

Evaluación de los disturbios presentes en el área de restauración de arrecifes en Isla Fuerte,
Caribe Colombiano.

Evaluation of the disturbances present in the reef restoration area in Isla Fuerte, Colombian
Caribbean.

Trabajo de grado

Presentado como requisito parcial para optar por el título de BIÓLOGO

DARIO ALEJANDRO VALBUENA VALENZUELA

CARRERA DE
BIOLOGÍA
FACULTAD DE
CIENCIAS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA



Bogotá, D.C. Junio de 2024

Evaluación de los disturbios presentes en el área de restauración de arrecifes en Isla Fuerte,
Caribe Colombiano.

Evaluation of the disturbances present in the reef restoration area in Isla Fuerte, Colombian
Caribbean.

DARIO ALEJANDRO VALBUENA VALENZUELA

FABIO GÓMEZ-DELGADO MSc

Director

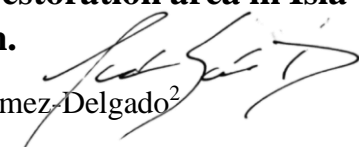
Pontificia Universidad Javeriana

Junio 2024

Evaluación de los disturbios presentes en el área de restauración de arrecifes en Isla Fuerte, Caribe Colombiano.

Evaluation of the disturbances present in the reef restoration area in Isla Fuerte, Colombian Caribbean.

Darío Alejandro Valbuena Valenzuela¹ - Fabio Gómez-Delgado²



1. Estudiante Programa de Biología, Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Colombia.
2. Profesor Departamento de Biología – Facultad de Ciencias – Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Colombia

valbuenavd@javeriana.edu.co

Resumen

El principal objetivo de este trabajo fue identificar los disturbios que afectan a los corales en el área de restauración de Isla Fuerte y evaluar cuál es la incidencia de estos disturbios. El estudio se desarrolló en la zona oriental de la isla, entre los arrecifes coralinos de bajo Cebolleta y Alicia. Se empleó la técnica de fototransecto por punto intercepto para identificar los disturbios presentes. Estos clasificaron en enfermedades (infecciones de origen microbiano) y afecciones (cambios físicos de los corales, como blanqueamiento, bioerosión y cobertura algal). Se registró un total de 4 disturbios. A partir de ello se concluyó que el estado de salud del arrecife es crítico y requiere medidas inmediatas de conservación. Es esencial que la comunidad de la isla tome conciencia sobre la importancia de proteger los corales y tome acciones para preservar este valioso ecosistema.

Palabras clave: Disturbios, arrecifes coralinos, afecciones y enfermedades

Introducción

Los arrecifes coralinos se consideran ecosistemas análogos a los bosques lluviosos, en términos de biodiversidad y variedad de bienes y servicios ecosistémicos que proveen (Zambrano et al., 2022). Es uno de los ecosistemas más diversos, ya que logran albergar el 70% de la biodiversidad marina, además son de gran importancia económica, turística y recreacional debido a que generan unos bienes y servicios a las comunidades costeras (Acosta & Jaramillo-González, 2009).

Los arrecifes coralinos se consideran ecosistemas análogos a los bosques lluviosos, en términos de biodiversidad y variedad de bienes y servicios ecosistémicos que proveen (Zambrano et al., 2022). Es uno de los ecosistemas más diversos, ya que logran albergar el 70% de la biodiversidad marina,

además son de gran importancia económica, turística y recreacional debido a que generan unos bienes y servicios a las comunidades costeras (Acosta & Jaramillo-González, 2009).

Un disturbio se define como cualquier evento discreto en el tiempo que altera la estructura de un ecosistema, comunidad o población, ocasionando cambios en la distribución de los recursos, la disponibilidad de sustratos y/o las características del ambiente físico (Barrera & Valdés, 2007).

Trabajos anteriormente realizados en la zona del presente estudio, concluyen que las actividades ejercidas en la isla como la contaminación, pesca, buceo y el turismo han podido provocar disminución en la cobertura de coral vivo, y favoreciendo a la presencia de disturbios como las enfermedades coralinas, el aumento de la cobertura de algas, el

blanqueamiento de los corales, lo que causa una reducción en la riqueza y cobertura de coral (Bernal, 2012; Pardo, 2013). El disturbio lo podemos clasificar en enfermedades coralinas y en afecciones coralinas.

En las últimas décadas las enfermedades en corales se han vuelto más comunes siendo responsable de mortalidades masivas y reducciones de cobertura coralina en todo el mundo (Gil-Agudelo, Et al., 2009). Las enfermedades que reportan Bernal en el 2012 y Forero y Gómez en 2020 para la comunidad arrecifal de la isla son las siguientes:

La Enfermedad de Banda Blanca (EBB), se caracteriza por la presencia de una banda blanca de esqueleto recientemente desnudado de tejido, adyacente a un frente necrótico de tejido de aspecto normal. La banda blanca se origina en la base de las ramas y progresa hacia la parte superior de la colonia en una forma concéntrica (Gladfelter, 1982).

La Enfermedad de Banda Amarilla (EBA), se caracteriza por la presencia de parches circulares o irregulares de tejido de color amarillo brillante translucido que pueden volverse bandas. El hecho que el tejido se torne amarillo lo diferencia de la decoloración o blanqueamiento coralino (Santavy et al., 1999).

La Enfermedad de Lunares Oscuros (ELO), fue mencionada por primera vez en Colombia por Garzón-Ferreira y Gil-Agudelo (1998) como patrones de coloración inusuales sobre especies como *Stephanocoenia intercepta* y *Siderastrea siderea*. La enfermedad produce mortalidad de los tejidos y, aparentemente, una disminución en las tasas de crecimiento, lo que a su vez conduce, a la mortalidad total de las colonias afectadas (Garzón-Ferreira y Gil-Agudelo, 1998).

La Enfermedad de Banda Negra (EBN), es una afección que se caracteriza por presentar una porción del esqueleto del coral desnudo, blanco y recién expuesto rodeado por una

banda oscura de 5 a 30 mm de ancho que delimita el tejido sano (Rützler y Santavy, 1983).

La enfermedad de Plaga Blanca (EPB), fue descrita por Dustan (1977) en los Cayos de Florida. Ésta forma una banda blanca de diámetro variable que separa el tejido sano del enfermo, y se mueve generalmente desde la base hacia el tope de la colonia dejando atrás el esqueleto desnudo (Richardson et al., 1998). Esta condición favorece que el esqueleto de carbonato de calcio sea colonizado por algas y otros invertebrados marinos bentónicos.

Finalmente, la Aspergilosis (ASP), es una enfermedad inicialmente registrada en corales blandos. Esta genera lesiones que se caracterizan por una regresión de la corteza (coenenquima) y una eventual exposición del esqueleto axial interno de estos abanicos de mar. Hoy se ha registrado en corales masivos como *Siderastrea siderea*. En esta, el área afectada se encuentra rodeada de un anillo color púrpura que indica la presencia de escleritos en abundancia y que podría ser un método de defensa (Smith et al., 1998).

Las afecciones presentes en los corales los corales son un problema grave que ha ido en aumento en los últimos años (Rosales et al., 2020). Sin embargo, la información y evaluación de estas es escasa y limitada, lo que dificulta su prevención y tratamiento efectivo.

El blanqueamiento es el proceso en el que los corales pierden sus colores vibrantes y se tornan blancos. Esto ocurre debido a la expulsión o muerte de las algas microscópicas llamadas zooxantelas que viven dentro de ellos, y pueden tener origen diverso, tanto naturales como de antropogénico, que generan estrés en el coral, lo cual termina en la expulsión y pérdida de las zooxantelas de los tejidos (Westmacott et al., 2000).

La bioerosión en corales consiste en la remoción y debilitamiento del esqueleto calcáreo de las especies que construyen el

arrecife por parte de un organismo como pueden ser animales (peces, poliquetos, caracoles) plantas (macroalgas), virus, hongos o bacterias (Glynn 1997). Por sus efectos, se reducen el crecimiento coralino y generan cambios en la estructura del arrecife.

La cobertura algal en corales se refiere a la cantidad y tipo de algas que crecen sobre el esqueleto del coral. Sin embargo, un desequilibrio en la relación alga-coral puede tener consecuencias negativas para el arrecife. Un crecimiento excesivo de macroalgas puede perjudicar al coral ya que las macroalgas compiten con el coral por espacio y luz. Cuando estas sobrepasan el 50% de cobertura de algas, puede decirse que existe dicho sobrecrecimiento.

Durante los últimos años se ha logrado identificar que uno de los factores que más está afectando a los arrecifes de coral son la presencia constante de disturbios (nuevas enfermedades, otras afecciones y mayor incidencia de estas), que hoy en día están más presentes en estos ecosistemas. Si bien en algunos casos se cree que estos disturbios están relativamente bien caracterizados, otros han sido poco estudiados hasta la fecha, a pesar de tener un gran impacto en la mortalidad de los corales en algunas regiones. Incluso enfermedades que se creían relativamente bien caracterizadas han mostrado nuevas facetas que revelan realmente lo poco que se ha progresado en el estudio de las enfermedades coralinas (Richardson, 1998; Frías-López et al., 2003; Sutherland et al., 2004; Forero y Gómez, 2020).

Este trabajo tiene como objetivo principal identificar y cuantificar los disturbios (enfermedades y afecciones) que están presentes en los corales en el área de restauración en Isla Fuerte.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se realizó el estudio en Isla Fuerte, Bolívar, ubicada al centro la plataforma continental del Caribe colombiano, entre 9° 20' 30'' a 9° 24' 30'' N y 76° 10' 00'' a 76° 12' 30'' W a 11 km de la costa de Paso Nuevo - Córdoba, tiene una extensión de 3.23 Km². (Castaño & Moncaleano, 2007 y Díaz et al., 1996). Aunque la isla está ubicada frente a las costas del departamento de Córdoba, políticamente pertenece al departamento de Bolívar, por lo que es denominado un corregimiento de la ciudad de Cartagena de Indias (Ortega, 2010). La estación de muestreo está ubicada al oriente de la isla, y fue seleccionada dado que es uno de los arrecifes donde se están realizando procesos de restauración (Anexo 1).

Fase de campo

Primero se reconoció el arrecife coralino del área de restauración ubicado entre bajo Cebolleta y bajo Alicia, donde se instaló la estación de muestreo. La estación de muestreo con el método del video-transecto aplicando la técnica de punto intercepto (Anexo 2), el cual se basa en grabar con ayuda de una cámara submarina todos los transectos. Se ubicaron 3 transectos al azar separados más o menos unos 5 metros entre ellos, paralelos a la línea de costa. Cada transecto correspondía a una línea de 10 metros subdividido cada 10 centímetros para un total de 100 puntos por transecto. Se obtuvo un total de 300 puntos evaluados.

Fase de análisis

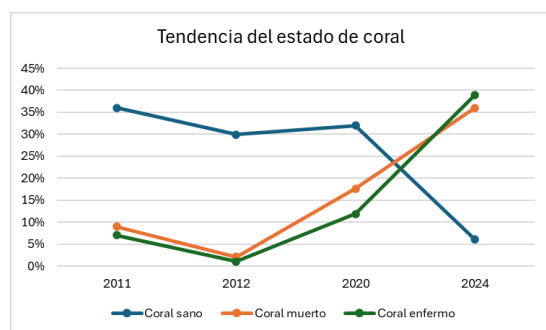
Los datos registrados en campo fueron organizados en Excel (Anexo 3), en el cual se identificó la especie de coral, el estado del coral (sano, enfermo o muerto) y el tipo de disturbio que presentaba (enfermedad o afección), lo anterior se logró con ayuda de guías visuales de corales (Weil y Ruiz, 2013) y disturbios (Gil-Agudelo en 2009, Bernal en 2012). Posteriormente se agruparon en tablas para sintetizar la información.

Resultados y análisis

Los datos registrados en campo muestran que los mayores porcentajes de cobertura correspondieron a coral enfermo y muerto, mientras que el coral sano presentó un valor muy bajo, como se muestra en la Tabla 1.

Esto indica que el estado de salud del arrecife es crítico, ya que presentan un deterioro agresivo, debido a una disminución en el porcentaje de cobertura de coral sano (Tabla 1), esto se evidencia comparándolo con trabajos de Escobar (2006) y Casas (2011), que reportan 34% y 53% de esta cobertura respectivamente. Esta reducción se puede evidenciar en la figura 1, que a medida que pasa el tiempo puede haber una mayor reducción en la cobertura de coral sano que puede atribuirse a factores antrópicos y/o naturales.

Figura 1. Tendencia de cambio del estado de coral en la última década.



Esta grafica se elaboró con los datos de los reportes de casas (2011), Bernal (2011), Forero y Gómez (2020) y los del actual estudio.

Se evidencia el deterioro del arrecife donde el primer reporte el coral sano está por encima del 35%, con el paso de los años va disminuyendo este porcentaje hasta llegar a nuestro reporte donde registra un 6%, esto nos indica que hubo una reducción del 83% de coral sano en un lapso de 13 años, al mismo tiempo hubo un aumento del coral enfermo y coral muerto, donde el primer registro los reporta con una incidencia menor al 10%, mientras que nuestro estudio registra incidencias mayores al 35%, incluso superando el valor del coral sano actualmente.

En el informe de “Estado de conservación de los arrecifes de coral de la Península de Yucatán” (Pérez et al., 2017), cuantificaron una reducción del 38% de cobertura coralina, donde los autores clasifican un estado de salud de “regular” a “crítico” de los arrecifes que fueron monitoreados. Afirman que estos cambios los arrecifes se dan principalmente por la alta demanda de recursos, por parte de las poblaciones y el turismo han llevado a la modificación de estos ecosistemas en su composición, dinámica y longitud (Pérez et al., 2017). Esta situación es similar a la que está presentando la isla, donde el crecimiento poblacional es alto, al mismo tiempo una sobre explotación de los ecosistemas por el turismo ya que es una de las principales actividades para el sustento de la población (SecPlaneacion, 2023).

En República Dominicana también se reporta una alta pérdida de cobertura de coral vivo, en 2005 reportaron un 14% de pérdida de cobertura viva, posteriormente en el 2011 reportaron un valor del 10%, presentado sus valores más bajos de cobertura de coral vivo, de los cuales no ha logrado recuperarse hasta la actualidad (Croquer et al., 2022), atribuyendo esta pérdida al evento de blanqueamiento masivo del año 2005 afectó por igual a la localidad de Punta Cana.

Los valores registrados en la Tabla 1, concuerdan con lo informado por Steneck y Torres (2019) quienes reportan que el 25% de cobertura coralina en el Caribe está vivo, sin embargo, más del 50% coral reportado vivo en este informe presenta enfermedades y afecciones, por lo que esta cifra es alarmante respecto a la salud del arrecife.

Tabla 1. Porcentajes de los tipos de cobertura registrados para el área total de muestreo. Transecto 1 (T1), Transecto 2 (T2) y Transecto 3 (T3).

TipodeCobertura	%decobertura			
	T1	T2	T3	TOTAL
Arena	7	22	7	12
Roca	4	8	10	7,33
CoralSano	3	4	11	6
CoralEnfermo	34	37	46	39
CoralMuerto	52	29	26	35,67

Se registraron los siguientes disturbios en el área de estudio: Blanqueamiento, Bioerosión, Cobertura algal y Enfermedad de Puntos Blancos, afectando a *Montastrea faveolata* (MF), *Millepora alcicornis* (MA), *Siderastrea siderea* (SS), *Porites* (PP), *Porites asteroides* (PA), *Montastrea cavernosa* (MC), *Acropora palmata* (AP).

El calentamiento de las masas oceánicas es uno de los problemas globales más serios que enfrentan los arrecifes del Antropoceno (Lough et al. 2018). Este incremento es a nivel global, en especial, las diferencias entre los máximos y mínimos de temperatura que se registran en las estaciones cada año se han hecho cada vez más estrechas, al tanto punto que la tendencia temporal de esta variable continúa ascendiendo (Campbell et al. 2011). La temperatura media de la superficie de los mares del mundo ha aumentado alrededor de 0,9°C en comparación con los niveles preindustriales, de los cuales 0,6°C ha ocurrido sólo en los últimos 40 años (BBC, 2023).

Las condiciones en Isla Fuerte logran explicar la disminución de los valores de coral sano a lo largo del tiempo, principalmente a que en los últimos 10 años se vienen presentando diferentes factores que afectan a los arrecifes, como la temperatura, la acidificación, la sedimentación, sumándole el daño directo que

generan las diferentes actividades como pesca sobre los arrecifes, el tránsito de lanchas, el turismo (Forero y Gómez, 2020; Ochoa, 2017), lo que concuerda con lo reportado a nivel mundial donde justifican este declive o principalmente a impactos antropogénicos: desarrollos costeros, contaminación, sobrepesca, entre otros, y afirman que el Caribe es la región donde la cobertura de coral ha presentado una mayor pérdida, disminuyendo casi un 40% desde 1970 (Jackson et al., 2014).

Dentro de estos cambios, como se mencionó anteriormente, está el blanqueamiento coralino, que no es más que la disrupción de la asociación mutualista entre el coral y las zooxantelas, cuando los límites de establecimiento óptimo de esta relación han sido violentados (Crabbe, 2008).

Es una afección principalmente atribuida al incremento del estrés térmico, en especial si se presenta con una intensidad alta y una duración prolongada. Como se evidencia en la Tabla 2, este disturbio afectó principalmente a *Millepora alcicornis* (MA) y *Porites* (PP). Los síntomas que tiene el blanqueamiento es la pérdida de pigmentos fotosintéticos, aumento en la tasa de respiración y la pérdida de calcificación (Rodríguez et al., 2014).

Contrastando los valores encontrados con los trabajos de Forero & Gómez (2020) y Bernal (2012), hay un incremento masivo en la presencia del blanqueamiento en los corales, donde se mantiene la tendencia de que es el disturbio con mayor incidencia. Esto coincide a nivel Nacional (Caribe colombiano) e internacional por ejemplo en el Parque Nacional Cahuita, Costa Rica (Fonseca et al., 2006) y Bajos de Sancho Pardo, Cuba (Caballero y Alcolado, 2011). También se observó en el informe de Pérez y colaboradores (2017) la presencia de muchas colonias con blanqueamiento afectando principalmente a *Orbicella faveolata* y *Montastraea cavernosa*.

Tabla 2. Porcentaje de coral afectado por el Blanqueamiento. Transecto 1 (T1), Transecto (T2), Transecto (T3). a *Montastrea faveolata* (MF), *Millepora alcicornis* (MA), *Siderastrea siderea* (SS), *Porites* (PP), *Porites asteroides* (PA), *Montastrea cavernosa* (MC), *Acropora palmata* (AP).

	Blanqueamiento	
	Especie	% Cobertura
T1	MF	1
	MA	2
	SS	4
T2	PP	6
	MA	4
	MF	1
	MC	8
T3	PP	5
	MA	15
	MF	4
	MC	1
	SS	3

Además en República Dominicana se atribuye al blanqueamiento la pérdida del 14% de cobertura coralina en el arrecife ubicado en la localidad de Bayahibe, mientras que para el caso de la localidad de La Caleta se registró un 10% de pérdida (Croquer et al., 2022), estos números son un poco similares a los de la Tabla 2, donde en promedio por transecto se reportó un 18% de blanqueamiento, lo que nos indica que el valor registrado en este estudio es alto, y probablemente esté generando una mortalidad coralina.

El blanqueamiento comúnmente es asociado con altas temperaturas, pero no siempre es la única causa. La alta sedimentación en el agua, también pueden generar estrés en los corales (Yee & Barron, 2010). Un ejemplo de esto se encuentra en un estudio sobre los impactos del huracán Beta en la plataforma insular de Old Providence y Santa Catalina, que reveló que el blanqueamiento de los corales ocurrió antes y después del huracán, persistiendo durante seis meses y afectando hasta un 20% de los corales (Taylo et al., 2007).

Hablando con la comunidad de la Isla, ellos reportan la presencia de graves tormentas, y el paso del "coletazo" del huracán Iota en 2020, puede indicar que también se generó una alta sedimentación del agua al arrastrar partículas de suelo, arena, arcilla y otros sedimentos hacia los cuerpos de agua. Según Huertas (2002, como se citó en Invemar 2006) afirma que la isla se encuentra fuertemente influenciada por factores como eutroficación, la afluencia de sedimentos provenientes del Río Sinú (Escobar y Duque, 2018), la temperatura superficial del mar (TSM), la cual han sido las causas principales que provocan el blanqueamiento (Hoeg-Gulberg, 1999), probablemente estos sedimentos logren depositarse sobre los corales, obstruir su alimentación y bloquear la luz solar necesaria para su fotosíntesis y crecimiento saludable, lo que resulta en un blanqueamiento coralino en la zona.

En la última década, la frecuencia y la intensidad de estos fenómenos meteorológicos (Tormentas, huracanes, coletazos, etc.) han incrementado, ocasionando la rápida pérdida de áreas coralinas, y favoreciendo junto al calentamiento, las enfermedades, el blanqueamiento y otros más, la pérdida de la complejidad estructural del arrecife, lo que se conoce como aplanamiento arrecifal (Gardner et al. 2005, Newman et al. 2015).

El estudio de Harvell (2017) muestra una asociación entre el blanqueamiento coralino, propensión a enfermedades y cambios en la microflora bacteriana del coral, generando una vulnerabilidad al coral frente a las afecciones lo que incrementa los problemas de salud al coral. Principalmente se debe al cambio en la microflora, puesto que esta es la principal defensa para patógenos que se encuentren en el ambiente (Sweet et al., 2017).

En la Tabla 3 se evidencia que la bioerosión afecto más a *Siderastrea siderea* y *Porites*, la bioerosión no es un fenómeno reciente de la naturaleza, sin embargo, es considerado como

uno de los procesos más destructivos para los arrecifes de coral, donde se remueve carbonato de calcio a partir de los organismos calcificadores y genera hábitats para otros animales; además, promueve la recirculación de Ca⁺ y C (Tribollet y Golubic, 2011; Hardy et al. 1992.). Esto debido a que los debilita, volviéndolos más susceptibles a cambios ambientales (como el cambio climático), disturbios, otras presiones biológicas y a la influencia antropogénica (Grigg, 1995).

Comparando el informe elaborado por Reyes y colaboradores (2004), donde reportan una incidencia de 38.3%, con nuestros resultados en la Tabla 3 podemos indicar que la bioerosión no es alta, sin embargo, logra alcanzar el promedio de las incidencias reportadas, por lo que se deduce que la incidencia de la bioerosión en la zona tampoco es baja. También concuerdan con algunas especies que se afectaron (MC y PA).

Una explicación a lo encontrado sería el constante aumento de CO₂ en la atmosfera es las últimas décadas, ha disminuido el pH de los océanos en forma sostenida, ocasionando una disminución en las tasas de calcificación en los corales y otros organismos calcificadores que ayudan a la formación de arrecifes de coral (Hoegh-Guldberg et al 2007). El exceso de CO₂ atmosférico cambia la química oceánica para desfavorecer la calcificación. Como resultado, los corales calcifican más lento e incrementan los procesos erosivos producidos por factores biológicos como la erosión por erizos, peces loros y otras especies (Hoegh-Guldberg et al 2007 y Hoegh-Guldberg et al., 2018).

Tabla 3. Porcentaje de coral afectado por Bioerosión. Transecto 1 (T1), Transecto (T2), Transecto (T3). a *Montastrea faveolata* (MF), *Millepora alcicornis* (MA), *Siderastrea*

siderea (SS), *Porites* (PP), *Porites asteroides* (PA), *Montastrea cavernosa* (MC), *Acropora palmata* (AP).

	Bioerosión	
	Especie	% Cobertura
T1	PP	3
	MF	1
	PA	9
	SS	13
T2	MC	7
	PA	9
	SS	2
T3	PP	10
	MF	5
	SS	3

En las condiciones adecuadas el crecimiento de los corales escleractinios es lento y continuo (Bosscher y Schlager, 1993), logrando así la persistencia de los arrecifes a través del tiempo (Manzello, 2010). No obstante, según los resultados de este estudio, se puede ver comprometido al modificar el estado de equilibrio del ecosistema, cuando la tasa de erosión del arrecife es mayor que su tasa de crecimiento (Richardson, 1997; Edinger, 2000).

Con los resultados de la Tabla 4 se puede deducir que se está generando un cambio en la comunidad, que de seguirse presentando llevara al arrecife a un cambio de fase o un colapso del arrecife (Uribe et al., 2020), el cambio de fase es la transformación de un ecosistema de un estado estable (arrecife de coral) a otro estado (cobertura algal) debido a disturbios o cambios ambientales (Dakos, 2008). Y en un panorama más crítico el colapso del arrecife se refiere a la situación en la que el ecosistema experimenta una disminución significativa en la cobertura de coral vivo y la pérdida de biodiversidad como resultado de factores (Hughes et al., 2017).

El dato registrado para la incidencia de la cobertura algal es alto, ya que al compararla

con el trabajo de Croquer y colaboradores (2020) donde la cobertura algal oscila entre 10% y un 40%, nuestros valores registrados sobrepasan los anteriormente reportados, además autores con Jackson (2015), afirma que en todas las áreas del caribe ha aumentado constantemente la cobertura algal.

Pérez y colaboradores (2017) reportaron que el estado del arrecife de malo a crítico, debido a la baja cobertura de coral sano y por la alta cobertura de macroalgas, esta situación es la misma que se está presentando en el arrecife estudiado, donde solo el 6% de coral está sano y la cobertura algal es alta. Con los valores reportados en la Tabla 4, evidenciamos que la cobertura algal domina más que el coral sano, por lo que se podría afirmar que el estado de salud del coral no es óptimo (McCook, 2001), ya que se debe mantener la proporción donde el coral sano domine y la cobertura algal tenga una menor proporción.

Al comparar con el trabajo realizado en la zona por Bernal (2012), se evidencia el aumento en la cobertura de algas, ocasionando pérdidas en la riqueza y cobertura de coral afectando la comunidad que habita el ecosistema (Casas, 2011).

Además, concuerda con los datos registrados por Forero y Gómez (2020), donde Bajo Cebolleta presentó el mayor valor para el sustrato de algas, ellos argumentan que posiblemente sea por el incremento de sedimentos y provoque una mayor concentración de nutrientes provenientes del aporte de aguas continentales (Sarmiento, 2010), el cual favorece al crecimiento algal (MacCook, 1999).

Tabla 4. Porcentaje de coral afectado por la Cobertura Algal. Transecto 1 (T1), Transecto (T2), Transecto (T3). a *Montastrea faveolata* (MF), *Millepora alcicornis* (MA), *Siderastrea siderea* (SS), *Porites* (PP), *Porites asteroides*

(PA), *Montastrea cavernosa* (MC), *Acropora palmata* (AP).

	Cobertura Algal	
	Especie	% Cobertura
T1	PP	51
	MF	1
T2	PP	22
	AP	3
	MC	4
T3	PP	23

Esto podría explicarse por la baja calidad del agua, ya que lograría favorecer con la alta carga de materia orgánica el crecimiento de organismos filtradores y de mayor tasa de crecimiento a las macroalgas que el coral (Hughes et al., 2017).

Los arrecifes coralinos en el Caribe han experimentado cambios en la dominancia de sus componentes bentónicos, el más claro ha sido la disminución de la cobertura coralina acompañada por un aumento de las macroalgas (Littler y Littler, 1985; Hughes, 1994; Szmant, 2002).

Se puede pensar que el cambio de fase que se está presentando se asocia a perturbaciones como la sobrepesca, eutrofización y otros que generar una gran mortalidad coralina, así como lo afirma McCook y colaboradores (1997), y en consecuencia la liberación de espacio, que favorece el crecimiento desmesurado de las algas, que al mismo tiempo pueden desplazar al coral vivo remanente (McCook et al., 1997; Te, 1997).

Se explica que el papel de la competencia entre los corales y las macroalgas es que, una vez liberadas las algas de sus factores limitantes, tienen toda la capacidad de recubrir los corales (Paine, 1984), en pocas palabras, se asume que las algas son competitivamente superiores a los corales.

Conclusiones y recomendaciones

- La cobertura total de coral vivo y sano encontrada (6%), junto a la masiva

presencia de disturbios registrados, muestran una condición preocupante para el estado actual del arrecife.

- Los disturbios encontrados fueron: Enfermedad de puntos blancos (Incidencia baja), Bioerosión (Incidencia media), Blanqueamiento (Incidencia alta) y Cobertura algal (Incidencia alta).
- Se reportó a la cobertura algal como el disturbio con mayor incidencia en la zona estudiada.
- Se evidencia un cambio de fase afectado drásticamente al arrecife de coral.
- Se recomienda hacer un nuevo estudio a una escala mayor, incluso en diferentes zonas para abarcar más área y obtener datos más representativos.
- Construir herramientas para facilitar la evaluación constante de los disturbios.
- La gobernanza debe involucrarse activamente y definir áreas de

conservación para una protección efectiva de los arrecifes y la biodiversidad, ya que requieren una planificación estratégica y una gestión integral, que se puede lograr a través de políticas.

Agradecimientos

Agradezco a la universidad Pontificia Universidad Javeriana por ofrecerme años de crecimiento personal y profesional, al profesor Fabio Guillermo Gómez Delgado por guiarme en este proceso, siempre con una gran disposición, logrando que el proceso fuera ameno y de gran aprendizaje, a mis padres María Valenzuela y Rubén Valbuena, que gracias al apoyo de ellos estudie Biología y que siempre me han brindado apoyo y oportunidades para lograr la persona que soy, y por ultimo a compañeros y profesores que pasaron por mi vida universitaria el cual me enseñaron demasiadas cosas y viví experiencias muy gratas junto a ellos.

Bibliografía

- Acosta, A. &.-G. (2009). Comparación temporal de la estructura de una comunidad coralina en primeros estados de sucesión, isla de San Andrés, Colombia. Bol. Invest. Mar. Cost, 29-53.
- BBC News Mundo. (2023, April 25). El “inexplicable” calentamiento de los océanos que alarma a los científicos. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-65388079>.
- Bernal, J.N (2012). Cobertura arrecifal de Isla Fuerte, en relación con su uso y normativas de manejo, Cartagena, Bolívar, Caribe, colombiano. Tesis de Grado. Pregrado. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Bernal, D. (2012). Evaluación del estado actual de conservación de cuatro parches arrecifales en la zona nor-occidental de Isla Fuerte, Caribe Colombiano. Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia
- Bruno JF, Côté IM, Toth LT. Climate change, coral loss, and the curious case of the parrotfish paradigm: Why don't marine protected areas improve reef resilience? Annual Review of Marine Science. 2019; 11:307–34.
- Bosscher, H., Schlager, W. 1993. Rates of accumulation of carbonate platforms. The Journal of Geology, 101(3):345-355.

- Caballero, H., Alcolado, P.H. (2011). Condición de arrecifes de coral sometidos a presiones naturales recientes: Bajos de Sancho Pardo, Cuba. *Rev. Mar. Cost.* Vol 3: 51-65.
- Campbell, J. D., Taylor, M. A., Stephenson, T. S., Watson, R. A., y Whyte, F. S. (2011). Future climate of the Caribbean from a regional climate model. *International Journal of Climatology*, 31(12), 1866-1878.
- Casas, D.C. (2011). Estado de conservación de la comunidad arrecifal presente en Isla Fuerte Bolívar-Colombia. Trabajo de Grado. Pregrado. Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Castaño G. & Moncaleano A. Modelo de evaluación de la unidad productiva de pesca en Isla Fuerte, Cartagena, Bolívar. *Univ. Empresa, Bogotá (Colombia)* 2007; 6 (13): 195-209.
- Cheal AJ, MacNeil MA, Cripps E, Emslie MJ, Jonker M, Schaffelke B, et al. Coral-macroalgal phase shifts or reef resilience: Links with diversity and functional roles of herbivorous fishes on the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*. 2010 Dec;29(4):1005–15.
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, 1302-1310.
- Crabbe, M. J. C. (2008). Climate change, global warming and coral reefs: Modelling the effects of temperature. *Computational Biology and Chemistry*, 32(5), 311-314.
- Croquer, A., Zambrano, S., Irazabal, I., y Torres, R. (2022). Factores globales y locales que inciden sobre la degradación de los arrecifes coralinos: Una revisión para la República Dominicana. *AULA Revista de Humanidades y Ciencias Sociales*, 68 (1), 31-60 <http://doi.org/1033413/aulahcs.2022.68i1.194>
- Díaz J. M, Sánchez J. A, Díaz-Pulido G. Geomorfología y formaciones arrecifales recientes de Isla Fuerte y Bajo Bushnell, plataforma continental del Caribe Colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 1996; 25: 87-105.
- Edinger, E. N., Limmon, G. V., Jompa, J., Widjatmoko, W., Heikoop, J. M., Risk, M. J. 2000. Normal coral growth rates on dying reefs: are coral growth rates good indicators of reef health? *Marine Pollution Bulletin*, 40(5):404-425.
- Escobar (2009) y Casas (2011). Los valores altos para *Siderastrea siderea* puede deberse a que esta se encuentra en zonas someras (Bernal, 2012; INVERMAR, 2010) y es resistente a la alta turbidez y sedimentación (Ramirez et al., 1994) y *Dictyota dichotoma* por tener un desarrollo en las áreas de coral sano y muerto (Ramírez et al., 1994).
- Escobar, M.C., Duque, J.F. (2018). Evaluación de la variación de las condiciones medioambientales en corales mediante la medición del parámetro susceptibilidad magnética en un ejemplar de *Siderastrea siderea* en el complejo arrecifal de Isla Fuerte. Trabajo de Grado. Pregrado. Departamento de Geología. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia
- Escobar, L. (2006). Caracterización del estado de salud, usos y problemática ambiental de cinco parches coralinos de Isla Fuerte, Mar Caribe Colombiano. Trabajo de Grado. Pregrado. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia
- Frías-López, J. A., G. T. Bonheyo, Q. Jin y B. W. Fouke. 2003. Cyanobacteria associated with coral black band disease in Caribbean and Indo-Pacific reefs. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69: 2409-2413.

- Forero G, Gómez F. (2020). Caracterización del estado actual de salud de cinco parches arrecifales en la zona oriental de Isla Fuerte, Caribe Colombiano. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/51481>.
- Fonseca, A.C., Salas, E., Cortés, J. (2006). Monitoreo del arrecife coralino Meager Shoal, Parque Nacional Cahuita, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54 (3): 755-763
- Garzón-Ferreira J, Gil-Aguledo DL (1998) Another unknown Caribbean coral phenomenon? *Reef Encounter* 24: 10.
- Gladfelter, E.H. 1988. The physiological basis of coral bleaching. Pags. 15-18. In: Ogden, J.O. and R. Wicklund (eds). *Mass bleaching of coral reefs in the Caribbean: a research strategy*. Nat. Undersea Res. Progr., Res. Rep. 88-2: 51 p.
- Gil-Agudelo, D. N.-C.-R.-N.-C.-F. (2009). Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 2-35
- Gómez & Forero (2020). Caracterización del estado actual de salud de cinco parches arrecifales en la zona oriental de Isla Fuerte, Caribe Colombiano.
- Grigg, R.W. 1995. Coral reefs in an urban embayment in Hawaii: a complex case history controlled by natural and anthropogenic stress. *Coral Reefs* 14: 253-266.
- Hardy, J.T., F.E. Hoge, J.K. Yungel & R.E. Dodge. 1992. Remote detection of coral bleaching using pulsed-laser fluorescence spectroscopy. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 88: 247-255
- Harvell, D., Jordán-Dahlgren, E., Merkel, S., Rosenberg, E., Raymundo, L., Smith, G., et al. (2007). Coral disease, environmental drivers, and the balance between coral and microbial associates. *Oceanography*, 20, 172-195.
- Hoegh, O. (1999). Climate change. coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Mar. freshwater Res.* 50: 839-866.
- Hoegh-Guldberg O, Mumby PJ, Hooten AJ et al. (2007) Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318,1737–1742
- Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Bindi, M., Brown, S., et al. (2018). Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, et al. (Eds.), *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Retrieved January 9, 2019 from <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/chapter-3/>
- Hughes, T. P., Barnes, M. L., Bellwood, D. R., Cinner, J. E., Cumming, G. S., Jackson, J. B., ... & Scheffer, M. (2017). Coral reefs in the Anthropocene. *Nature*, 546(7656), 82-90
- Hughes, T.P. 1994. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science* 265: 1547-1551.
- Huertas, J. 2000. Caracterización estructural, composición y estado de salud de las formaciones coralinas de Isla Fuerte, Bajo Burbujas y Bajo Bushnell, Caribe colombiano. Trabajo de grado. Universidad de Antioquia. Departamento de Biología. Medellín. 96 p.
- INVEMAR, Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2005. (Serie de publicaciones periódicas/INVEMAR; No.8) Santa Marta. 360 p.

- Jackson JBC, Donovan MK, Cramer KL, Lam VV (editors). (2014) Status and Trends of Caribbean Coral Reefs: 1970-2012. Global Coral Reef Monitoring Network, IUCN, Gland, Switzerland.
- Littler, M.M, D.S. Litter y B.E. Lapointe. 1992. Modification of tropical reef community structure due to cultural eutrophication: The southwest coast of Martinique. Proc. 7th Int. Coral Reef Symp., Guam, Vol. 1: 335-343.
- Lough, J. M., Anderson, K. D., y Hughes, T. P. (2018). Increasing thermal stress for tropical coral reefs: 1871–2017. Scientific Reports, 8(1), 1-8.
- McCook, L.J., I.R. Price y D.W. Klumpp. 1997. Macroalgae on the GBR: Causes and consequences, indicators or models of reef degradation. Proc. 8th Int. Coral Reef Symp., Panama, 2: 1851-1856.
- Ochoa, C.G. (2017). Descripción de la actividad pesquera en Isla Fuerte - Bolívar (Caribe Colombiano) para la construcción de una herramienta visual dirigida al mejoramiento del registro pesquero. Trabajo de Grado. Pregrado. Facultad de Ciencias Básicas. Pontificia
- Ortega S. 2010. Estudio de aprovechamiento de la energía del oleaje en Isla Fuerte (Caribe Colombiano) Trabajo de Grado de Maestría. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 130 p.
- Paine, R.T. 1984. Ecological Determinism in the Competition for Space. Ecology, 65(5):1339-1348.
- Pardo, A., (2013). Evaluación del estado actual de conservación de cinco parches coralinos en la zona sur-occidental de Isla Fuerte, Caribe Colombiano. Trabajo de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia
- Pérez-Cervantes, Esmeralda & Navarro Espinoza, Eduardo & Estrada Saldivar, Nuria & Espinosa-Andrade, Noemi & Melo-Merino, Sara & Rivas-Soto, Miguel & Alvarez-Filip, Lorenzo. (2017). Estado de conservación de los arrecifes de coral de la Península de Yucatán. 10.13140/RG.2.2.16755.63526.
- Pickett, S. I. & P White (Eds), 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press Inc., San Diego, California, 472 pp.
- Richardson, L. L. 1998. Coral diseases: what is really known? TREE. 13: 438-443.
- Rodriguez, D.R., Bernal, G., Zea, S. (2014). Variables ambientales durante blanqueamiento coralino en el Caribe colombiano. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat, 38 (149): 347-355
- Rützler, K. y D. Santavy. 1983. The black band disease of Atlantic reef corals. I. Description of the cyanophyte pathogen. P.S.Z.N.I. Mar. Ecol., 4 (4): 301-319.
- Santavy, D. L. y E. C. Peters. 1997. Microbial pests: coral disease in the western Atlantic. Proc. 8th Internat. Coral Reef Symp., 1: 607-612.
- Sarmiento, A. (2010). Composición de la comunidad arrecifal somera dentro y fuera del área marina protegida Parque Nacional Natural Corales Del Rosario y San Bernardo, Caribe Colombiano. Tesis de Grado. Pregrado. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia.

- SecPlaneacion. (2023, May 23). Sisbén IV encuestó al 100% de la población de El Islote e Isla Fuerte. <https://planeacion.cartagena.gov.co/noticias/sisben-iv-encuesto-100-poblacion-el-islote-isla-fuerte-202>
- Smith JE, Hunter CL, Smith CM. The effects of top-down versus bottom-up control on benthic coral reef community structure.
- Smith, G. W., C. D. Harvell y K. Kim. 1998. Response of sea fans to infection with *Aspergillus* sp. (Fungi). *Rev. Biol. Trop.*, 46: 205-208.
- Sutherland, K. P. y K. B. Ritchie 2004. White pox disease of the Caribbean elkhorn coral *Acropora palmata*. 289-300. En: Rosenberg, E. y Loya. (Eds.). *Coral health and disease*. Springer-Verlag, Berlín. 488 p.
- Sweet, M. J., y Bulling, M. T. (2017). On the importance of the microbiome and pathobiome in coral health and disease. *Frontiers in Marine Science*, 4, 9.
- Szmant, A. M. 2002. Nutrient enrichment on coral reef: is it a major cause of coral reef decline? *Estuaries*, 25: 743-766.
- Taylo, E., Hernández, D., Howard, F., Peñaloza, G., Posada, S., Howard, N., ... Prada, M. (2007). Impactos en los arrecifes de coral ocasionados por el huracán Beta en la plataforma insular de Old Providence y Santa Catalina. *Boletín Científico CIOH*, (25), 71–77. <https://doi.org/10.26640/22159045.164>
- Te, F.T. 1997. Turbidity and its effect on corals: A model using the extinction coefficient (K) of photosynthetic activity radiance (PAR). *Proc 8th Int. Coral Reef Symp.*, Panama, 2: 1899-1904.
- TRIBOLLET, A. y GOLUBIC, S. Reef Bioerosion: Agents and Processes. En Z. Dubinsky y N. Stambler (Eds.), *Coral reefs: an ecosystem in transition* (pp. 435-450). New York, USA: Springer, 2011.
- Uribe E, Diaz granados MC, Jaramillo L, Etter A, Luna-Acosta A, Acosta A, et al. Lista roja de los ecosistemas marinos y costeros de Colombia. 2020.
- Westmacott, S., Teleki, K., Wells, S., & West, J. (2000). *Manejo de arrecifes de coral blanqueados o severamente dañados*. Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido: UICN
- Weil Ernesto y Ruiz Héctor, 2013. *Guía para identificar los corales del gran caribe*. Departamento de Ciencias Marinas de la Universidad de Puerto Rico.
- Wilkinson CR, Souter D. Status of Caribbean Coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005 [Internet]. 2005. Available from: papers2://publication/uuid/2E832596-4FC3-4119-864E3F5F1793AF56
- Yee, S. H., & Barron, M. G. (2010). Predicting coral bleaching in response to environmental stressors using 8 years of global-scale data. *Environmental monitoring and assessment*, 161(1), 423-438.
- Zambrano Romero, S. J., Croquer, A., Irazabal, I., & Torres, R. (2022). Factores globales y locales que inciden sobre la degradación de los arrecifes coralinos: una revisión para la República Dominicana. *AULA Revista de Humanidades y Ciencias Sociales*, 68(1), 31–60. <https://doi.org/10.33413/aulahcs.2022.68i1.19>

Recuperado de:

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/51481/Tesis%20German%20Forero%20Ecologia%202020.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Anexo 3. Link de la carpeta con los datos.

https://livejaverianaedu-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/valbuenavd_javeriana_edu_co/EpBDVHupVcZNo_eTJw2pGiwB6_HH4-oeGIWO1O2zOUoJdg?e=TmWBbe