida del tejido, dejando una banda de esqueleto desnudo de varios centímetros de ancho, cerca del tejido aparentemente sano, otra de las enfermedades que afecta es la banda negra, esta se encuentra asociada a la elevación de temperatura del agua, sedimentación y contaminación, causando muerte rápida a las colonias [16].

El cambio climático es la principal causa de la enfermedad del blanqueamiento coralino, ya que, con el aumento de la temperatura, se calienta el océano y por este calentamiento mueren o se expulsan las zooxantelas, algas con las cuales los corales tienen una relación simbiótica [24, 27]. *Colpophyllia natans* y *Diploria labyrinthiformis* son de las especies que mayor presentan blanqueamiento junto con otras enfermedades como banda negra, adicionalmente la disponibilidad de sustrato es un factor limitante para la distribución de estas dejando a un lado los efectos que pueda tener sobre las colonias la sedimentación, salinidad y temperatura [17, 28].

3.3.2. Residuos

Colombia arroja al mar Caribe alrededor de 472.653 metros cúbicos al día de aguas residuales a través de los ríos principales que desembocan en la costa caribeña [18]. La más crítica es la cuenca del río Magdalena, que aporta más de 2.100 toneladas de residuos plásticos al mar [19]. En la ilustración 2 se muestra el área ocupada por las especies *Colpophyllia natans* y *Diploria labyrinthiformis* y su contacto con los puntos críticos de vertimiento de residuos al mar.

Los residuos al entrar en contacto con el mar tienen comportamientos diferentes con respecto a los residuos sólidos almacenados en tierra firme, entre ellos su degradación, oxidación y la bioacumulación en ecosistemas marinos están generando desafíos sobre su eliminación y tratamiento [20]. El cambio de la naturaleza de los residuos altera las dinámicas ecológicas de arrecifes de coral, los ciclos biogeoquímicos¹ y el aumento de niveles de CO₂ por los elevados niveles de carga orgánica de los vertimientos enviados al mar [21].

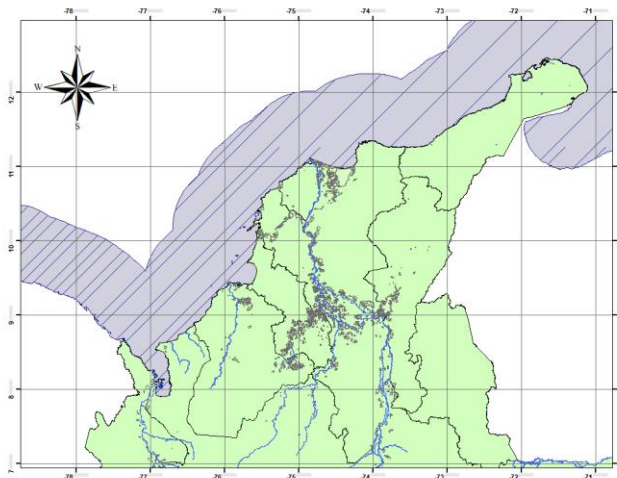


Gráfico 2. El área en color azul con rallas diagonales corresponde a la zona de hábitat de las especies. Esta área conecta con puntos de desembocadura de ríos importantes de la región, entre ellos el río Magdalena, principal aportante de vertimientos de aguas residuales y residuos sólidos al mar Caribe. Fuente: Elaborado por Espinoza, 2024 [22]

3.4. Conservación

Para la conservación de las especies coralinas del país se han tomado diversas medidas. La primera consiste en la inclusión de las áreas coralinas en los parques Nacionales Naturales colombianos: Tayrona, corales del Rosario y San Bernardo [35-37]. La segunda medida consiste en la ejecución del proyecto “Sistema Nacional de monitoreo de arrecifes coralinos en Colombia” la cual busca contribuir con información que sirva para adoptar medidas de manejo [16].

¹ En la ciudad costera de Barranquilla se han encontrado formaciones de roca con microplásticos agregados que se están adhiriendo en el momento de la formación de rocas [19].

La política Nacional Ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios Oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia, propone adoptar medidas de conservación, rehabilitación o restauración de los ecosistemas marinos y sus recursos para preservar la diversidad biológica, para lo cual propone dos estrategias, una “Establecer programas para recuperar, rehabilitar y/o restaurar ecosistemas marinos y costeros, e incorporarlos como áreas de manejo especial dentro de los procesos de ordenamiento territorial”, y dos, “Diseñar y desarrollar programas de conservación de ecosistemas costeros y marinos y especies amenazadas y/o en vía de extinción, para asegurar su sostenibilidad”[23].

Como medidas de conservación para preservar las especies coralinas en Colombia se ha propuesto en primera instancia que las autoridades ambientales obliguen al cumplimiento de las normas de extracción y comercialización contempladas. Además, mejorar la vigilancia de las áreas coralinas mediante el trabajo conjunto de las corporaciones regionales, ampliar los proyectos de señalización de áreas coralinas y de los corredores para el tránsito de lanchas, promover la creación de senderos ecológicos subacuáticos a los cuales se restrinja el acceso de buzos y bañistas en ciertas áreas coralinas.

Como estrategia de conservación para *Diploria labyrinthiformis* y *Colpophyllia natans* está el fomentar programas de monitoreo, investigación y educación con tendencias a reconocer el estado actual y realizar el seguimiento de las poblaciones de coral, realizar una investigación en la biología y repoblamiento natural y artificial de las áreas degradadas y determinar la efectividad de las medidas de manejo tomadas [16].

En cuanto a estrategias de restauración y bajo el concepto de “jardinería” se ha desarrollado un protocolo en dos pasos, el primero de los cuales se centra en la cría de pequeños fragmentos de coral (también llamados fragmentos) en guarderías in situ o ex situ [25]. El segundo paso consta del posterior trasplante de los fragmentos que han alcanzado un tamaño necesario para su supervivencia a áreas arrecifales degradadas [15, 25].

El método de obtención de fragmentos consta de la búsqueda de fragmentos de oportunidad (fragmentos desprendidos naturalmente por rompimiento mecánico como resultado de algún evento externo como tormentas, mar de leva o encallamientos; o por remoción de fragmentos de ciclo de vida de los corales liberadores de gametos e incubadores de larvas [25]. Estos fragmentos son transportados a la guardería para permitir su aclimatación a las condiciones oceanográficas en la misma. Posteriormente, de los fragmentos colectados se obtienen fragmentos más pequeños, los cuales se fijan a un sustrato y se instalan en la guardería para su crecimiento [26]. Existen dos modelos de guarderías in situ, fijas o flotantes, las cuales presentan características asociadas a su uso [26]. Las primeras son instaladas cerca al arrecife y pueden ser de dos tipos: modulares o colgantes (en cuerda, nylon, etc.). El uso de estas guarderías reduce la depredación y los efectos de la sedimentación. Por su parte las guarderías flotantes, que permiten cultivar masivamente colonias de coral a un bajo costo, son instaladas aproximadamente a 200 metros del arrecife más cercano y pueden ser de tres tipos, verticales, a media agua o colgantes [26]. Estas guarderías, en especial aquellas instaladas a media agua, han presentado resultados exitosos en diferentes áreas arrecifales, ya que además de disminuir la depredación y la sedimentación

Por otra parte, la “restauración doble”, es otra estrategia de restauración arrecifal activa, que ha ido tomando fuerza durante los últimos años, esta estrategia combina las técnicas utilizadas en la restauración física, restauración del medio arrecifal con un enfoque de ingeniería proporcionando disponibilidad de sustratos y diversidad topográfica [28], con técnicas usadas en la restauración biológica (trasplante de organismos vivos) [29]. El método de restauración doble más utilizado es la acreción mineral (electrodeposición mineral o ERCORN) [29]. Su objetivo es generar arrecifes semi-artificiales mediante la aplicación de una corriente eléctrica continua sobre una estructura metálica embebida en agua de mar a un bajo voltaje y amperaje entre dos terminales conductivas. Dicha corriente promueve la precipitación y cementación de minerales, lo cual resulta en la creación de un sustrato de carbonato de calcio que mejora y acelera el crecimiento y reproducción de organismos calcificadores [29].

Los arrecifes semi-artificiales generados son estables en el tiempo y permiten el desarrollo de comunidades coralinas y la recuperación de los bienes y servicios de arrecifes degradados [28-29]. En la actualidad, este método se emplea con éxito para restaurar arrecifes degradados, esto responde a que la creación de sustratos promueve el aumento de las tasas de reclutamiento, el crecimiento y la supervivencia de las especies de coral², además de favorecer la ejecución de trasplantes [24].

La restauración doble es recomendada para ser utilizada junto con el cultivo de fragmentos de coral en guarderías ex situ e in situ, ya que puede asegurar el crecimiento y supervivencia de estos [28]. Aun cuando los métodos de restauración mencionados contribuyen a la recuperación de los arrecifes coralinos, la restauración completa de estos ecosistemas tomará años o inclusive décadas [31,32]. Es así como para alcanzar un proceso de restauración adecuado, es necesario que dichos métodos están acompañados de medidas de conservación pasiva³ [24].

² Por ejemplo, este método se usa para la recolección de gametos de coral en la bahía de Gayraca (Parque Nacional Natural Tayrona) en el marco de un proyecto de cría de larvas de coral con fines de restauración [30].

³ La restauración pasiva es el proceso mediante el cual los ecosistemas se recuperan por sí solos cuando no existen tensionantes o se eliminan las barreras que impiden su regeneración en un proceso conocido como restauración pasiva o sucesión natural [33].

4. CONCLUSIONES

- Las especies estudiadas se encuentran en una situación difícil ante la complejidad socioambiental del país para contener la problemática creciente de residuos sólidos y vertimientos líquidos arrojados al mar, esto en atención a la extensión y el volumen de disposición inadecuada enviada directamente a ecosistemas marinos.
- Que el aumento de temperaturas agravado por el cambio climático puede acelerar el riesgo de desaparición de estas especies en el mar, pues la temperatura es un factor que incide en la salud de la vida marina y tiene influencia la degradación metabólica de residuos arrojados al mar.
- Es necesario responder con medidas tecnológicas y de investigación sistemática a la problemática creciente que vulnera la existencia de estas especies de gran relevancia para los arrecifes coralinos
- Urge la necesidad de implementar actividades de restauración arrecifal combinadas tanto en áreas críticas de contaminación como al interior de las áreas marinas protegidas, esto resultaría en un sinergismo positivo entre las estrategias de restauración pasiva y activa.
- Se recomienda impulsar acciones holísticas de restauración y conservación arrecifal, a través de proyectos de investigación aplicada y estrategias de incidencia en políticas públicas de lucha por el control de la disposición de residuos sólidos y tratamiento integral de las aguas residuales vertidas en las desembocaduras de ríos en el mar, principalmente.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Locatelli NS, Baums IB. Genomes of the Caribbean reef-building corals *Colpophyllia natans*, *Dendrogyra cylindrus*, and *Siderastrea siderea*. bioRxiv [Preprint]. 2024 Aug 22:2024.08.21.608299. doi: 10.1101/2024.08.21.608299. PMID: 39229226; PMCID: PMC11370458.
- [2] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (7 de Diciembre de 2021). Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/arrecifes-de-coral-un-patrimonio-que-colombia-restaura-y-conserva/>
- [3] Barreiro Fierro, K. D., & Castro Muñoz, G. A. (2023). Contaminación del Río Magdalena: una Revisión Documental Sobre su Situación Ambiental en el Departamento del Huila. *Erasmus Semilleros De Investigación*, 8(1), 46–51. <https://doi.org/10.25054/2590759X.3985>
- [4] Garzón Ferreira, J., & Rodríguez Ramírez, A. (2000). Estado de los Arrecifes Coralinos en Colombia. Santa Marta: INVEMAR. Obtenido de: https://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/EAMC_2000/INVEMAR_INF_EAMC_2000_03.pdf
- [5] Franke-Ante, R., Zarza, E., Cano-Correa, M., Wong-Lubo, J. A., & Hernández, E. (2014). Aportes a la consolidación de un proceso regional para la conservación de arrecifes coralinos: ensayos para la estandarización de metodologías para el repoblamiento de especies amenazadas del género *Acropora* en tres Parques Nacionales Naturales del Caribe colombiano. *Biota Colombiana*, 15. Recuperado a partir de <https://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/359>
- [6] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (4 de Diciembre de 2015). Noticias Minambiente. Obtenido de <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2164-minambiente-celebra-el-dia-nacional-de-los-arrecifes-de-coral>
- [7] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (05 de Diciembre de 2017). Día Nacional de los Arrecifes de Coral. Obtenido de <https://old.parquesnacionales.gov.co/portal/es/5-de-diciembre-dia-nacional-de-los-arrecifes-de-coral>
- [8] Marquez, A. I. (2016). El mar y la reserva Seaflower. (Centro cultural del Banco de la República en San Andrés) doi:ISBN: 978-958-664-331-3
- [9] Prahl, H. Von y Erhardt, H. 1985. Colombia, corales y arrecifes coralinos. Presencia Ltda. Bogotá, 195 pp. POTTS, D. C.
- [10] Goergen, L., Rodríguez-Martínez, R., Miller, M., Crabbe, J., Banaszak, A. & Vermeij, M. 2022. *Diploria labyrinthiformis*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2022: e.T133257A165799250. Recuperado el 02 de diciembre de 2023.
- [11] Crandall, E. (9 de Marzo de 2022). Naturalista Colombia. Obtenido de <https://colombia.inaturalist.org/photos/183546321>
- [12] Veron, J. E. N. (2000). Corals of the World, Volume III: Families Mussidae, Faviidae, Trachyphylliidae, Poritidae. Australian Institute of Marine Science. Townsville., volume 3, pp. 490.
- [13] Goergen, L. & Vermeij, M. 2022. *Colpophyllia natans*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2022: e.T132884A165613226. Recuperado el 02 de diciembre de 2023.
- [14] FWC Fish and Wildlife Research Institute. (18 de Julio de 2012). Naturalista Colombia. Obtenido de <https://colombia.inaturalist.org/photos/138473>
- [15] Hein MY., McLeod IM., Shaver EC., Vardi T., Pioch S., Boström-Einarsson L., Ahmed M., Grimsditch G. (2020) Coral Reef Restoration as a strategy to improve ecosystem services – A guide to coral restoration methods. United Nations Environment Program, Nairobi, Kenya.
- [16] Giraldo, A. M. (2007). *Estado actual de los corales Acropora cervicornis (Lamarck, 1816), Acropora palmata (Lamarck, 1816) y Diploria labyrinthiformis (Linnaeus, 1758) en el parque nacional natural Corales del Rosario y San Bernardo*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/1196>.
- [17] Hurtado, N. M. (2010). *Estado actual de las poblaciones del coral hermatípico Colpophyllia natans (Houttuyn, 1772) en el área de Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe Colombiano*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/1280>.
- [18] Garay T, J. A., & Vélez G, A. M. (2001). Contaminación Marino-Costera en Colombia. INVEMAR. Obtenido de https://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/EAMC_2001/IEAMCC017ACAM.pdf
- [19] Rodríguez, J. L. (26 de mayo de 2023). Uninorte. Obtenido de <https://www.uninorte.edu.co/web/grupo-prensa/w/rocas-plasticas-investigadores-estudian-la-presencia-de-plastico-en-la-geologia-de-la-costa-caribe>
- [20] United Nations Environment Programme (2021). From Pollution to Solution: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Nairobi.
- [21] De Carvalho-Souza, G. F., Llope, M., Tinóco, M. S., Medeiros, D. V., Maia-Nogueira, R., & Sampaio, C. L. S. (2018). Marine litter disrupts ecological processes in reef systems. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 464–471. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.05.049.

- [22] Espinoza, A. (2024). Mapa general de zonas de vida de especies *Colpophyllia natans* y *Diploria labyrinthiformis* en Colombia. Corporación Cambio Sostenible.
- [23] Bernal, J. B. (2018). *Restauración ecológica de arrecifes de coral como una herramienta de aprovechamiento y manejo integrado de zonas marino-costeras para el caribe colombiano*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/38232>.
- [24] Bahamón Azuero, E. (2007). Detección de virus en tejidos sanos y enfermos en diferentes especies de corales en el Caribe. Uniandes. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/25970>
- [25] Pizarro, V., Carrillo, V., & García-Rueda, A. (2014). Ensayo. Revisión y estado del arte de la restauración ecológica de arrecifes coralinos. *Biota Colombiana*, 15(2),132-149. ISSN: 0124-5376. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49140740009>
- [26] Rinkevich, B. (Mayo de 2006). The Coral Gardening Concept and the Use of Underwater Nurseries. *Coral Reef Restoration Handbook*. doi:10.1201/9781420003796.ch16
- [27] Gil-Agudelo, Diego L., Navas-Camacho, Raúl, Rodríguez-Ramírez, Alberto, Reyes-Nivia, María Catalina, Bejarano, Sonia, Garzón-Ferreira, Jaime, & Smith, Garriet W. (2009). ENFERMEDADES CORALINAS Y SU INVESTIGACIÓN EN LOS ARRECIFES COLOMBIANOS. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 38(2), 189-224. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612009000200010&lng=en&tng=es.
- [28] Edwards, A.J. (ed.) (2010). Reef Rehabilitation Manual. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Program: St Lucia, Australia. ii + 166 pp.
- [29] Hilbertz, W. & Goreau, T.J. (1996) Method of Enhancing the Growth of Aquatic Organisms and Structures Created Thereby. Patent 5543034. United States Patent Office.
- [30] Forero, A. (2012). *Estado actual de salud coralina en las comunidades arrecifales en Chengue y Gayraca, dos bahías del Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe Colombiano*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/1303>.
- [31] Clewell, A.F. y J. Aronson. 2007. Ecological Restoration. Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession. Island Press, Washington, 217 p.
- [32] Morrison, R.J. (2011). Soils of Low Elevation Coral Structures. In: Hopley, D. (eds) *Encyclopedia of Modern Coral Reefs*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2639-2_61
- [33] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/restauracion-2/>
- [34] Garzón Ferreira, J., & Díaz, J. M. (2003). The Caribbean coral reefs of Colombia. *Latin American Coral Reefs*, 275-301. doi:10.1016/B978-044451388-5/50013-8
- [35] Davis, D. & Tisdell, C (2002) Impacto de la actividad turística sobre los arrecifes coralinos del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, Colombia.
- [36] Casas, D. C. (2011). *Estado de conservación de la comunidad arrecifal presente en Isla Fuerte-Bolívar (Colombia)*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/8840>.
- [37] Gallo M & Ríos (2002). Capacidad de carga de visitantes en áreas de buceo de San Andrés Isla (Colombia) Tesis de grado no publicada, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales y Administración del Medio Ambiente, Colombia.
- [38] Mallela, J. (2015). Thermal stress markers in *Colpophyllia natans* provide an archive of site-specific bleaching events. ProQuest.