



**Composición de organismos incrustantes en placas artificiales en el sector de Punta Las Vacas,
Turbo**

Juan Camilo García Chaverra

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ecólogo de Zonas Costeras

Asesores

Mónica María Zambrano Ortiz, Dr. Sc. Biol.

Liseth Johana Arregocés Silva, MSc.

Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Ecología de Zonas Costeras
Turbo, Antioquia, Colombia
2024

Cita	(García-Chaverra, 2024)
Referencia	García-Chaverra, J. C. 2024. Composición de organismos incrustantes en placas artificiales en el sector de Punta Las Vacas, Turbo. [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Turbo, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Biblioteca Sede Ciencias del Mar (Turbo)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexo

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a mi padre y a mis compañeros por su inquebrantable apoyo y constante acompañamiento a lo largo de estos años en la universidad. El respaldo de mi padre ha sido fundamental, no solo en términos económicos, sino también emocionales y motivacionales, proporcionándome la estabilidad necesaria para concentrarme en mis estudios y alcanzar mis metas académicas. Asimismo, la colaboración y el compañerismo de mis colegas han sido invaluable, fomentando un entorno de aprendizaje enriquecedor y estimulante que ha potenciado mi crecimiento personal y profesional. A todos ustedes, gracias por ser parte integral de este importante capítulo de mi vida.

Extiendo mi más sincero agradecimiento al Suboficial Luis Suárez, de la Armada Nacional, por su valiosa colaboración en la movilidad y la gestión de permisos para ingresar al Batallón Fluvial de Infantería Marina No.20 de Turbo, en donde se adelantaron los muestreos, facilitando de manera significativa el desarrollo de este trabajo.

Al personal del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas CIOH, de la Dirección General Marítima – Dimar, quienes lideran el proyecto en el cual se enmarcó la presente investigación, especialmente a Liseth Johana Arregocés Silva, mi co-asesora por su constante apoyo y compromiso con este proyecto; así mismo, a los investigadores Felipe Molina, por su generosa disposición y apoyo con referencias sobre los macroinvertebrados en la zona Caribe, contribuyendo al fundamento científico de este proyecto, a Tatiana Marín, Daniela Rojas y Luis de la Hoz, por acompañarme de manera comprometida durante la instalación y levantamiento de muestras, siempre con entusiasmo y profesionalismo.

A mi asesora y profesora, Mónica María Zambrano Ortiz, quien me guió a lo largo de todo el proceso, brindando orientación y apoyo continuo para la culminación exitosa de este trabajo.

Finalmente, a todas las personas que de forma directa o indirecta hicieron posible el llegar a esta instancia y culminar mi formación profesional, mi más sincero y profundo agradecimiento, su ayuda, conocimiento y dedicación fueron fundamentales para lograr los objetivos propuestos.

Contenido

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1 Planteamiento del problema	12
2 Justificación.....	14
3 Objetivos.....	16
3.1 Objetivo general	16
3.2 Objetivos específicos	16
4 Hipótesis	17
4.1 Hipótesis de trabajo	17
5 Marco teórico	18
5.1 Patrones de asentamiento y sucesión ecológica según época climática.....	19
6 Metodología.....	21
6.1 Área de estudio	21
6.3 Obtención de muestras.....	23
6.3 Recolección y almacenamiento del material adherido a las placas.....	23
6.4 Composición de la comunidad de incrustantes	24
6.5 Identificación de muestras	25
6.6 Análisis de datos	25
7 Resultados	26
7.1 Análisis estadístico	31

8	Discusión.....	34
9	Conclusiones.....	39
10	Recomendaciones.....	40
	Referencias	41

Lista de tablas

Tabla 1. Organismos incrustantes en las placas en los meses de exposición correspondientes a los periodos comprendidos entre abril-agosto / agosto-noviembre	26
Tabla 2. Porcentaje cubierto de las especies incrustantes en las placas de PVC en Punta Las Vacas, Turbo, durante el periodo abril-agosto	29
Tabla 3. Porcentaje cubierto de las especies incrustantes en las placas de PVC en Punta Las Vacas, Turbo, durante el periodo agosto-noviembre	30
Tabla 4. Estadísticas Descriptivas del Porcentaje de Cobertura de Organismos Incrustantes por Periodo.....	31

Lista de figuras

Figura 1. Área de estudio. Sitio de instalación y muestreo de placas en Punta Las Vacas, Turbo.	22
Figura 2. Instalación de placas en el sitio establecido, sector Puna las Vacas, Turbo.....	23
Figura 3. Observación e identificación de organismos mediante el uso de un estereoscopio.....	24
Figura 4. Especies representativas de las muestras obtenidas en el sector de Punta Las Vacas. a) Amphibalanus eburneus, b) Brachidontes spp y c) Crassostrea spp.....	27
Figura 5. Especie perteneciente a la familia Nereididae, encontrada en una de las placas.....	27
Figura 6. Amphibalanus eburneus en las placas expuestas durante el periodo abril-agosto.	28
Figura 7. Organismos presentes en las placas expuestas durante el periodo agosto-noviembre. Cobertura mayoritariamente constituida por fósiles	29
Figura 8. Organismo perteneciente a la familia Alpheidae encontrado en las placas recuperadas correspondientes al periodo agosto-noviembre.....	30
Figura 9. Organismo pertenecientes a la familia Portunidae, registrado en el muestreo correspondiente al periodo de agosto-noviembre	31
Figura 10. Distribución porcentual de la cobertura de organismos incrustantes en los periodos de seguimiento a la colonización en las placas.....	32
Figura 11. Histograma de cobertura de organismos incrustantes en las placas para cada periodo evaluado.....	33

Resumen

Este estudio titulado "Composición de organismos incrustantes en placas artificiales en el sector de Punta Las Vacas, Turbo" tuvo como objetivo principal generar conocimiento sobre la composición de organismos asociados al macrofouling en sustratos artificiales en Punta Las Vacas, Turbo, Antioquia. Para ello, se emplearon placas de PVC suspendidas en el agua a un metro de profundidad durante dos periodos de tres meses cada uno, abarcando desde abril hasta noviembre del 2023. Las muestras se recolectaron, almacenaron y analizaron en laboratorio, identificando organismos hasta la resolución taxonómica más alta posible. Los resultados mostraron la presencia de tres especies principales durante el periodo abril-agosto: *Amphibalanus eburneus*, *Brachidontes spp.*, y *Crassostrea spp.*, con *A. eburneus* destacándose por su dominancia. En el periodo de agosto-noviembre, *Crassostrea spp.* fue la única especie recuperada, y la cobertura de organismos en las placas disminuyó significativamente, con una media del 7.30% comparada con el 63.61% del periodo anterior. Las variaciones en la cobertura y composición de las comunidades de incrustantes se relacionan con cambios en factores ambientales como la temperatura y la disponibilidad de nutrientes, pues se pudo establecer mediante la prueba U de Mann Withney que se presentan diferencias significativas en el porcentaje de cobertura de organismos en las placas expuestas entre épocas climáticas ($p = 0.000328$). Este estudio proporciona información valiosa sobre la dinámica de colonización de organismos incrustantes en ambientes tropicales y sugiere que factores estacionales juegan un papel crucial en la estructuración de estas comunidades.

Palabras clave: Macroinvertebrados incrustantes, Sustrato artificial, estacionalidad, colonización, Punta las Vacas.

Abstract

This study, titled "Composition of Fouling Organisms on Artificial Plates in the Punta Las Vacas Sector, Turbo," aimed to generate knowledge about the composition of organisms associated with macrofouling on artificial substrates in Punta Las Vacas, Turbo, Antioquia. To achieve this, PVC plates were suspended in the water at a depth of one meter for two periods of three months each, spanning from April to November 2023. Samples were collected, stored, and analyzed in the laboratory, identifying organisms to the highest possible taxonomic resolution. The results showed the presence of three main species during the April-August period: *Amphibalanus eburneus*, *Brachidontes spp.*, and *Crassostrea spp.*, with *A. eburneus* being the dominant species. In the August-November period, *Crassostrea spp.* was the only species recovered, and the coverage of organisms on the plates decreased significantly, with an average of 7.30% compared to 63.61% in the previous period. Variations in the coverage and composition of fouling communities were related to changes in environmental factors such as temperature and nutrient availability. It was established through the Mann-Whitney U test that there are significant differences in the percentage of organism coverage on the exposed plates between climatic periods ($p = 0.000328$). This study provides valuable information on the dynamics of fouling organism colonization in tropical environments and suggests that seasonal factors play a crucial role in structuring these communities.

Keywords: Fouling macroinvertebrates, Artificial substrate, Seasonality, Colonization, Punta Las Vacas.

Introducción

La composición de organismos marinos en sustratos artificiales representa un campo de estudio fundamental para comprender las dinámicas ecológicas y la colonización de especies en ambientes modificados por el ser humano. La investigación en este ámbito se basa en metodologías previamente establecidas y adaptadas a las condiciones locales, permitiendo un análisis detallado de la comunidad biológica y su relación con los sustratos artificiales.

La instalación de sustratos artificiales se ha utilizado históricamente para promover la biodiversidad y la producción pesquera. En el Golfo Árabe, por ejemplo, la utilización de troncos de palmera datilera, piedras y otros materiales data de hace más de un siglo, siendo una práctica común para mejorar la captura de peces y apoyar el desarrollo socioeconómico de las comunidades costeras (Feary *et al.*, 2011). Los sustratos artificiales modernos adoptan diversas formas y propósitos, desde estructuras modulares diseñadas específicamente para aumentar el rendimiento pesquero, hasta grandes estructuras no planificadas que surgen como resultado de actividades humanas (Feary *et al.*, 2011).

La investigación de los macroinvertebrados incrustantes en sustratos artificiales es un área de estudio emergente, razón por la cual en muchas regiones se carece de datos relacionados con este tipo de colonización sobre estructuras sumergidas; esta carencia limita la comprensión de los patrones de biodiversidad y los procesos ecológicos subyacentes en estos ecosistemas (Bishop *et al.*, 2017). Los estudios han mostrado que los sustratos artificiales pueden soportar comunidades de peces y otros organismos que, en algunos casos, son comparables o incluso superiores en diversidad a las comunidades en hábitats naturales adyacentes (Evans *et al.*, 2021). Estos resultados resaltan la importancia de estudiar y entender cómo los sustratos artificiales influyen en las comunidades biológicas.

El presente estudio se centró en el sector de Punta Las Vacas, Turbo, Antioquia, una región con una rica diversidad biológica, y un área de gran importancia económica y ambiental. El objetivo de la presente investigación general es el de identificar la composición de organismos

incrustantes en sustratos artificiales, lo cual resulta esencial para evaluar el impacto ambiental de las estructuras creadas por el hombre, y para el desarrollo de estrategias de manejo sostenible (Manríquez *et al.*, 2014; Quesada & Solano, 2020). Al abordar estos aspectos se espera que los resultados de este estudio proporcionen una base científica para futuras investigaciones que aporten al desarrollo de políticas ambientales, contribuyendo al manejo y conservación de los recursos marinos en la región.

1 Planteamiento del problema

Los invertebrados constituyen poblaciones clave en todos los ecosistemas del planeta, particularmente en los marinos (O'Dor & Vanden Berghe, 2012); son los organismos más abundantes y diversos en estos ecosistemas, exhibiendo en gran variedad de adaptaciones que se ven reflejadas en las diversas formas corporales que han adquirido, la forma de conseguir el alimento y la fuente de la cual se alimentan (Ogden & Lobel, 1978; Strathmann, 1985; Smith, 1996). Estas características los hacen fundamentales en los ecosistemas marinos, ya que pueden recircular energía desde diferentes niveles dentro de la red trófica, dejándola disponible en el sistema, para los organismos que ocupan una posición superior en la misma (Menge *et al.*, 1994).

En los ecosistemas costeros del Caribe, se puede encontrar una gran diversidad de comunidades de invertebrados que se asocian a distintos tipos de hábitats como arrecifes de coral, pastos marinos y manglares (Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014); estas comunidades cumplen funciones ecológicas importantes, como la filtración, depredación, herbívora y bioerosión. Entre ellos, los macroinvertebrados son fundamentales en mantener la estructura y productividad de estos ecosistemas. Además, permiten comprender la dinámica del flujo de energía y de los nutrientes, así como de las relaciones tróficas (Gómez, *et al.*, 2020).

Entre los macroinvertebrados más comunes se encuentran crustáceos, moluscos, anélidos, cnidarios, briozoos, esponjas y cordados. Es así como resulta interesante el hecho de que la composición de estas comunidades varía según las condiciones ambientales, la disponibilidad de sustrato y la proximidad a otros ecosistemas (Reyes y Campos, 1992; MoAm, 2019).

Las superficies duras sumergidas en el agua constituyen sustratos para el asentamiento y colonización/desarrollo de diversas especies marinas, que en su conjunto se denominan organismos bio-incrustantes marinos (fouling), constituyendo el ensamble de bio-incrustantes marinos que es definido como el conjunto de especies de invertebrados sésiles o hemisésiles y algas que se adhieren o se desplazan sobre sustratos artificiales manufacturados por el hombre y posicionados en el mar (Hillman, 1977; Railkin, 2004).

Cabe destacar el rol que los organismos incrustantes desempeñan de forma significativa en la estabilidad y resistencia del sustrato, además estos pueden influir en el asentamiento de otras especies, pudiendo facilitar o dificultar su colonización (Bertrán *et al.*, 2010). El biofouling comienza con la formación de una capa de moléculas orgánicas e inorgánicas, conocida como película condicionante, sobre la superficie sumergida. Esta película puede alterar las propiedades de la superficie y facilitar la adhesión de microorganismos, como bacterias y algas, que forman la llamada biopelícula (Smith *et al.*, 2013). La biopelícula puede atraer a organismos incrustantes más grandes, como moluscos y crustáceos, que se adhieren firmemente a la superficie y forman la etapa de incrustación macro (Turner *et al.*, 2014). La composición y estructura de las comunidades de biofouling pueden variar considerablemente dependiendo de factores ambientales, como la temperatura del agua, la salinidad y la disponibilidad de nutrientes (Dobretsov *et al.*, 2014).

La interacción entre el biofouling y el entorno marino es un fenómeno complejo y dinámico. En regiones como el golfo de Urabá, reconocido por su alta biodiversidad, su potencial turístico y sus recursos hidrobiológicos (CORPOURABA, 2005) se destaca la rica fauna marina local, que incluye una variedad de organismos incrustantes, la cual interactúa con las biopelículas formadas en las superficies sumergidas, dando lugar a comunidades a partir del biofouling únicas y diversificadas.

Así, el golfo de Urabá se convierte en un escenario de gran interés para el estudio de organismos incrustantes, y en una zona interesante desde la que se puede generar conocimiento sobre las implicaciones ecológicas asociadas a este grupo de organismos.

Es poco lo que se conoce sobre la composición de este grupo de organismos en el golfo de Urabá, el cual constituye una zona de importancia estratégica del país por su biodiversidad, recursos y accesos hidrobiológicos (CORPOURABA, 2005), por razón la cual se planteó abordar la carencia de información relacionada con biofouling en la zona mejor preservada en el área urbana del municipio de Turbo, por lo que se planteó la siguiente pregunta: ¿Cuál es la composición de los organismos incrustantes en sustratos artificiales en el sector de Punta Las Vacas?.

2 Justificación

El estudio de la composición de organismos incrustantes en sustratos artificiales es crucial para entender las dinámicas ecológicas y los procesos de colonización en ambientes modificados por el ser humano. En regiones como el golfo de Urabá, entre las que se encuentra el sector de Punta Las Vacas, Turbo, Antioquia, se presenta una rica diversidad biológica y una gran importancia económica y ambiental, la falta de datos específicos sobre los organismos incrustantes limita la capacidad de desarrollar estrategias de manejo ambiental efectivas y sostenibles.

La instalación de sustratos artificiales ha sido utilizada históricamente para promover la biodiversidad y la producción pesquera (Feary *et al.*, 2011); estas estructuras no solo sirven como hábitats para diversas especies, sino que también pueden influir en la estructura y función de los ecosistemas marinos. Estudios previos han demostrado que los sustratos artificiales pueden albergar comunidades biológicas cuya diversidad es comparable o incluso superior a la presente en los hábitats naturales adyacentes (Evans *et al.*, 2021). Sin embargo, la falta de estudios específicos en el golfo de Urabá representa un vacío significativo en la comprensión de estos ecosistemas.

Para Colombia se tienen algunos estudios asociados organismos incrustantes particularmente en el Caribe, es así como se ha hecho seguimiento a estos organismos en cascos de buques, muelles (Gracia *et al.*, 2011), boyas (Gracia *et al.*, 2011; Pineda-Osorio y Cañón-Páez, 2022) y plataformas de gas (Gracia *et al.*, 2013), se ha generado información a partir de estudios de línea base de macromoluscos incrustantes en sustratos naturales y artificiales, como pilotes y boyas del canal de acceso del tráfico marítimo en la bahía de Cartagena (Suárez, 2011) y a nivel de sustratos artificiales, se cuenta con la publicación de García y Salzwedel (1993). La carencia de información relacionada con este grupo de organismos es evidente, pues solo se cuenta con algunos estudios para sitios específicos en San Andrés, Cartagena, Santa Marta y la Guajira, evidenciando ausencia de datos para la mayor parte del territorio marino costero del país.

Teniendo en cuenta lo anterior, la carencia de información limita la comprensión de los patrones de biodiversidad y los procesos ecológicos subyacentes, lo que a su vez afecta la capacidad de implementar prácticas de manejo sostenible (Bishop *et al.*, 2017); razón por la cual, conocer la

composición de esta comunidad resulta esencial para evaluar el impacto ambiental de las estructuras creadas por el hombre y para el desarrollo de estrategias de manejo que maximicen los beneficios ecológicos y socioeconómicos de estos sustratos.

La necesidad de generar conocimiento a partir del estudio de la composición de organismos incrustantes en sustratos artificiales reviste gran importancia, ya que el biofouling puede llegar a constituir un gran problema debido a las consecuencias negativas sobre muchas de las actividades que se realizan en torno al mar, siendo estas muy variadas. Además, la relevancia de este trabajo se destaca en la literatura científica, que subraya la necesidad de estudios detallados en áreas específicas para comprender mejor los patrones de biodiversidad y los procesos ecológicos asociados con los sustratos artificiales (Ramírez & Gutiérrez-Fonseca, 2014; Walteros Rodríguez *et al.*, 2020).

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Generar conocimiento relacionado con la composición de organismos asociados a macrofouling en sustratos artificiales en el sector de Punta Las Vacas, Turbo, Antioquia.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar los porcentajes de cobertura de organismos incrustantes acuerdo con la colonización registrada en placas de PVC.
- Identificar los grupos de organismos incrustantes en estructuras artificiales, ubicadas en el sector de Punta de las Vacas.
- Determinar los cambios en la composición y porcentaje de cobertura de organismos incrustantes de acuerdo con la temporada climática.

4 Hipótesis

4.1 Hipótesis de trabajo

La colonización y composición de organismos incrustantes en placas artificiales en el sector de Punta Las Vacas, Turbo, Antioquia, está determinada por las condiciones ambientales características de cada época climática.

5 Marco teórico

Los estudios sobre la composición de las especies juegan un papel crucial, ya que en primer lugar aportan información fundamental para la conservación y restauración de la biodiversidad frente a los contaminantes generados por la actividad antropogénica. En segundo lugar, el conocimiento de la respuesta de las especies a diferentes gradientes ambientales es importante para separar los efectos de la contaminación de los efectos de las variables ambientales en la estructura de una comunidad (Rossaro y Pietrangelo, 1993). Por último, estudiar estos aspectos permite desarrollar herramientas de bioevaluación más fiables para detectar cambios que afecten la integridad del ecosistema, ya que, en la mayoría de los casos, las alteraciones ambientales conducen a cambios en la composición y estructura de la comunidad (Jun, 2016).

La caracterización de estas comunidades bentónicas es compleja y depende de múltiples factores que varían en el tiempo y el espacio. Entre estos factores se encuentran la naturaleza y el tamaño de los sedimentos (Tenore, 1972), las fluctuaciones climáticas (Hessler y Sanders, 1967) y las alteraciones antrópicas (Elmgren, 2001; Rabalais *et al.*, 2009). Estos factores influyen en la disponibilidad y calidad de los recursos tróficos, la estructura del hábitat y las interacciones bióticas que determinan la distribución y diversidad de las especies bentónicas (Mistri *et al.*, 2000).

Es fundamental profundizar en el conocimiento de las comunidades bentónicas y su papel ecológico para establecer una clasificación biogeográfica marina regional que oriente las acciones de conservación y manejo en el mar Caribe colombiano. Pese a la importancia de generar información sobre la biodiversidad y la necesidad de adelantar estudios que amplíen este conocimiento, en Colombia aún no se ha desarrollado una clasificación biogeográfica marina regional que sirva como base para el manejo y establecimiento de áreas marinas protegidas (Costello *et al.*, 2010).

No obstante, gracias a los datos recopilados por Miloslavich *et al.* (2010), es posible estimar tanto el número de especies existentes como el de especies bentónicas en el mar Caribe colombiano. Estas estimaciones indican que Colombia ocupa el cuarto lugar en términos de contribución a la diversidad regional del Caribe, con 1618 especies registradas hasta ese momento.

El estudio de Pineda-Osorio y Cañón-Páez (2022) titulado "Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados marinos asociada a sustratos duros artificiales en la bahía de Cartagena" proporciona un contexto valioso para esta investigación. Este trabajo se centró en identificar y analizar las comunidades de macroinvertebrados marinos en boyas, utilizadas como sustratos artificiales durante distintas épocas climáticas en 2018 y 2019. Los autores identificaron un total de 9573 individuos distribuidos en 57 taxa, incluyendo especies invasoras como un molusco bivalvo.

Este estudio es un referente importante para el desarrollo de la presente investigación, la cual está encaminada a estudiar la "Composición de organismos incrustantes en placas artificiales en el sector de Punta Las Vacas, Turbo", pues también se busca generar conocimiento sobre las comunidades de organismos asociados a macrofouling en sustratos artificiales. Las similitudes en los contextos marinos tropicales y los desafíos comunes, como la invasión de especies no nativas y la variabilidad de las comunidades en respuesta a factores ambientales, destacan la importancia de este tipo de investigaciones encaminadas a comprender mejor las dinámicas ecológicas en diferentes áreas del Caribe colombiano.

5.1 Patrones de asentamiento y sucesión ecológica según época climática

La relación entre el clima y la sucesión de los macroinvertebrados incrustantes en placas se puede explicar por el efecto de la temperatura y la salinidad sobre el reclutamiento, el crecimiento y la supervivencia de las especies (Valdovinos *et al*, 2010 & Walteros *et al*, 2016). Es así como la temperatura afecta la tasa metabólica, la reproducción y el desarrollo larval de los organismos, mientras que la salinidad determina la disponibilidad de agua y la osmorregulación. Las épocas más secas y cálidas favorecen el reclutamiento y el crecimiento de los macroinvertebrados incrustantes, mientras que las más lluviosas y frías reducen la supervivencia y aumentan la competencia y la depredación.

Algunos de los macroinvertebrados incrustantes en placas sumergidas durante los periodos correspondientes a época seca son moluscos, crustáceos y anélidos (Roldán-Pérez, 2016; Walteros-Rodríguez y Castaño-Rojas, 2020; Gómez *et al.*, 2019); estos grupos presentan diferentes

adaptaciones morfológicas y comportamentales para resistir las variaciones de caudal, temperatura y oxígeno que se presentan durante este periodo climático. Por ejemplo, algunos efemerópteros y plecópteros tienen branquias abdominales que les permiten captar el oxígeno disuelto en el agua, mientras que algunos tricópteros construyen estuches con materiales del sustrato que les brindan protección y camuflaje (Roldán-Pérez, 2016).

En épocas húmedas, se ha reportado que algunos grupos de macroinvertebrados incrustantes aumentan su densidad y cobertura en las placas dispuestas, entre ellos se encuentra los briozoos y los hidrozoos (Roldán-Pérez, 2016). Estos animales se benefician de la mayor disponibilidad de alimento y de la menor competencia por el espacio que se genera en esta época. Por el contrario, otros grupos como las esponjas y los poliquetos disminuyen su presencia en las placas debido a la mayor turbidez del agua y a la menor calidad del sustrato (Durán Bautista *et al.*, 2018), estos organismos prefieren condiciones más estables y claras para desarrollarse.

Teniendo en cuenta lo anterior, el clima húmedo tropical de Turbo con su estacionalidad influye en el comportamiento y distribución de los macroinvertebrados incrustantes en placas sumergidas, cambiando la estructura de la comunidad de acuerdo con estas variaciones. Las épocas secas y cálidas favorecen el reclutamiento y crecimiento de ciertos grupos, mientras que las épocas lluviosas y frías reducen la supervivencia y aumentan la competencia. Estas adaptaciones y cambios en la densidad de las especies demuestran cómo los factores abióticos entre los que se destacan la temperatura y la salinidad juegan un papel crucial en la ecología de estos organismos en el entorno acuático.

6 Metodología

6.1 Área de estudio

El Golfo de Urabá es estuarino, parcialmente cerrado, situado en la región suroeste del Mar Caribe colombiano, entre las coordenadas $08^{\circ} 41' 7,3''$ N $77^{\circ} 21' 50,9''$ W (Figura 1). Al norte, el golfo limita con el Mar Caribe, mientras que al sur recibe el flujo de varios ríos, como el Río Atrato y el Río León; y comparte frontera con Panamá, cruzando la zona costera en cabo Tiburón (INVEMAR, 2023).

En la zona sur del golfo se encuentra el distrito de Turbo, ubicado en la subregión de Urabá, en Antioquia, Colombia. El municipio de Turbo ha sido designado como un distrito especial portuario, logístico, industrial, turístico y comercial por la Ley 1883 de 2018; se sitúa en una zona de clima tropical, entre las latitudes $8^{\circ} 05' 35''$ N y $76^{\circ} 43' 42''$ W. El clima de Turbo es tropical húmedo, con una temperatura media anual de 28°C y una precipitación media anual de 3000 mm. Las estaciones climáticas se definen por la variación de la lluvia, siendo más seca entre diciembre y marzo, y más lluviosa entre abril y noviembre.

El sitio de estudio se localiza en las coordenadas $8^{\circ} 04' 2''$ N y $76^{\circ} 44' 6''$ W (figura 1). Aunque esta zona es menos poblada con respecto al resto del municipio, esta constituye un punto de tránsito para las embarcaciones turísticas. Por lo tanto, este sitio ofreció una perspectiva completa sobre la salud ecológica de los macroinvertebrados incrustantes en este sector del golfo, ubicado en el distrito de Turbo.

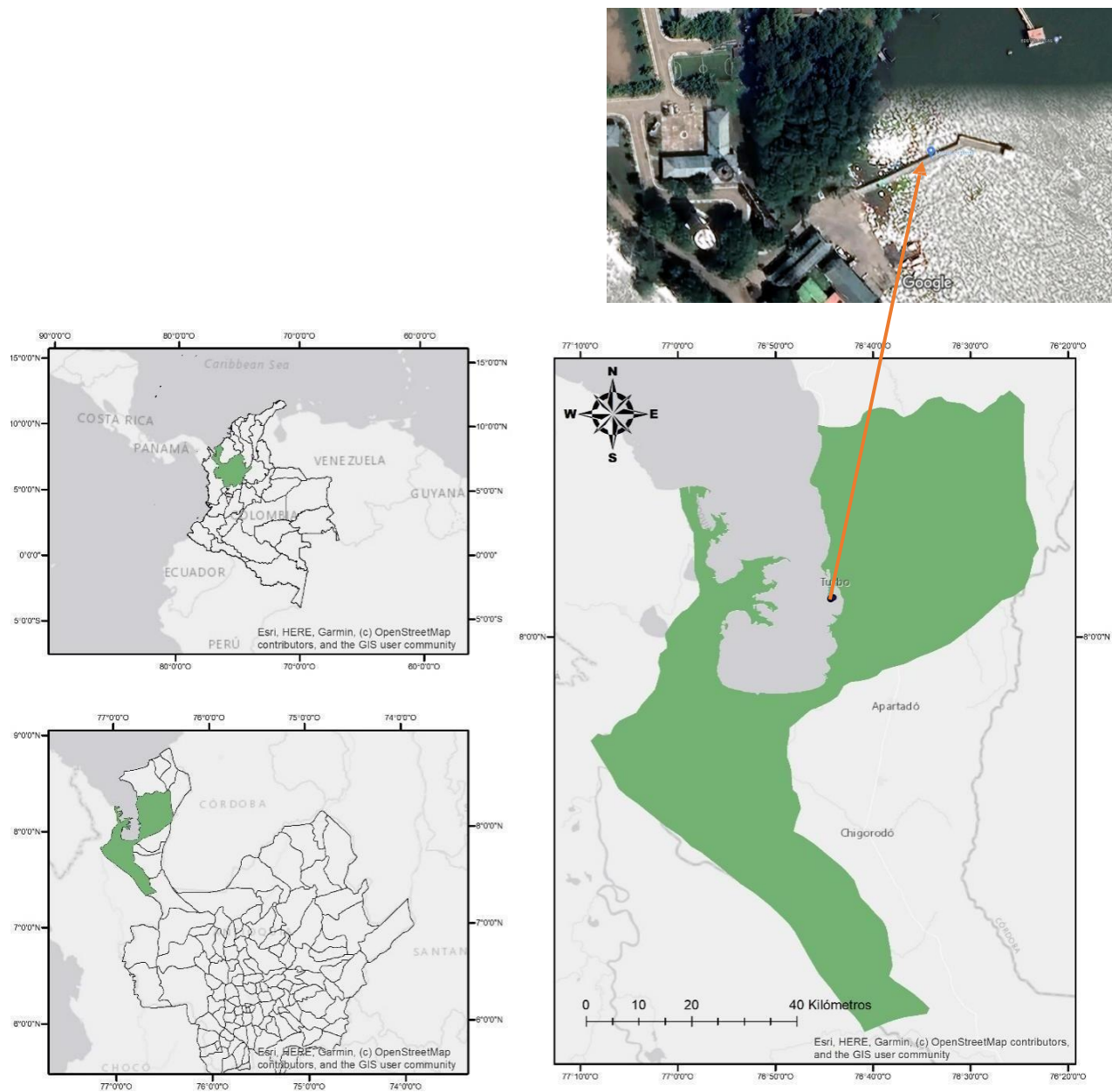


Figura 1. Área de estudio. Sitio de instalación y muestreo de placas en Punta Las Vacas, Turbo.

6.2 Instalación de placas

Para el seguimiento a la colonización de organismos marinos se implementó el método de las placas de asentamiento, basado en el protocolo del Centro de Investigación Ambiental Smithsonian (SERC). Este método implica suspender en el agua placas de PVC lijadas (15 x 15 cm), a una profundidad de un metro durante tres meses. Transcurrido este periodo de tiempo, se

instalación de otras seis (06) placas en el mismo sitio. El sitio y la manera en que se instalaron las placas se presenta en la figura 2.

6.3 Obtención de muestras

Transcurridos los tres meses de instalación de las primeras placas, estas fueron recuperadas y se procedió a analizar la colonización por parte de los organismos, y a adelantar la identificación de las especies presentes. Así mismo, el segundo grupo de placas, fijado inmediatamente, tras la extracción de las primeras, fue retirado luego de transcurrido el mismo periodo de exposición desde su implementación (tres meses) para hacer la comparativa entre los periodos evaluados (abril a agosto y agosto-noviembre).



Figura 2. Instalación de placas en el sitio establecido, sector Puna las Vacas, Turbo.

6.3 Recolección y almacenamiento del material adherido a las placas

Tras la recuperación de cada una de las placas, de acuerdo con el periodo establecido, se raspó la parte trasera y los laterales de estas para que solo quedaran los organismos que se asentaron sobre la parte delantera (orientada hacia abajo). Se pusieron las placas en una bolsa Ziploc adicionando un poco de agua de mar y etiquetando para su adecuada identificación. El

procedimiento se realizó empleando guantes y herramientas que permitieran cortar y raspar como alicates y espátulas, este proceso se repitió con cada placa.

6.4 Composición de la comunidad de incrustantes

En el laboratorio, cada placa recolectada se depositó en un contenedor y se añadió suficiente agua de mar para que quedara justo cubierta. Para adelantar el análisis de la comunidad presente en las placas, se procedió a secar cada placa, posteriormente se colocaron sobre una mesa donde se utilizó papel milimetrado para determinar el área ocupada por los organismos en la placa y de esta manera, el porcentaje de cobertura. Con la ayuda de un estereoscopio se registraron los organismos que se encontraban adheridos a la placa (figura 3).

Los organismos se identificaron hasta la resolución taxonómica más alta posible. De otra parte, aquellos organismos que estaban sobre el sustrato, pero no directamente adheridos, fueron registrados como “dosel”. No se incluyeron las algas en el proceso de análisis, tampoco se incluyeron los restos de organismos, estos fueron catalogados como fósiles.



Figura 3. Observación e identificación de organismos mediante el uso de un estereoscopio.

6.5 Identificación de muestras

La identificación de los organismos se realizó empleando guías especializadas entre las que se encuentran las descritas en el artículo de Celis *et al.* (2007), por Aguirre, M (2006). Además, se emplearon ilustraciones de Kasmini & Batubara (2022) como recurso visual en el proceso de identificación.

En el caso de los especímenes catalogados como dosel, se recurrió a las guías de Arteaga Flórez & Londoño Mesa (2016), Vera Caripe *et al.* (2022) y Varila Vargas (2004) para la identificación y clasificación taxonómica.

6.6 Análisis de datos

Se organizaron los datos correspondientes a los porcentajes de cobertura obtenidos para cada periodo evaluado. A continuación, se adelantaron análisis de estadística descriptiva (media, mediana, mínimos y máximos registrados) para cada conjunto de datos. Estos cálculos permitieron obtener un resumen de la tendencia central y la dispersión de los datos.

Para comparar las coberturas entre los dos periodos evaluados se verificó el tipo de distribución presentado por el conjunto de datos. Dado que los datos no cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, se aplicó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney, esta prueba es útil para determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre dos conjuntos de datos independientes.

Dado que para el segundo periodo evaluado solo pudieron recuperarse dos de las seis placas expuestas, fue necesario manejar los datos obtenidos como réplicas, trabajando con cada conjunto por triplicado; de esta manera, para el primer conjunto de datos se contó con un total de 18 registros (partiendo de las seis iniciales) y seis registros para el segundo conjunto de datos (a partir de las dos placas recuperadas).

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Python, empleando las bibliotecas “numpy” y “scipy.stats”. Se escribieron scripts en Python para automatizar los cálculos de estadística descriptiva y la prueba U de Mann-Whitney.

7 Resultados

Se registró incrustación de organismos en todas las placas recuperadas, y tras analizar la composición en cada una de ellas se hizo una clasificación de los organismos presentes en dos grupos: incrustantes y dosel. La discriminación de los organismos presentes en cada grupo se relaciona en la tabla 1.

Tabla 1. Relación de organismos incrustantes en las placas expuestas en el sector de Punta de las Vacas en los periodos comprendidos entre abril-agosto / agosto-noviembre.

Abril - agosto			
Tipo de organismos	Familia	Género	Especie
INCRUSTANTES	Balanidae	<i>Amphibalanus</i>	<i>Eburneus</i>
	Mytilidae	<i>Brachidontes</i>	<i>Sp</i>
	Ostreidae	<i>Crassostrea</i>	<i>Sp</i>
DOSEL	Nereididae	-	-
Agosto-noviembre			
INCRUSTANTES	Ostreidae	<i>Crassostrea</i>	<i>Sp</i>
DOSEL	Alpheidae	-	-
	Portunidae	-	-

Para el periodo correspondiente a abril-agosto se destacó la presencia de tres especies de macroinvertebrados incrustantes por su frecuencia y abundancia en el sitio de muestreo: *Amphibalanus eburneus*, *Brachidontes spp.* y *Crassostrea spp* (figura 4), hallando también un espécimen catalogado como dosel, perteneciente a la familia Nereididae (figura 5).

El análisis del porcentaje de cobertura realizado a las placas recuperadas, correspondientes al primer periodo de exposición (abril-agosto) reveló cambios significativos entre ellas, registrando

variaciones que oscilaron entre el 39% y el 90% de cobertura. El porcentaje de cobertura en cada placa se relaciona en la tabla 2.

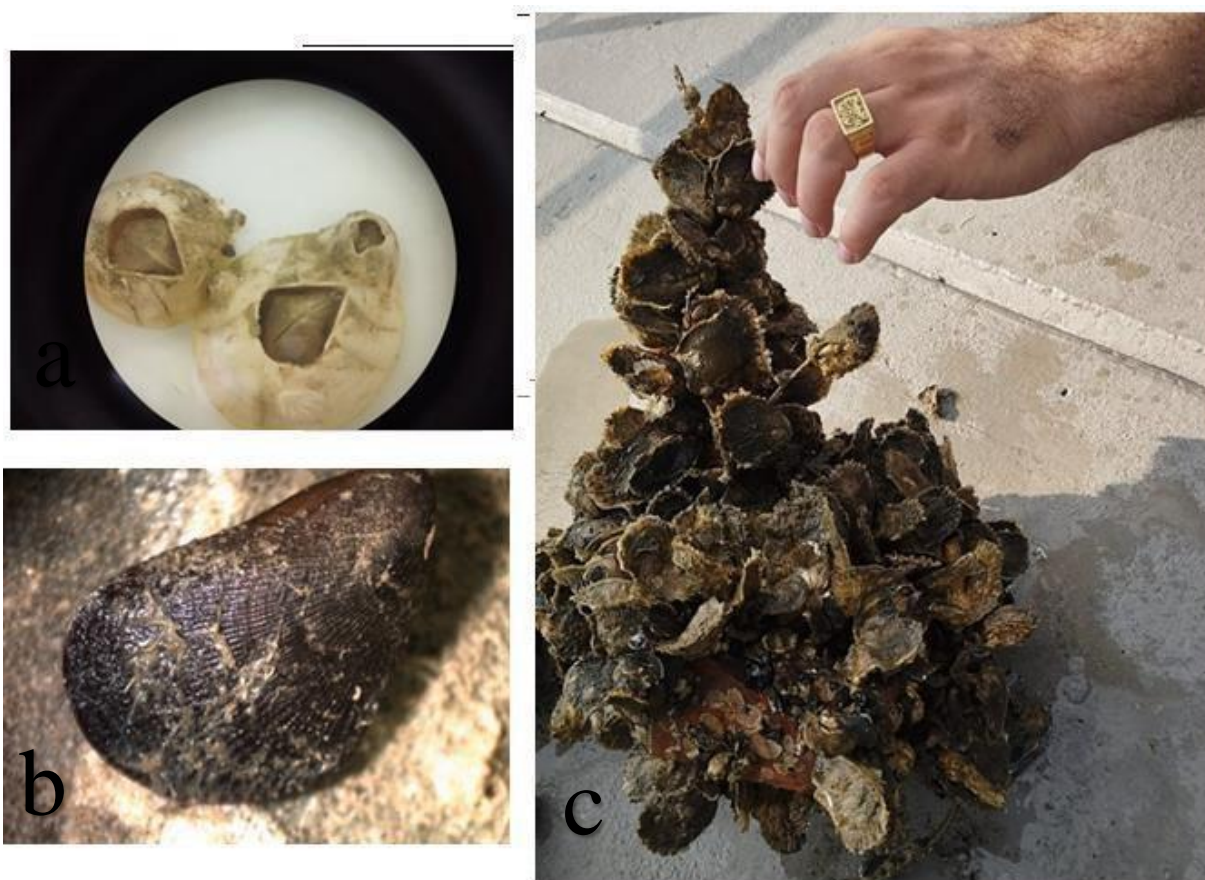


Figura 4. Especies representativas de las muestras obtenidas en el sector de Punta Las Vacas. a) *Amphibalanus eburneus*, b) *Brachidontes spp* y c) *Crassostrea spp*.

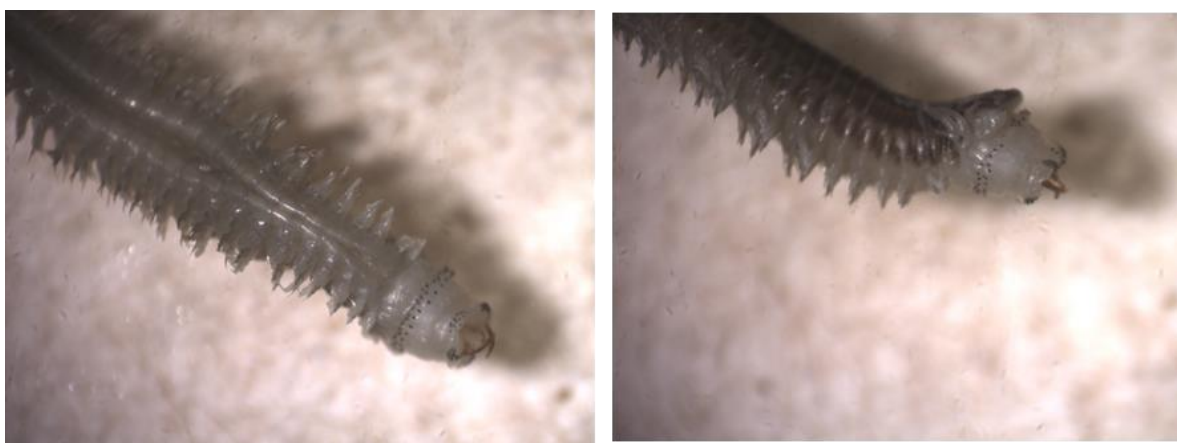


Figura 5. Especie perteneciente a la familia Nereididae, encontrada en una de las placas.

Durante el periodo de abril a agosto, *Amphibalanus eburneus* emergió como la especie dominante, este crustáceo cirrípedo mostró una notable proliferación, superando a otras especies en términos de cobertura en las placas. En la figura 6 se observa una placa colonizada totalmente por organismos de esta especie.



Figura 6. *Amphibalanus eburneus* en las placas expuestas durante el periodo abril-agosto.

De otra parte, de las seis placas expuestas durante el periodo correspondiente a los meses de agosto a noviembre solo se pudieron recuperar dos; en ellas se identificó la presencia de *Crassostrea spp* como el único género presente vivo o completo de macroinvertebrados incrustantes (tabla 2). También se encontraron estructuras de organismos de otras especies, sin embargo, estos no se tuvieron en cuenta dado que se reportan como fósiles (figura 7).

Con respecto al porcentaje de cobertura, se observó una disminución significativa en las placas en comparación con el período anterior. Los datos revelan para las placas 1 y 2 el porcentaje de cobertura corresponde a un 6.43% y 8.97% respectivamente (tabla 3). Estas placas presentaron organismos pertenecientes a las familias Alpheidae (figura 8) y otros posiblemente de la familia Portunidae (figura 9).

Tabla 2. Porcentaje de cobertura por especies incrustantes en las placas de PVC durante el periodo abril-agosto.

Placa	Porcentaje de cobertura (%)
1	39
2	87
3	52
4	39.5
5	90
6	82

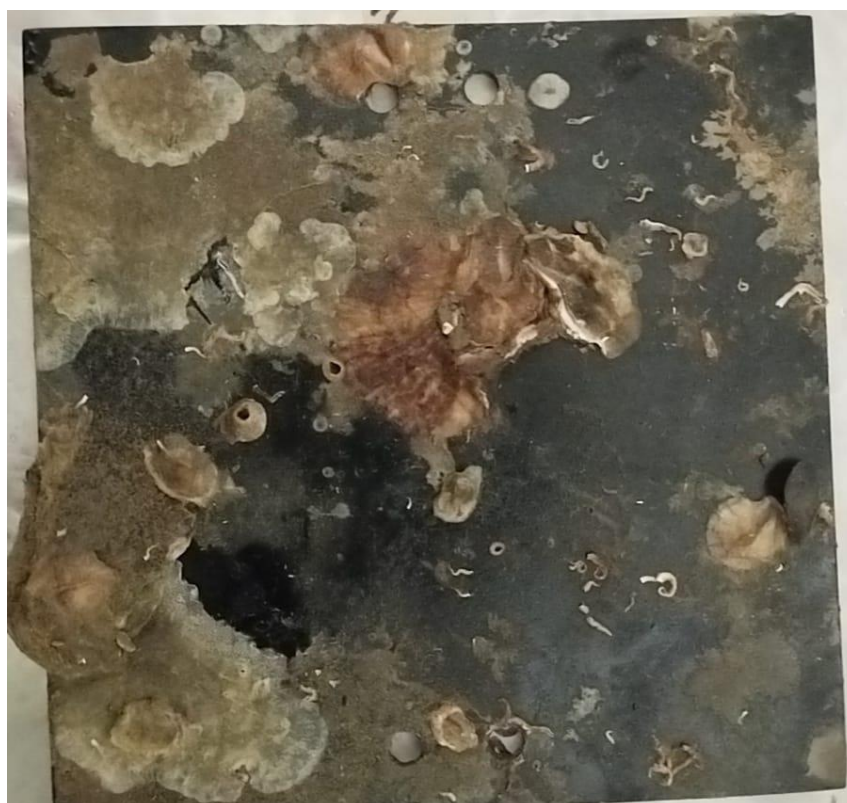


Figura 7. Organismos presentes en las placas expuestas durante el periodo agosto-noviembre. Cobertura mayoritariamente constituida por fósiles.

Tabla 3. Porcentaje de cobertura por especies incrustantes en las placas expuestas, durante el periodo agosto-noviembre.

Placa	Porcentaje cubierto
1	6.43%
2	8.97%



Figura 8: Organismo perteneciente a la familia Alpheidae encontrado en las placas recuperadas correspondientes al periodo agosto-noviembre.



Figura 9: Organismo pertenecientes a la familia Portunidae, registrado en el muestreo correspondiente al periodo de agosto-noviembre.

7.1 Análisis estadístico

Los datos relacionados con el análisis de estadística descriptiva se calcularon para cada uno de los periodos evaluados, estos proporcionan un resumen de las tendencias centrales y la dispersión de los datos y se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Estadística descriptiva para los porcentajes de cobertura de organismos incrustantes por periodo evaluado.

Período	Media	Mediana	Mínimo	Máximo
Abril-Agosto	63.61	52.0	39.0	90.0
Agosto-Noviembre	7.30	6.43	6.43	8.97

La media del porcentaje de cobertura en el periodo de abril a agosto fue de 63.61, con una mediana de 52.0. De otra parte, en el periodo de agosto a noviembre, la media fue

significativamente menor, con un valor de 7.30 y una mediana de 6.43, indicando una cobertura baja y una menor variabilidad.

En la figura 10 se observa que la cobertura registrada durante el periodo abril-agosto (izquierda) en el que se registró una mayor variabilidad y valores más altos en comparación con el periodo agosto-noviembre (derecha). Las líneas asociadas a los bigotes de la caja para el periodo abril-agosto indican mayor dispersión con respecto al periodo agosto-noviembre, en el que la caja es mucho más pequeña, reflejando una menor variabilidad y cobertura.

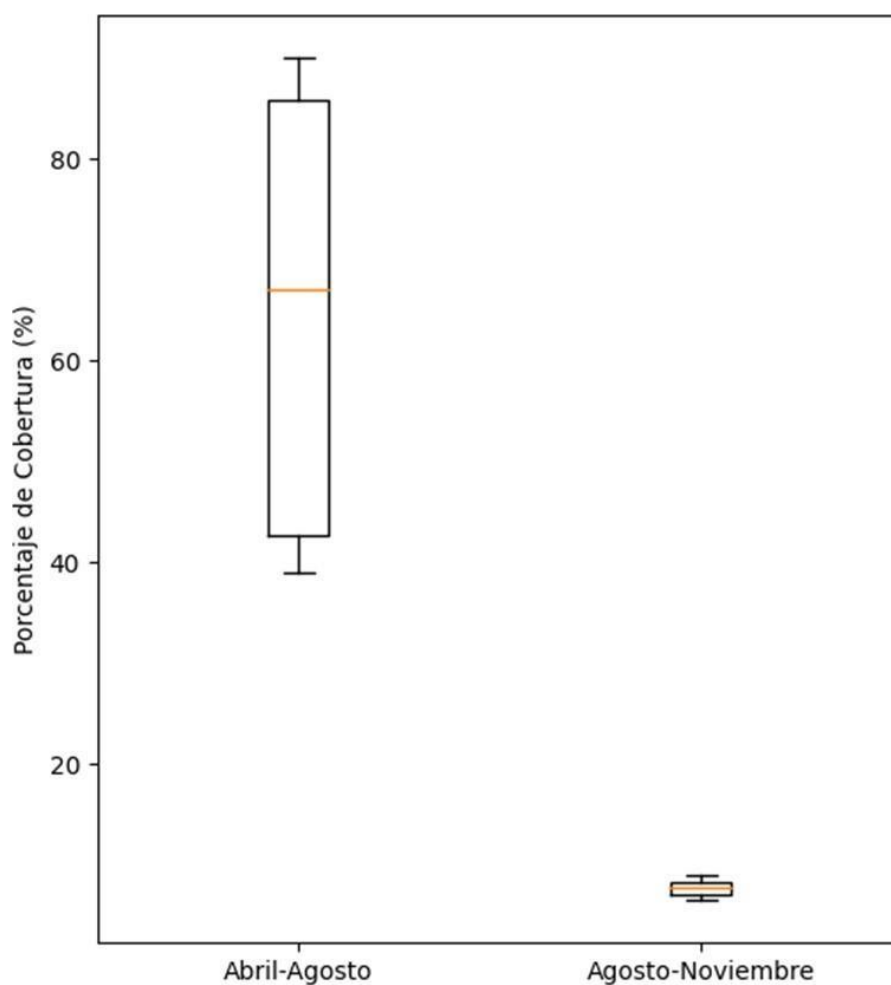


Figura 10: Distribución porcentual de la cobertura de organismos incrustantes en los periodos de seguimiento a la colonización en las placas.

La figura 11 refuerza esta observación, mostrando que los valores de cobertura en abril-agosto se distribuyen a lo largo de un rango amplio y tienen frecuencias variadas. En contraste, en el periodo agosto-noviembre, la mayoría de los valores de cobertura son bajos y se concentran en un rango estrecho, indicando que la cobertura fue consistentemente baja durante este periodo.

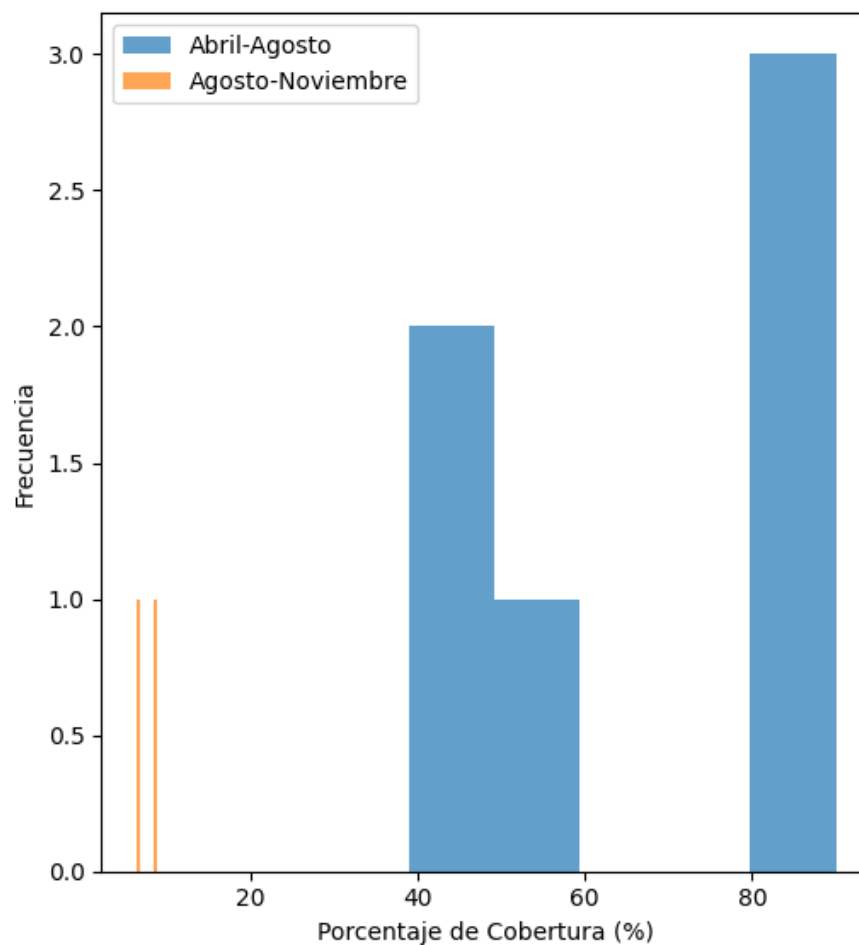


Figura 11. Histograma de cobertura de organismos incrustantes en las placas para cada periodo evaluado.

Los resultados de la prueba U de Mann-Whitney (U calculada = 108.0, $p = 0.000328$) confirman que estas diferencias son estadísticamente significativas, con una mediana y

distribución mucho mayor en el periodo abril-agosto en comparación con el periodo agosto-noviembre. La estadística.

8 Discusión

La colonización por seres vivos pioneros de superficies vírgenes y el posterior desarrollo y sustitución que lleva al ecosistema a albergar las comunidades que puedan ser catalogadas de estables, se produce en el mar con una rapidez claramente más acusada que en ecosistemas terrestres (González *et al*, 2001). Estos procesos, aunados a condiciones ambientales como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, transparencia, profundidad, disponibilidad de nutrientes, diversidad de sustrato entre otros, son decisivos en la fase de colonización y en los procesos de sucesión de la comunidad asociada a estructuras sumergidas.

Los factores ambientales pueden ser determinantes en la composición y distribución de la comunidad bentónica, es así como el análisis de los porcentajes de cobertura realizado a las placas expuestas mediante la prueba U de Mann-Whitney arrojó diferencias significativas entre los períodos evaluados ($p=0.000328$). Esto indica que es altamente improbable que la diferencia observada en la cobertura de organismos incrustantes entre abril-agosto y agosto-noviembre se deba al azar. En el periodo de abril a agosto, se observó una media de cobertura del 63.61%, mientras que, en el periodo de agosto a noviembre, la media fue significativamente menor, con un 7.30%. Estas diferencias reflejan las variaciones en factores ambientales, como la temperatura y la disponibilidad de nutrientes, que podrían influir en la colonización y desarrollo de los organismos incrustantes.

Conocer la composición de este grupo de organismos en estructuras sumergidas de la zona resulta de gran importancia dado que es posible encontrar especies exógenas que se distribuyen principalmente en áreas portuarias, favorecidas por condiciones ambientales propicias y por el tráfico marítimo internacional, tal y como lo indican Roux y Bastida (1990); al igual que un componente local correspondiente a las comunidades endémicas (Bastida, 1971). El biofouling puede generar impactos negativos en el ser humano, a la vida animal y vegetal, a las actividades

económicas y culturales y al medio acuático (MEPC.1/ Circ.792, 2012), razón por la cual el seguimiento a estas comunidades resulta de gran interés.

La tendencia en cuanto a colonización de sustratos observada en este estudio sugiere una mayor estabilidad y oportunidad de colonización por parte de invertebrados durante los meses de mayor temperatura y productividad biológica. Este patrón es consistente con lo descrito por Odum (1969), quien postuló que las condiciones ambientales y la producción primaria son factores cruciales en la colonización y el desarrollo de las comunidades bentónicas. Sokołowski *et al.* (2017) también reportaron una mayor cobertura y densidad de las comunidades bentónicas durante los períodos de alta producción primaria, lo que respalda la idea de que las condiciones ambientales favorables son determinantes en la estructura de las comunidades bentónicas.

Para Punta Las Vacas, se identificaron tres especies predominantes de macroinvertebrados incrustantes durante el período abril-agosto: *Amphibalanus eburneus*, *Brachidontes spp.*, y *Crassostrea spp.* Estos resultados presentan similitud con los hallazgos de Pineda-Osorio y Cañón-Páez (2022), quienes reportaron una alta abundancia de *Amphibalanus eburneus* en los sustratos artificiales de la bahía de Cartagena. Sin embargo, en su estudio, los mitílidos como *Mytella charruana* fueron dominantes, mientras que, para el sector de Puna Las Vacas, *Crassostrea spp.* fue más representativo, ya que estuvo presente en ambos periodos temporales.

En el estudio realizado en la Bahía de Cispatá entre abril y agosto de 2006, se observó una presencia continua de larvas del género *Crassostrea spp.*, con un aumento significativo en la abundancia larval en los meses de mayo y junio. Este hallazgo es consistente con estudios previos para la región del Caribe, donde se ha reportado la presencia de larvas de este género a lo largo de todo el año. Las diferencias en las abundancias larvales observadas, que fueron superiores a 500 larvas/m³ en mayo y menores a 250 larvas/m³ en agosto, indicando una variación temporal significativa que no se relaciona directamente con las variables fisicoquímicas medidas en el estudio. Estos resultados sugieren que la presencia de *Crassostrea spp.* en diferentes periodos puede considerarse un indicador de ambientes relativamente sanos y estables, al menos en términos de la capacidad del ecosistema para soportar una población de ostras viable.

Pese a lo anterior, es importante considerar que la mera presencia de larvas no garantiza la ausencia de contaminantes u otros factores adversos. Por lo tanto, mientras que la presencia de *Crassostrea spp* puede ser un buen indicio de salud ambiental, el análisis de la calidad ambiental debe ser complementado con otros biomarcadores y una evaluación completa del estado del ecosistema (Mejía Torres, 2008).

De otra parte, *Amphibalanus eburneus* fue la especie dominante en el primer periodo de la investigación, situación que puede explicarse por varias características biológicas y ecológicas que le otorgan una ventaja competitiva. *A. eburneus* es una especie euryhalina, capaz de tolerar una amplia gama de salinidades, generalmente entre 15 y 20 psu, lo que le permite una estrategia de alimentación generalista, dándole la capacidad de consumir diversos tipos de partículas orgánicas, desde fitoplancton y zooplancton hasta detritos de origen tanto natural como antropogénico, esta versatilidad le confiere una ventaja competitiva significativa sobre otras especies de alimentación más selectiva de acuerdo con lo descrito por Freeman *et al* (2018).

Es importante destacar que *A. eburneus* muestra una notable plasticidad trófica, situación que le permite adaptarse a cambios espaciales y temporales en la disponibilidad de recursos alimenticios. La composición isotópica de *A. eburneus* varía según las condiciones locales del agua, reflejando su capacidad de integrar diferentes fuentes de carbono y nitrógeno en su dieta, incluyendo aquellas derivadas de actividades antropogénicas como el vertido de aguas residuales. Esta capacidad no solo subraya la importancia ecológica de la especie, sino que también la posiciona como una especie centinela, capaz de indicar cambios en el ambiente (Freeman *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2022).

La relación observada entre la desaparición de *A. eburneus* y *Brachidontes spp.* durante el período de agosto a noviembre puede explicarse a través de la función ecológica que desempeñan los cirrípedos en los ecosistemas marinos. Según el artículo de Curelovich & Calcagno (2014), *A. eburneus* es una de las especies clave en la colonización inicial de sustratos duros, creando condiciones favorables para el reclutamiento de otros invertebrados, incluidos los bivalvos mitílidos. Este cirrípedio modifica el sustrato, facilitando el asentamiento de especies como *Brachidontes spp.*, que pueden aprovechar los microhábitats y la protección estructural que ofrecen

las colonias de *A. eburneus*. La desaparición de *A. eburneus* en el estudio coincide con la disminución de *Brachidontes spp.*, lo que sugiere una dependencia ecológica crítica. Sin *A. eburneus*, los mitílidos pueden encontrar dificultades para asentarse y sobrevivir debido a la falta de un ambiente modificado que ofrezca protección y recursos adecuados. Esta relación resalta la importancia de *A. eburneus* no solo como un colonizador primario, sino también como un facilitador esencial para la estabilidad y diversidad de las comunidades de macroinvertebrados marinos.

De acuerdo con el último informe del Climate Prediction Center (CPC-NCEP) del año 2023, las anomalías atmosféricas en el océano Pacífico ecuatorial son consistentes con un débil fenómeno El Niño, en el que la temperatura superficial del mar (TSM) para el Pacífico ecuatorial oriental y central estuvo por encima del promedio, con una probabilidad mayor al 90% de que El Niño persistiera. Para el trimestre de julio-agosto-septiembre (JAS) de 2023, se estimó en un 97% de probabilidad de que El Niño entrara en su fase positiva, en contraste con una escasa probabilidad del 3% de condiciones Neutrales.

Esta situación resulta de suma importancia ya que *A. eburneus* es una especie con ventajas adaptativas, pero las condiciones extremas de El Niño pueden afectarla negativamente. La investigación del IDEAM (2023) reporta un incremento gradual en la temperatura del agua desde agosto a septiembre, lo que pudo agravar los impactos sobre *A. eburneus* y otras especies sensibles a las variaciones térmicas.

Esta tendencia también fue observada por Pineda-Osorio y Cañón-Páez (2022), quienes documentaron cambios en la comunidad de macroincrustantes asociados a variables ambientales estacionales. La mayor variación en la cobertura y composición en estaciones influenciadas por descargas continentales y aguas oceánicas en la bahía de Cartagena subraya la importancia de factores ambientales en la estructuración de estas comunidades.

Estudios adelantados en regiones similares a la del área de estudio han reportado patrones de colonización y diversidad de especies que semejan el comportamiento registrado por los organismos en Punta Las Vacas, es así como Sousa (1980) observó una alta cobertura de

organismos en sustratos artificiales durante períodos cálidos, mientras que Pacheco *et al.* (2010) documentaron una disminución en la cobertura de organismos incrustantes durante estaciones más frías o de menor productividad. De manera similar, en el estudio de Sokołowski *et al.* (2017), se observó que la colonización inicial de los sustratos artificiales fue rápida, coincidiendo con períodos de alta producción primaria, pero la estabilidad y convergencia hacia comunidades naturales tardaron más tiempo en establecerse, indicando etapas sucesionales avanzadas.

9 Conclusiones

El presente estudio ha generado conocimiento significativo sobre la composición de organismos asociados a macrofouling en sustratos artificiales en el sector de Punta Las Vacas, Turbo, Antioquia. A continuación, se presentan las conclusiones:

Las diferencias en cobertura de organismos incrustantes registradas entre los periodos evaluados reflejan variaciones en factores ambientales como temperatura y nutrientes, que afectan la colonización de las estructuras disponibles

La especie *A. eburneus* fue dominante en las estructuras de fijación en el periodo correspondiente a abril-agosto debido a su tolerancia a diversas salinidades y su alimentación generalista, mientras que *Crassostrea spp.* estuvo presente en ambos periodos, indicando su capacidad para prosperar en medio de diversas condiciones ambientales.

Las diferencias en composición y cobertura de organismos entre los periodos estudiados subrayan la influencia de las condiciones ambientales, registrando una mayor estabilidad y colonización durante abril-agosto (época seca), con una reducción significativa en agosto-noviembre.

La desaparición de *Brachidontes spp.* durante el muestreo correspondiente a la época húmeda resalta la importancia de *A. eburneus* no solo como colonizador primario, sino también como facilitador esencial para la estabilidad y diversidad de las comunidades de macroinvertebrados marinos.

La presencia de *Crassostrea spp.* durante el periodo de seguimiento sugiere un ambiente relativamente sano y estable, ya que se evidencia su permanencia en el ecosistema y, por ende, una buena calidad del mismo.

10 Recomendaciones

Para mejorar la comprensión de las dinámicas de las comunidades de organismos incrustantes en sustratos artificiales en Punta Las Vacas, se sugieren las siguientes recomendaciones:

1. **Ampliación del Periodo de Estudio:** Se recomienda extender el periodo de estudio para cubrir diferentes años y estaciones, lo que permitirá una evaluación más completa y robusta de las tendencias temporales en la colonización y desarrollo de organismos incrustantes. Un periodo de estudio más prolongado también ayudará a identificar patrones interanuales y posibles anomalías climáticas que puedan influir en la dinámica de estas comunidades.
2. **Aumento del Tamaño de la Muestra:** Incrementar el número de placas de PVC y otros sustratos artificiales para obtener una muestra más representativa. Un mayor tamaño de muestra mejorará la precisión de los análisis estadísticos y permitirá detectar diferencias significativas con mayor confiabilidad.
3. **Diversificación de Métodos de Muestreo:** Utilizar una variedad de métodos de muestreo y análisis, como la fotografía submarina, análisis de video y técnicas moleculares para identificar especies. Esto ayudará a obtener una visión más completa de la composición y diversidad de las comunidades de macrofouling junto a los sucesos antropogénicos alrededor del área de estudio.
4. **Estudio de Factores Ambientales:** Investigar de manera detallada los factores ambientales, como la temperatura del agua, la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y las corrientes marinas, que podrían estar influyendo en la colonización y desarrollo de organismos incrustantes. Monitorear estos parámetros en paralelo con el muestreo biológico proporcionará una mejor comprensión de las relaciones causales.

Referencias

- Arteaga Flórez, C., & Londoño Mesa, M. H. (2016). neréididos (nereididae, polychaeta, annelida) asociados a raíces de mangle rojo, rhizophora mangle, en islas san andrés y providencia, caribe colombiano. *Boletín De Investigaciones Marinas Y Costeras*, 44(1). <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2015.44.1.25>
- Aguilera, A., Arregocés, L. y Andrade. E. (2018). Invertebrados marinos bioincrustantes en el casco del buque ARC “20 de Julio”. *Bol. Cient. Bol. Cient.CIOH* (36):3-16. ISSN 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI: 10.26640/22159045.435
- Aguirre, M. L., Perez, S. I., & Sirch, Y. N. (2006). Morphological variability of *Brachidontes swainson* (Bivalvia, Mytilidae) in the marine Quaternary of Argentina (SW Atlantic). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 239(1-2), 100-125.
- Bishop, M. J., Mayer-Pinto, M., Airoidi, L., Firth, L. B., Morris, R. L., Loke, L. H. L., Hawkins, S. J., Naylor, L. A., & Coleman, R. A. (2017). Effects of ocean sprawl on ecological connectivity: impacts and solutions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 492, 7-30. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2017.01.021>
- Bastida, R. (1971). Las incrustaciones biológicas en el puerto de Mar del Plata, periodo 1966/67. . *Mus. Arg. Cs. Nat. B. Rivadavia, Hidrobiol.*, 3 (2), 203-285.
- Bertrán, C., Vargas-Chacoff, L., Peña-Cortés, F., Schlatter, R., Tapia, J., & Hauenstein, E. (2010). Distribución de la macrofauna bentónica en el lago costero Budi, Sur de Chile. *Revista de biología marina y oceanografía*, 45(2), 235-243. recuperado de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572010000200005>
- Bonilla Urrutia, N. S. (2020). Macroinvertebrados asociados a diferentes sustratos presentes en el Golfo de Urabá 2018. v1.0. Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacifico John Von Neumann (IIAP). Dataset/Occurrence. <https://doi.org/10.15472/2zfilo>

- Celis, A., Rodríguez-Almaráz, G., & Álvarez, F. (2007). Los cirripedios torácicos (Crustacea) de aguas someras de Tamaulipas, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78(2), 325- 337.
- CORPOURABA. (2005). Plan de manejo ambiental regional del golfo de Urabá. Apartadó: CORPOURABA.
- Curelovich, J.; Calcagno, J. (2014). Cirripedia. Los invertebrados marinos. Publisher: Vazquez Mazzini Editores, Editors: J. A. Calcagno. 211- 221 pp.
- Carvalho Neta, R. N. F., Mota Andrade, T. de S. de O., de Oliveira, S. R. S., Torres Junior, A. R., da Silva Cardoso, W., Santos, D. M. S., ... Brito, N. M. (2019). Biochemical and morphological responses in *Ucides cordatus* (Crustacea, Decapoda) as indicators of contamination status in mangroves and port areas from northern Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-019-04849-0
- Costello, M. J., Coll, M., Danovaro, R., Halpin, P., Ojaveer, H., & Miloslavich, P. (2010). A census of marine biodiversity knowledge, resources, and future challenges. *PLoS ONE*, 5 (8): e12110.
- Dobretsov, S., Thomason, J., & Williams, D. N. (Eds.). (2014). *Biofouling methods* (Vol. 530). Chichester: Wiley Blackwell.
- Durán Bautista, E. H., Rodríguez Suárez, L., & Suárez Salazar, J. C. (2018). Relación entre macroinvertebrados y propiedades del suelo bajo diferentes arreglos agroforestales en la Amazonia-Andina, Caquetá, Colombia. *Acta Agronómica*, 67(3), 395-402.
- Elmgren, R. (2001). Understanding Human Impact on the Baltic Ecosystem: Changing Views in Recent Decades. *Ambio*, 30(4/5), 222–231. Recuperado de: <http://www.jstor.org/stable/4315140>

- Evans, A., Moore, P., Louise, F., Smith, R., & Sutherland, W. (2021). Enhancing the biodiversity of marine artificial structures global evidence for the effects of interventions.
- Feary, D. A., Burt, J. A., & Bartholomew, A. (2011). Artificial marine habitats in the Arabian Gulf: review of current use, benefits and management implications. *Ocean & Coastal Management*, 54(10), 742-749.
- Freeman, C. J., Janiak, D. S., Mossop, M., Osman, R., & Paul, V. J. (2018). Spatial and temporal shifts in the diet of the barnacle *Amphibalanus eburneus* within a subtropical estuary. *PeerJ*, 6, e5485.
- Gracia, A., Cruz, N., Borrero, G., Báez, D. y Santodomingo, N. (2013). Invertebrados marinos asociados con las plataformas de gas en la guajira (Caribe colombiano). *Bol. Invest. Mar. Cost.* 42 (2), 361-386.
- Gracia, A., Medellín, J., Gilagudelo, D. y Puentes, V. (2011). Guía de las especies introducidas marinas y costeras de Colombia. Bogotá, Colombia: INVEMAR, serie de publicaciones especiales No 23. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 135 pp.
- García, C. y Salzwedel, H. (1993). Recruitment patterns of sessile invertebrates onto fouling plates in the bay of Santa Marta, Colombian caribbean. *Bol. investig. mar. Cost.* vol.22 no.1, 30 - 44.
- Gómez, J., Cedeño, J., & Cedeño, A. (2019). Análisis de macroinvertebrados bentónicos e índices bióticos en el río Sardinas (Loja-Ecuador) durante las épocas lluviosa y seca del año 2018. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 8(2), 215-228.
- Gómez, J., Ríos, L., & Martínez, Y. (2020). Composición y aspectos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos presentes en una microcuenca de cabecera en los Andes de Risaralda, Colombia. Recuperado de: [Vista de Composición y aspectos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos presentes en una microcuenca de cabecera en los Andes de](#)

González, J.A., Bueno, I. & Benarroch, A. (2001). El fouling para la enseñanza de los ecosistemas y sus cambios. una propuesta didáctica. publicaciones, 31, 111-132.

Hillman RE. 1977. Techniques for monitoring reproduction and growth of fouling organisms at power plant intakes. In: Manríquez, P.H., Fica, F., Ortiz, V & Castilla, J.C. (2014) Bio-incrustantes marinos en el canal de Chacao, Chile: un estudio sobre potenciales interacciones con estructuras manufacturadas por el hombre. Revista de Biología Marina y Oceanografía 49(2): 243-265,

INVEMAR. 2023. Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2023. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 242 p.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2023). Climatología Mensual. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/21021/125463657/09_Boletín_Climatológico_Septiembre_2023.pdf/d8fc255b-4209-4e95-b9de-46fa53d033da?version=1.0

Jun, Yung-Chul, Nan-Young Kim, Sang-Hun Kim, Young-Seuk Park, Dong-Soo Kong, and Soon-Jin Hwang. (2016). Spatial Distribution of Benthic Macroinvertebrate Assemblages in Relation to Environmental Variables in Korean Nationwide Streams” Water 8, no. 1: 27. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/w8010027>

Kim, J., Ubagan, M., Kwon, S., Kim, I. H., & Shin, S. (2022). Variation in genetics, morphology, and recruitment of the invasive barnacle *Amphibalanus eburneus* (Gould, 1841) in the southern Korean peninsula. PeerJ, 10, e14002.

Menge, B.A., Berlow, E.L., Blanchette, C.A., Navarrete, S.A. & Yamada, S.B. (1994). “The keystone species concept: variation in interaction strength in a rocky intertidal habitat”,

Ecological Monographs, Vol. 64, pp. 249-286.

MEPC.1/Circ.792. (2012). Guidance for minimizing the transfer of invasive aquatic species as biofouling (hull fouling) for recreational craft. International Maritime Organization. London. 7 pp.

Manríquez, P. H., Fica, E., Ortiz, V., & Castilla, J. C. (2014). Bio-incrustantes marinos en el canal de Chacao, Chile: un estudio sobre potenciales interacciones con estructuras manufacturadas por el hombre. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 49(2), 243- 265

Mejía Torres, L. A. (2008). Variación espacio temporal de la larva de la ostra de mangle *Crassostrea* (Guilding, 1828), de abril a agosto de 2006, en la Bahía de Cispatá, Caribe colombiano.

Mistri, M., Fano, E. A., Rossi, G., Caselli, K., & Rossi, R. (2000). Variability in Macrobenthos Communities in the Valli di Comacchio, Northern Italy, a Hypereutrophized Lagoonal Ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51(5), 599–611. doi:10.1006/ecss.2000.0697

MoAm. 2019. Caracterización Ecológica y de la Diversidad en los Ecosistemas de Arrecifes de Coral y Pastos Marinos en la Jurisdicción de Corpamag, Caribe colombiano. Delgadillo-G O (Ed.). Corporación Autónoma Regional del Magdalena - CORPAMAG y MoAm. Contrato No. 260 Informe Técnico Final ITF-DN2-2019. MoAm S.A.S. Santa Marta, Colombia. 195 p

Ministerio de Defensa Nacional. (2023). Boletín Meteomarino Mensual Caribe Colombiano (N° 122, Agosto 2023). Dirección General Marítima, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). https://cecoldodigital.dimar.mil.co/3208/1/dimarcioh_23394099_2023_bol_meteomarino_caribe_122.pdf

- Miloslavich, P., Díaz, J. M., Klein, E., Alvarado, J. J., Díaz, C., Gobin, J., & Robertson, R. (2010). Marine biodiversity in the Caribbean: regional estimates and distribution patterns. *PloS one*, 5(8), e11916. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011916>
- O’Dor, R. & Vanden Berghe, E. (2012). *Hidden Beneath the Seas*; World Policy Institute: New York, NY, USA, 101–108
- Ogden, J.C. & Lobel, P.S. (1978), “The role of herbivorous fishes and urchins in coral reef communities “, *Env. Biol. Fish*, Vol. 3, No. 1, pp. 49-63.
- Odum, E. P. (1969). The strategy of ecosystem development. *Science*, 164(3877), 262-270.
- Osorio, M. C. P., & Páez, M. L. C. (2022). Caracterización de la comunidad de macroinvertebrados marinos asociada a sustratos duros artificiales en la bahía de Cartagena, durante 2018 y 2019 en diferentes épocas climáticas. *Boletín Científico CIOH*, 41(1).
- Padilla-García, C. A., Tamaris-Turizo, C. E., & Sierra-Labastidas, T. K. (2022). Colonización por macroinvertebrados acuáticos en dos sustratos en un río de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia. *Caldasia*, 44(3), 583-593.
- Pacheco, A. S., Thiel, M., & Oliva, M. (2010). The effects of habitat architecture on epifaunal assemblages associated with the kelp *Lessonia trabeculata* (Phaeophyta: Laminariales). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 388(1-2), 45-55.
- Pineda-Osorio, D. E., & Cañón-Páez, M. L. (2022). Dinámica espacio-temporal de los macroinvertebrados marinos asociados a sustratos artificiales en la bahía de Cartagena, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 41(1), 1-23.
- Quesada-Alvarado, F., & Solano-Ulate, D. (2020). Colonización de macroinvertebrados acuáticos en tres tipos de sustratos artificiales, en un río tropical. *Revista de Biología Tropical*, 68(Supl. 2), S68-S78.

- Hessler, R., & L. Sanders, H. (1967). Faunal diversity in the deep-sea. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 14(1), 65–78. doi:10.1016/0011-7471(67)
- Roux, A., & Bastida, R. (1990). The occurrence of *Sphaeroma serratum* (Fabricius) in the Western South Atlantic (Crustacea: Isopoda). *Proc. Biol. Soc. Wash.* 103 (2), 350-350.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 335-358. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Railkin, A I. (2004). Marine biofouling. Colonization processes and defenses, In: Manríquez, P.H., Fica, F., Ortiz, V., & Castilla, J.C. (2014) Bio-incrustantes marinos en el canal de Chacao, Chile: un estudio sobre potenciales interacciones con estructuras manufacturadas por el hombre. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 49(2): 243-265,
- Reyes, R., & Campos, N.H. (1992). Macroinvertebrados colonizadores de raíces de *Rhizophora* mangle en la bahía de Chengue, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR* 21(1): 113-127
- Rossaro, B., & Pietrangelo, A. (1993). Macroinvertebrate distribution in streams: a comparison of CA ordination with biotic indices. *Hydrobiologia*, 263, 109-118.
- Rabalais, N. N., Turner, R. E., Diaz, R. J., & Justic, D. (2009). Global change and eutrophication of coastal waters. *ICES Journal of Marine Science*, 66(7), 1528–1537. doi:10.1093/icesjms/fsp047
- Ramírez, A., & Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2014). Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras. *Revista de Biología Tropical*, 62(Suppl. 2), 9-20. Recuperado de: [Redalyc.Estudios sobre macroinvertebrados acuáticos en América Latina: avances recientes y direcciones futuras](#)

- Strathmann, R.S. (1985), "Feeding and nonfeeding larval development and life-history evolution in marine invertebrates", *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, Vol. 16, pp. 339-361.
- Suarez, N. (2011). Levantamiento de la línea base de Macromoluscos (Bivalvia- Gastropoda) en la bahía de Cartagena, Caribe Colombiano como contribución a la gestión de agua de lastre en el territorio nacional. Tesis de pregrado. Universidad del Magdalena. Facultad de Ciencisa. Santa Marta, D.T.C.H. 46-71.
- Smith, Müller, W. E. G., Wang, X., Proksch, P., Perry, C. C., Osinga, R., Gardères, J., & Schröder, H. C. (2013). Principles of biofouling protection in marine sponges: A model for the design of novel biomimetic and bio-inspired coatings in the marine environment? *Marine Biotechnology*, 15(4), 375–398
- Sousa, W. P. (1980). The responses of a community to disturbance: the importance of successional age and species' life histories. *Oecologia*, 45(1), 72-81.
- Speight, M. R., & Henderson, P. A. (2010). *Marine Ecology: Concepts and Applications*. John Wiley & Sons.
- Sokołowski, A., Zajaczkowski, M., & Kuklinski, P. (2017). Seasonal and multi-annual patterns of colonisation and growth of sessile benthic fauna on artificial substrates in the brackish low-diversity system of the Baltic Sea. *Hydrobiologia*, 785(1), 113-126. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-3043-9>
- Smith S.D.A, & Rule, M.J. (2002), "Artificial substrata in a shallow sublittoral habitat: do they adequately represent natural habitats or the local species pool?", *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 277, pp. 25-41.
- Tenore, K. R. (1972). Macrobenthos of the Pamlico River Estuary, North Carolina. *Ecological Monographs*, 42(1), 51–69. doi:10.2307/1942230

- Turner., Vanysacker, L., Boerjan, B., Declerck, P., & Vankelecom, I. F. J. (2014). Biofouling ecology as a means to better understand membrane biofouling. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(16), 8047–8072
- Vera Caripe, A., & Bonilla-Rivero, & Lira, C (2022). estado actual del conocimiento de los camarones alféidos (crustacea: decapoda: alpheididae): taxonomía, filogenia y biogeografía. 61(2). 72-134.
- Varila Vargas, D. A. (2004). Diversidad y distribución de los crustáceos decápodos del infraorden Brachyura de la plataforma continental y talud superior de la parte norte del Pacífico Colombiano.
- Valdovinos, C., Kiessling, A., Mardones, M., Moya, C., Oyanedel, A., Salvo, J., Olmos, V., & Parra, Ó. (2010). Distribución de macroinvertebrados (Plecoptera y Aeglidae) en ecosistemas fluviales de la Patagonia chilena: ¿Muestran señales biológicas de la evolución geomorfológica postglacial?. *Revista chilena de historia natural*, 83(2), 267-287. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2010000200008>
- Walteros Rodríguez, J. M, Castaño Rojas, J. M., & Marulanda Gómez J. H (2016). Ensamble de macroinvertebrados acuáticos y estado ecológico de la microcuenca Dalí-Otún, Departamento de Risaralda, Colombia. *Hidrobiológica*, 26(3), 359-371. Recuperado en 22 de julio de 2023, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000300359&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972016000300359&lng=es&tlng=es)
- Walteros-Rodríguez, J. M., & Castaño-Rojas, J. M. (2020). Composición y aspectos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos presentes en una microcuenca de cabecera en los Andes de Risaralda, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 44(171), 581-593. Recuperado de: <https://doi.org/10.18257/raccefyfyn.1085>
- Zapata Valenzuela, E.P. (2020). Organismos planctónicos transportados en el agua de lastre de

buques que arriban al golfo de Urabá, y su posible adaptación a las condiciones fisicoquímicas del golfo. Trabajo de grado para optar al título de Oceanógrafo. Universidad de Antioquia.