

F-REEFS, Estructura artificial ajustable al tronco del coral Acropora (A. Palmata, A. Cervicornis), manteniendo una conexión coherente con el contexto y la interacción animal.

ANDRES CAMILO FONSECA CORREA.

afonseca65@uan.edu.co

10461614603

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
FACULTAD DE ARTES
PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C - COLOMBIA
2021-1**

F-REEFS, Estructura artificial ajustable al tronco del coral Acropora (A. Palmata, A. Cervicornis), manteniendo una conexión coherente con el contexto y la interacción animal.

ANDRES CAMILO FONSECA CORREA.

PROYECTO DE GRADO

TUTOR: Wilmer Fernando Rojas Sandoval

DISEÑADOR INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

FACULTAD DE ARTES

PROGRAMA DE DISEÑO INDUSTRIAL

BOGOTÁ D.C - COLOMBIA

2021-1

Índice

Lista de Figuras.	6
Listado de Tablas.	8
Dedicatoria	10
Agradecimientos	11
Resumen	12
Introducción	13
Análisis, interiorización de la información	15
Problema	18
Análisis de la problemática	18
Justificación	22
Pregunta de diseño	24
Objetivos	24
General	24
Específicos	24
Alcance del proyecto	25
Marco referencial	27
Antecedentes.	27
Género- especie Acropora (Acropora Palmata, Acropora Cervicornis).	32
Marco Conceptual	39
Arrecife	39
Definición	39

	4
Coral	42
Definición	42
Estructura	46
Definición	46
Temperatura	47
Definición	47
Normativas	48
Metodología	49
Cronograma o Diagrama de Gantt	52
Desarrollo de la propuesta.	53
Determinantes y requerimientos	53
Análisis de referentes (Benchmarking)	54
Proceso creativo	56
Análisis morfológico	56
Concepto de diseño (Línea mimética)	58
Bocetos	62
Prototipos de comprobación formal	66
Acercamiento a modelados 3D	68
Materiales a implementar	71
Propuesta final	74
Disposición y uso de la propuesta	80

	5
Procesos productivos	82
Conclusiones	84
Fuentes de información	85
Referencias (Bibliografía.)	85

Lista de Figuras.

Figura 1. No story is complete without seeing the humeroud clown fish being protected. They really do tell you to buzz off. Great animals.

Figura 2. Distribución mundial de los arrecifes de coral.

Figura 3. Proceso de registro de la información, en bitácora parte 1.

Figura 4. Proceso de registro de la información, en bitácora parte 2.

Figura 5. Proceso de registro de la información, en bitácora parte 3.

Figura 6. El pólipo es la unidad constructora primordial del arrecife.

Figura 7. Ejemplos del proceso de blanqueamiento.

Figura 8. Escenarios de posible desarrollo.

Figura 9. La relación entre la intensidad y la duración del calor.

Figura 10. Los vínculos entre la acumulación de CO₂ atmosférica.

Figura 11. Una jerarquía generalizada de la susceptibilidad de los corales al blanqueamiento.

Figura 12. Distribución regional de *Acropora* spp.

Figura 13. Patrón de distribución de *Acropora Palmata* y *Acropora Cervicornis* en los arrecifes.

Figura 14. Patrón general de zonación de *A. Palmata* y *A. Cervicornis* en el arrecife.

Figura 15. El impacto de las actividades humanas sobre los arrecifes.

Figura 16. Arrecife de coral tipo bordeantes.

Figura 17. Arrecife de coral tipo parchos.

Figura 18. Arrecife de coral tipo barrera.

Figura 19. Arrecife de coral tipo atolones.

Figura 20. Corales hermatípicos.

Figura 21. Corales Ahermatípicos.

Figura 22. Reproducción coralina.

Figura 23. Ruta metodológica.

Figura 24. Cronograma.

Figura 25. Análisis de Referentes o Benchmarking.

Figura 26. Recopilación de algunos análisis morfológicos de los corales A. Palmata, A. Cervicornis.

Figura 27. Recopilación de algunos análisis morfológicos de los corales A. Palmata, A. Cervicornis.

Figura 28. Construcción del concepto basado en la extracción de patrones del análisis morfológico, de formas de los corales A. Palmata, A. Cervicornis.

Figura 29. Patrones de movimiento de las partículas sobre las olas en aguas profundas.

Figura 30. Análisis por capas de las interacciones de diferentes aspectos (Corrientes marinas, difusión de luz, espacios de interacción animal de resguardo) con base en una fotografía de un arrecife coralino.

Figura 31. Unión de capas de análisis de la interacción coralina con diferentes actores del ecosistema.

Figura 32. Recopilación de prototipos 2D, en el proceso de creación parte 1.

Figura 33. Recopilación de prototipos 2D, en el proceso de creación parte 2.

Figura 34. Recopilación de prototipos 2D, en el proceso de creación parte 3.

Figura 35. Recopilación de prototipos 2D, en el proceso de creación parte 4.

Figura 36. Construcción de prototipo de comprobación formal de baja calidad.

Figura 37. Construcción de prototipo de comprobación formal de baja calidad.

Figura 38. Primer acercamiento en modelado 3D mediante el programa de solidworks.

Figura 39. Primer acercamiento en modelado 3D mediante el programa de solidworks.

Figura 40. Primer acercamiento en modelado 3D mediante el programa de solidworks y construcción sobre el mismo mediante SketchBook.

Figura 41. Influencia de la relación agua/ cemento en la resistencia del cemento.

Figura 42. Composición de propuesta final modelada y renderizada del módulo constructor de la estructura artificial arrecifal.

Figura 43. Estructura artificial arrecifal, conformada bajo escenario de funcionalidad térmica por la tubería de cobre.

Figura 44. Estructura artificial arrecifal con tubería de cobre.

Figura 45. Estructura artificial arrecifal formal.

Figura 46. Estructura artificial arrecifal en escenarios bajo el agua, parte 1.

Figura 47. Estructura artificial arrecifal en escenarios bajo el agua. Parte 2.

Figura 48. Estructura artificial en escenarios marino, en diferentes posiciones en el arrecife de coral.

Figura 49. Estructura artificial en escenario marino con tubería de cobre en el arrecife de coral.

Figura 50. Propiedades físicas de la composición de tres niveles.

Figura 51. Disposición y uso del módulo formal en escenarios reales.

Figura 52. Disposición de almacenamiento del módulo formal.

Figura 53. Ángulo de salida para el molde del módulo formal.

Figura 54. Planos de composición formal del módulo en cemento.

Listado de Tablas.

Tabla 1. Características generales del Coral A. Palmata.

Tabla 2. Características generales del Coral A. Cervicornis.

Tabla 3. Corales Hermatípicos y Ahermatípicos, ejemplos de algunos géneros y especies.

Tabla 4. Determinantes y requerimientos.

Tabla 5. Criterios de comprobación formal.



Retomada de: Photo by Ray Aucott on Unsplash

Figura 1. *No story is complete without seeing the humeroud clown fish being protected. They really do tell you to buzz off. Great animals, Ray Aucott, (2018).*

Diseño, si ha de ser ecológicamente responsable y socialmente sensible, debe ser revolucionario y radical en el sentido más estricto. Debe dedicarse al principio de la naturaleza del mínimo esfuerzo. [...] Esto significa que consume menos, el uso de las cosas ya, el reciclaje de materiales, y probablemente no perder el papel de impresión de libros. (Papanek. 1971).

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a mi madre, mi padre y mi hermano quienes me apoyaron durante el proceso de formación profesional.

Agradecimientos

Agradezco a todas las situaciones positivas y negativas pasadas que me llevaron al punto en el que me encuentro en estos precisos momentos, agradezco a la vida por mi madre, mi padre y hermano que de forma constante se convirtieron en el bastón económico, moral y motivacional para cumplir a cabalidad esta meta, confiando en mis capacidades y virtudes para subir el último escalón de esta grata y enriquecedora experiencia.

Agradezco infinitamente a mi madre, que desde el primer día de este camino me apoyo, esas mañanas, tardes y noches en las que un café y una charla con ella me llenaba el alma para nunca desfallecer, a mi hermano por cada valioso consejo, por cada aporte de gran valor para la construir un profesional íntegro para esta sociedad.

Me llena de orgullo y felicidad agregar en este espacio más que docentes, excelentes profesionales, y seres humanos, agradezco a la vida el haber permitido cruzar camino con la profesora Marcela Garzón quien abrió de la mejor manera la puerta al mundo del diseño, viendo en mi desde el primer día un colega más, en todo el sentido de la palabra. Agradezco a la profesora Natalia Erasso por sus excelentes consejos, sus enseñanzas y su excelente manera de compartir su clase y el hacer que los estudiantes desde el comienzo se apropiaran del hecho de ser un diseñador(a) industrial. Agradezco a la vida el haber podido compartir dos increíbles años con la profesora Sandra Paola Méndez, llenos de risas, frustraciones, aprendizajes, que hicieron parte fundamental para crear un profesional íntegro y un ser humano como el que soy hoy en día. Agradezco al profesor Juan Sebastián Hernández que permitió llevar mis conocimientos, mi postura crítica personal y profesional sacándome de mi zona de confort y hacer notar que la oportunidad del diseñador se encuentra en cualquier lado.

Y finalmente agradezco a mi tutor Fernando Rojas por compartir este espacio durante un grato año y principalmente por considerar de forma permanente que al frente tenía un colega diseñador.

Resumen

Los arrecifes de coral son un ecosistema de gran complejidad, de una sinergia que otorga beneficios para el medio ambiente, los animales y todo el sistema marino, y finalmente los seres humanos quienes obtienen sustento alimenticio y económico para millones de personas que se encuentran en estos contextos.

Debido al cambio climático, el aumento y disminución de las temperaturas en los mares y océanos donde se encuentran localizados estos ecosistemas, han sufrido la problemática del blanqueamiento de arrecifes de coral (Expulsión de sus algas simbiotes de su exoesqueleto), así generando una ruptura en la sinergia.

Por ende, en este documento se expone el proceso de análisis, introspección, y transformación de la información, en un desarrollo formal-estético estructural artificial con la finalidad de establecer nuevas maneras para apoyar a la reconstrucción de los ecosistemas de arrecifes de coral, especialmente para las especies *Acropora Palmata* y *Acropora Cervicornis* debido a su propiedad de ser formadores de arrecifes, y su característica tridimensionalidad en un rango de 2-20 metros de profundidad, para una eventual aplicación en el contexto marítimo.

Palabras clave: Diseño, Estructura, Artificial, Blanqueamiento, Arrecifes de coral, *Acropora Palmata*, *Acropora Cervicornis*.

Introducción

El presente proyecto de grado se encuentra soportado en el fenómeno de blanqueamiento de comunidades coralinas, y por consiguiente las perturbaciones en las interacciones animales, el cual se da principalmente en los trópicos, concentrados en el centro del globo terráqueo como puede observarse en la figura 2, donde el trazo superior hace referencia al trópico cáncer, y el trazo inferior hace referencia al trópico capricornio. Zonas en donde el aumento de la temperatura superficial de mares y océanos, fácilmente logra de 1 a 3° Celsius por encima del promedio global.

Por tanto, el proceso de transferencia de calor que lleva al blanqueamiento de las comunidades de coral, el cual posee una duración aproximada de 2 a 6 semanas; rompiendo el sistema sinérgico de protección (resguardo), alimento, y respectivas condiciones de reproducción de las especies marinas que interactúan en el ecosistema. Llevando esta problemática a contextos, que aprovechan los recursos naturales que brinda aquel sistema abierto, trayendo consecuencias a sectores de la economía como: la pesca (industrial o artesanal), turismo (ecológico- contemplativo), y finalmente el comercio (gastronomía, artesanías, etc.).

Por lo tanto, la elaboración morfológica, estética de una estructura artificial, implementada desde la óptica de la disciplina diseño industrial, que busca estimular térmicamente al género, especie de coral *Acropora* (*A. Palmata*, *A. Cervicornis*), debido a su alta tasa de susceptibilidad al fenómeno de blanqueamiento.

Entablando un estrecho enlace con el concepto de estructuras disipativas, bajo el sentido de ciclo de vida, unidad funcional, y sistemas de productos brindados por el uso de la metodología Design for Environment, tenida en cuenta por aspectos de impacto ambiental perjudicial o beneficioso. Donde los materiales, procesos productivos, entre otros, son vitales para el fortalecimiento de las responsabilidades humanas de las conexiones ambientales, sociales, culturales y económicas de la sociedad actual, siendo para el ecosistema de vital

importancia proteger, donde de forma utópica permite frenar o mermar el cambio climático que afecta a todo el planeta tierra.

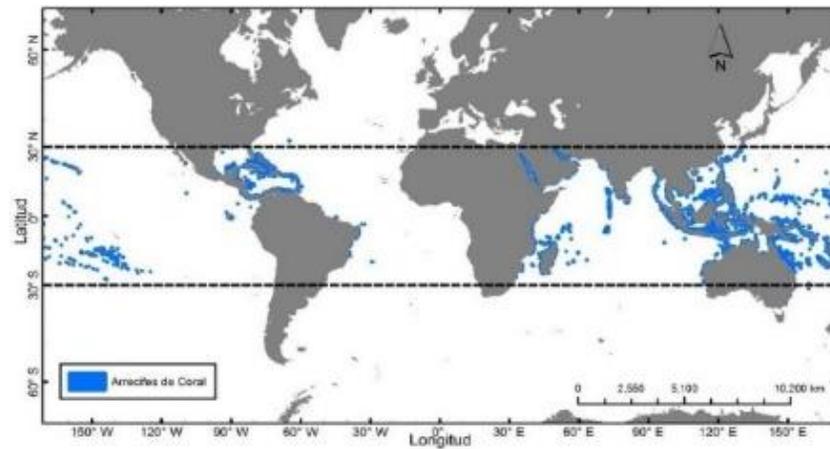


Figura 2, *Distribución mundial de los arrecifes de coral El SAM tiene en cuatro principales zonas; laguna, cresta, frente y pendiente arrecifal, Astorga Moar (2017)*

Problema

Blanqueamiento de arrecifes de coral, y por consiguiente la perturbación en las interacciones animales. por el aumento o disminución agresiva de la temperatura superficial en mares y océanos. en tiempos relativamente cortos. (Cambio climático).

Análisis de la problemática

Los arrecifes de coral son colonias calcáreas¹ estructuradas a base de tres elementos fundamentales, comenzando por su estructura física de carbonato de calcio. el cual es un compuesto fundamental de su exoesqueleto, posteriormente, se encuentra su comunidad de pólipos², los cuales poseen forma de ventosas, encargadas de recolectar o atraer el alimento para el coral, y finalmente las zooxantelas las cuales son plantas simbiotes microscópicas (microalgas), que mediante el proceso de fotosíntesis le proporcionan al coral, alimento, condiciones para su crecimiento y reproducción. Garzón- Ferreira (S.f) afirma que “Las selvas tropicales y los arrecifes coralinos son los ecosistemas de mayor diversidad biológica del mundo”. (p. 2). Teniendo en cuenta cada una de las relaciones sinérgicas y la complejidad de las mismas; que mantienen en armonía la totalidad del ecosistema arrecifal, se encuentran



Figura 6, *El pólipo es la unidad constructora primordial del arrecife.* Garzón- Ferreira (S.f)

¹ **Calcáreo** hace referencia a cualquier compuesto químico que este contenido del óxido de calcio o conocidamente como cal y sus características. Es una piedra de forma geológica que se forma mediante una combinación del carbonato cálcico en que se puede disolver el contacto con el agua. Retomado de: <https://dle.rae.es/calcáreo>

² **Pólipos**: Una de las dos formas de organización que se presenta en los celentéreos cnidarios, bien como tipo único, como en las actinias y restantes antozoos, bien en alternancia con una forma medusa, como ocurre en el ciclo reproductor alternante de muchos cnidarios. El pólipo vive fijo en el fondo de las aguas por uno de sus extremos, y lleva en el otro la boca, rodeada de tentáculos. Retomado de: <https://dle.rae.es/?id=TYwSa3s>

sometidos a diversidad de problemáticas causadas de forma natural o por la intervención antrópica³, de lo cual surge el blanqueamiento de corales.

Los corales son extremadamente sensibles y sólo pueden vivir en aguas a una temperatura de entre 18 y 30 grados Celsius. La mayoría de los episodios de blanqueo del coral suceden cuando hay un incremento de tan sólo 1 grado Celsius en la temperatura por encima de la máxima temperatura del agua en verano. La temperatura de los mares tropicales ha aumentado en 1 grado Celsius a lo largo de los últimos 100 años, y está aumentando actualmente a razón de 1-2 grados por siglo. (O. Hoegh-Guldberg, *et al.* 2007).

Este suceso natural o antrópico se encuentra condicionado por los niveles de estrés a los que encuentran expuestos los corales, y los animales que interactúan allí, debido al aumento o disminución agresiva de las temperaturas superficiales de los mares y océanos, en las zonas que se encuentran ubicadas entre los trópicos.

Teniendo en cuenta las condiciones espaciales (contexto), en las cuales el ecosistema debe encontrarse para mantener su funcionamiento armónico como ecosistema, según Garzón- Ferreira (S.f) los arrecifes son ecosistemas “que se desarrollan sobre el fondo del mar en aguas cálidas, claras e iluminadas de poca profundidad (normalmente menos de 50 m de profundidad)”. (p. 1).

Este es, debido al aumento o disminución de 1 o 2° Celsius en la superficie marina es un impacto devastador para los corales, en el año 1998 sucedió el blanqueamiento arrecifal más intenso alrededor del mundo, debido al cambio climático, provocados por los gases efecto invernadero (Dióxido de carbono, Metano, etc.). en la temporalidad del fenómeno del “Niño”. Formando una capa de estos gases en la atmosfera; impidiendo que la energía (calor) que

³**Antrópico:** Producido o modificado por la actividad humana, es todo aquello que tiene que ver con los seres humanos y su posición en cuanto a lo natural, ya que engloba a todas las modificaciones que sufre la naturaleza por causa de la acción humana. Retomado de: <https://dle.rae.es/antrópico>

ingresa al planeta pueda emerger, refractándose sobre los mares y océanos; que absorben un aproximado de 93% del calor que permanece encerrado en el globo terráqueo.

Al estar expuestos constante e intensivamente al calentamiento o enfriamiento de las superficies marítimas, da inicio el proceso en que los organismos conocidos como las zooxantelas⁴, encargados de entregar condiciones al coral como color, forma, alimento, entre otros. Son expulsados paulatinamente pero ágil del coral; provocándole la muerte por falta de nutrientes, posibilidad de crecimiento o reproducción del mismo.

La muerte coralina, como puede observarse en la figura 7, evidenciando el proceso por el que transcurren los corales, este fenómeno de blanqueamiento es separado por etapas, teniendo en cuenta la acidificación del agua, o el incremento de carbonato, pasando de 375 ppm a 500ppm; donde se ve como en fragmentos van tomando un color blanco traslucido evidenciando la expulsión de las zooxantelas de su estructura calcárea, luego de 3-4 semanas de este proceso llegará al punto en que esta tonalidad de blanco se apoderará de la totalidad

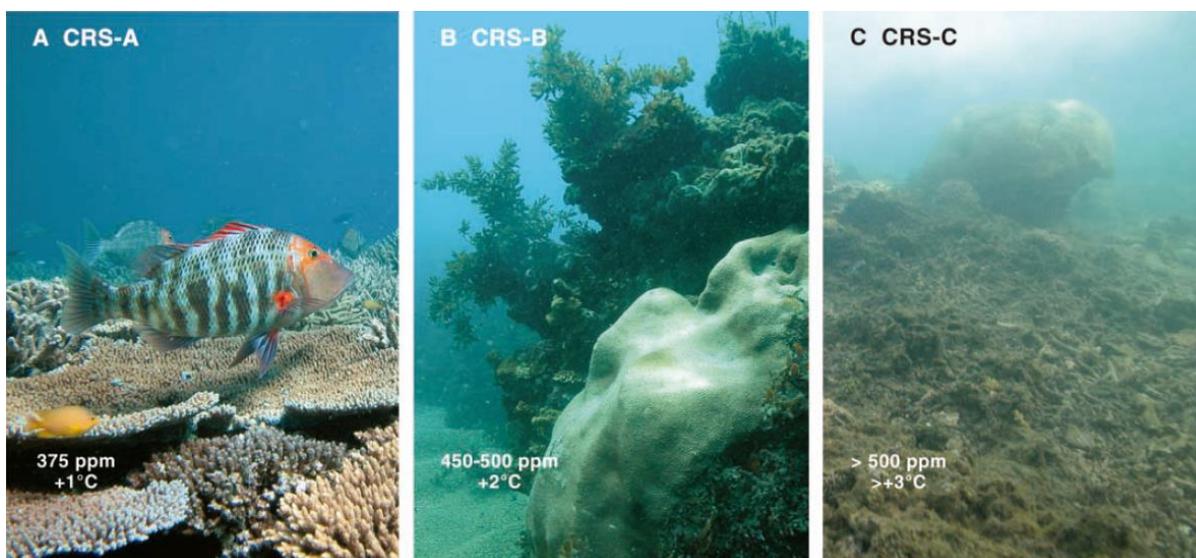


Figura 7, Ejemplos del proceso de blanqueamiento de comunidades coralinas en la Gran Barrera de corales en Australia, pasando desde un escenario saludable, hasta llegar al escenario donde el coral ya se encuentra muerto y cubierto por algas incrustantes. O. Hoegh-Guldberg, et al. (2007).

⁴ **Zooxantelas.** Son organismos endosimbioses de varios animales marinos y protistas son algas dinoflageladas, aunque otros tipos de algas, tales como las diatomeas pueden actuar de manera equivalente. Generalmente son integradas por ingestión directa, y se multiplican a continuación en los tejidos del anfitrión, proporcionándole nutrientes variados. Retomado de: <https://www.ecured.cu/Zooxantelas>

del coral; conocido como fase de agonía, que al cabo de semanas se tornara en un blanco opaco e intenso donde se afirma que ha muerto y finalmente será recubierto por algunas especies invasoras de algas marinas.

Como consecuencia de este fenómeno natural o antrópico, se genera de manera inmediata la fractura del ecosistema, donde las colonias de peces o seres vivos que coexisten allí, mueren o migran a otra zona que les proporcione refugio de los depredadores, alimento y condiciones adecuadas para su crecimiento y reproducción.

El blanqueamiento de los arrecifes de coral produce connotaciones ambientales, ecológicas de proporciones inimaginables, Según el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Invemar) el cual lleva haciendo un monitoreo del blanqueamiento de los arrecifes de coral desde el año 1998 bajo el protocolo del Sistema Nacional de Monitoreo de los Arrecifes de Coral de Colombia (SIMAC), “se ha encontrado un porcentaje del 40-45% de blanqueamiento de los arrecifes en las últimas décadas” (p. 3). y donde en el informe emitido en octubre del 2018 por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) afirman que “En el año 2050, los arrecifes de coral se reducirían entre un 70% y un 90% con un calentamiento global de 1,5 ° C, mientras que prácticamente todos (> 99%) se perderían con 2 ° C.” (p. 1).

En otras palabras, esta problemática y la perturbación de las interacciones animales por la respectiva fractura del ecosistema, lo cual tiene un alto impacto en la humanidad por todo lo que trae consigo. Aunque evidenciando de forma más marcada un horizonte para el desarrollo y ejecución de proyectos en pro de apaciguar el cambio climático y la consiguiente pérdida de flora y fauna marina en el planeta.

Justificación

El desarrollo del presente trabajo de grado tomó como eje principal la protección, cuidado y resguardo de los ecosistemas de arrecife de coral, los cuales son sometidos al fenómeno de Blanqueamiento coralino, y por ende las perturbaciones en las interacciones animales del contexto, que se ha intensificado a lo largo de los últimos 20-25 años. Perjudicando de manera significativa a la población aledaña o a industria como la pesca (artesanal e industrial), el turismo ecológico dado desde acciones contemplativas como el buceo o careteo, y, por consiguiente, a los seres humanos, teniendo en cuenta las comunidades cercanas a estos ecosistemas, que dependen de gran parte, su economía y su alimentación de esta vital conexión marina.

Esta problemática permite dar paso a la fundamentación y elaboración proyectual, permitiendo tener en cuenta la noción de estructuras disipativas, bajo una óptica de la disciplina diseño industrial, buscando establecer una correlación entre los criterios de selección las formas, la conexión con el contexto submarino, y las interacciones con los animales y especie que presenta mayor tasa de susceptibilidad al fenómeno de blanqueamiento, la implementación de materiales como el cemento deslave, o cerámicas que poseen características propicias para la ejecución submarina, y donde la estética se encuentra desarrollada en pro de los comportamientos naturales de los animales que interactúan en el ecosistema, y los procesos de producción ambientalmente pensados, como una de las etapas vitales para evitar contaminación o afectaciones, en uso, o desecho. fortaleciendo la perspectiva donde la existencia de desarrollos enfocados en esta problemática es realmente precaria e incluso inexistente, coincidiendo con la articulación con diversidad de disciplinas para la obtención de un resultado propicio y acorde a las necesidades presentes del ecosistema actual.

Lo cual permite tener en consideración los procesos gestantes de sostenibilidad ambiental, social y cultural de las comunidades de seres humanos y/o animales, que se ven directa e indirectamente beneficiadas de la existencia de estas selvas pluviales, desde la

industria hotelera y turística, con las playas de arena blanca, hasta la extracción de sustancias naturales de valor farmacéutico como: Antibióticos obtenidos de esponjas marinas, anti tumorales obtenidos de algas rojas. Las cuales reciben retribuciones económicas la gran mayoría adquiridas de forma responsable y sostenible, que mejora la calidad de vida de todos los seres que interactúan en el ecosistema.

Pregunta de diseño

¿Cómo el diseño de una estructura formal-estética artificial coralina, puede adaptarse al género- especie Acropora (A. Palmata, A. Cervicornis), sin generar alteraciones en la interacción animal en el contexto marítimo?

Objetivos

General

Proponer una estructura formal-estética artificial; que se ajuste al género- especie de coral Acropora (A. Palmata, A. Cervicornis). Estableciendo una conexión coherente con el contexto marítimo, la interacción animal.

Específicos

- Analizar el género- especie de coral Acropora, que poseen una mayor tasa de susceptibilidad al fenómeno de blanqueamiento.
- Caracterizar las relaciones de artificialidad (materiales, formas, procesos, etc.) propicias para el desarrollo de la estructura y su acople al coral.
- Desarrollar un prototipo de comprobación formal-estética, implementando la concepción de simulación finita, que favorece a la validación del desarrollo. (Virtual- Intangible: Pruebas físicas, dadas por programas como SolidWorks; Análogo- Tangible: Artefacto físico con materiales reales).

Alcance del proyecto

El presente proyecto de grado enfatizado en el fenómeno de blanqueamiento de comunidades coralinas, y perturbaciones en la interacción animal, busca establecer el desarrollo de una estructura formal-estética artificial, que se ajuste al género- especie de coral Acropora (A. Palmata, A. Cervicornis), sin generar cambio en los comportamientos del ecosistema mientras se encuentra en función.

Dando paso a la fundamentación, proyección y posteriormente elaboración para un escenario visto desde la academia, brindando como evidencia de búsqueda, introspección, análisis, argumentación de información de un modelo formal tridimensional de comprobación, tomando como punto de partida el análisis, selección y comprobación de los materiales existentes más acordes para un perfecto desarrollo morfológico, pasando por los procesos de producción acordes a la etapa por la que transcurre el proyecto, vistos desde una perspectiva artesanal, de validación, de nociones de optimización de recursos, tiempos e individuos involucrados, permitiendo tener en consideración los posibles acoples o ensambles acordes subsuelo marino o al contexto de aplicación.

Estableciendo un alcance a corto plazo, donde se buscará validar o corroborar las características, de uno de los factores vitales del proyecto como lo es el material (Cemento deslave, cerámicas), pruebas, que serán constatadas bajo programas/software de modelado tridimensional y simulación de pruebas físicas, como las que brindan programas como SolidWorks, o Inventor.

Donde el concepto de una simulación finita (Interrelación de lo Virtual y lo Análogo), se torna en una determinando para la elaboración del presente diseño, lo cual permite tener muy presente aquellos aspectos de vital importancia como: salinidad, presión atmosférica, pH, peso, concentración de CO₂ y CaCO₃, que otorgaran determinantes para la función, mantenimiento, e implementación del paquete tecnológico y la correspondiente relación morfológica y funcional del proyecto en ejecución.

Estos factores establecen una conjugación de una relación escalar de 1:2, que busca optimizando insumos y tiempo de elaboración del modelo de comprobación que será entregado para la finalización del proceso de formación académica de la disciplina de diseño industrial.

Este proceso de creación y comprobación del modelo morfológico, otorga en consideración un escenario alternativo, que brinde la posibilidad de entablar procesos de comprobación y validación, teniendo en cuenta la situación actual de salud pública presente en el país y en el mundo (Covid-19); donde en determinadas circunstancias es relativamente complejo poder obtener los insumos necesarios para la elaboración, Y donde en el segundo escenario, se plantea desde la simulación virtual del artefacto, forma, función, materiales, siendo desarrollado en su totalidad por programas/software que son fomentadas en este punto donde la tecnología es el paso que la sociedad actual está dando mayor relevancia en diversidad de escenarios.



Figura 8, Escenarios de posible desarrollo, Elaboración propia, (2020)

Marco referencial

Antecedentes.

Los arrecifes de coral⁵ son un sistema de relieve pronunciado y complejo, que se desarrolla en el fondo del mar en aguas cálidas, claras e iluminadas, siendo ambientalmente los principales bio-monitores del cambio climático (Carballo, Guerrero, Nava, Barraza, 2015). y considerados biológicamente los más productivos, proporcionando de 5 a 20gr c/m²/Día, y por consiguiente otorgando un potencial pesquero de alrededor de 9 millones de toneladas al año, donde las principales especies comercializadas son: pargos, meros, chernas, langostas, cangrejos, y caracoles. (Garzón, S.f).

Estos ecosistemas o selvas pluviales en términos biológicos, son denominados los más diversos, (Carballo, et al. 2015). afirman que “los corales hermatípicos, [...] contienen 1.5 millones de zooxantelas por cm² y poseen de 2 a 10pg (Picogramo) de clorofila por zooxantela, y albergan el 25% de las especies marinas, tomando en consideración que solo abarcan el 0.2% del fondo marino”, donde surge la relevancia de los corales. y su gran aporte a los seres vivos (Humanos y animales) que poseen interacción directa e indirecta con el ecosistema.

En términos estructurales, están compuestos a base de carbonato de calcio (CaCO₃), y su crecimiento es dado de forma vertical, entre 3 a 5 mm por año, alcanzando un peso aproximado entre 0,8 a 4 kg/m² de dicho crecimiento, y donde por cada kilogramo de CaCO₃, 450 gramos son de CO₂ (Dióxido de carbono), permitiéndole filtrar a los corales un aproximado de 700 billones de kilogramos de Dióxido de carbono al año (Carballo, et al. 2015). entregando nociones para contrarrestar el efecto del cambio climático por la quema de combustibles fósiles o emisores de dióxido de carbono.

A lo largo de los años en los que el efecto invernadero ha reflejado el CO₂ atmosférico a la que los océanos se encuentran expuestos, disminuyendo el nivel de PH (Carballo, et al.

⁵ **Coral:** Tejido viviente, capa de milímetros con la capacidad de moldear una superficie de tierra a más de 1300m de espesor. (Garzón, S.f).

2015). en las superficies, evitando así la formación respectivas estructuras calcáreas (exoesqueletos) de la que se encuentran conformados los corales.

Entregando nociones de daños hacia las comunidades coralinas, donde se divide en 2 terminologías, primero tenemos la mortalidad antigua, la cual hace referencia al área muerta en la que la estructura de los cálices ya no es visible; y finalmente mortalidad reciente, la cual hace referencia al esqueleto expuesto, áreas de los cálices que aún son visibles (Caballero, H. Alcolado, P. 2011).

Valderrama, S. P, Alcolado, P. M, Caballero, H, Llansó, E, y Rojas, D, (2013) afirma y respalda de lo descrito por Caballero, H. Alcolado, P. (2011). que “la mortalidad reciente son las partes muertas de un coral, las cuales generalmente son blancas e intactas”. y definiendo la muerte de los corales, es denominada como aquellas partes muertas, donde los coralites han desaparecido o han sido cubiertas por organismos incrustantes, como algas u otros (Valderrama, S. P, et al. 2013). Brindando una percepción más cercana a la situación, donde entre en consideración el fenómeno de blanqueamiento de corales como mortalidad antigua que a lo largo de los últimos 20 años han sufrido.

Según Rodríguez, M. V, et al. (2016) afirman que “el 66% de los daños al ecosistema de arrecifes de coral ocurren en el caribe, y el 8% de las comunidades coralinas soportan determinadas alteraciones, como el blanqueamiento coralino”. Uno de los fenómenos más complejos y devastadores para el ecosistema y todas sus funciones intrínsecas.

Carballo, et al. (2015) afirman que “El blanqueamiento es la respuesta fisiológica genérica hacia las perturbaciones y sucede ya sea por pérdida de zooxantelas, o algas simbiotes, y/o por la disminución en la concentración de sus pigmentos”. Llegando a pérdidas del 60% al 90% de las zooxantelas, así mismo de un 50% al 80% de sus pigmentos fotosintéticos; donde el degrado de su color es llevado a un blanco intenso. (Carballo, et al. 2015). siendo percibido con mayor fuerza desde los años 1982 la mortalidad masiva más grande del género- especie Pocillopora, durante el fenómeno del niño, y en el año 1983 la

mortalidad masiva del Erizo negro, organismos arrecifales más abundantes en el gran caribe. (Garzón, S.f). Estos erizos son considerados de vital importancia para los corales debido a que su alimento son aquellas algas incrustantes que recubren el coral después del proceso de blanqueamiento.

O. Hoegh-Guldberg, *et al.* (2007). afirman que “el patrón de blanqueamiento es consistente en todos los océanos y los devastara a comienzos del próximo siglo”. Y donde la temperatura estable de los corales oscila entre los 18 a los 30° Celsius, y es allí donde la foto-inhibición⁶, entrega un 95% más de nutrientes, y energías capaces de metabolizar los huéspedes del coral, y estableciendo cambios en la alcalinidad⁷ del agua, ocasionada por la subida de niveles de los mares, fusionado con el aumento de 1 a 3° Celsius llevara a la muerte a los corales con mayor susceptibilidad. Aunque los arrecifes de coral ubicados en aguas poco

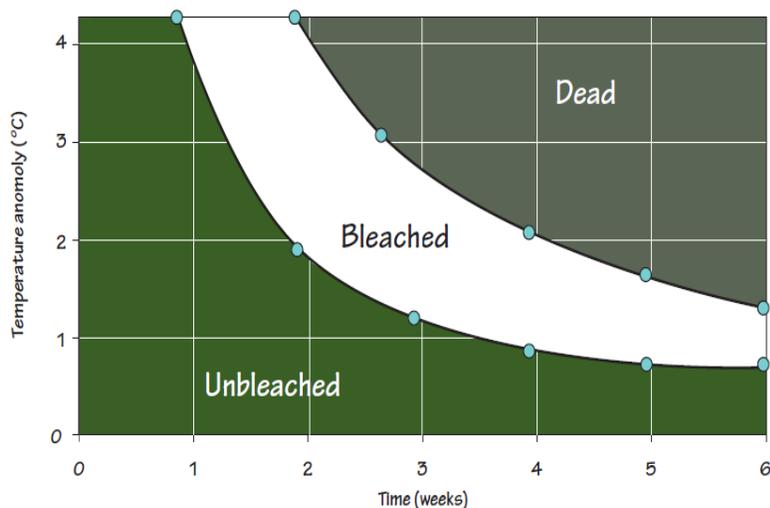


Figura 9, La relación entre la intensidad y la duración del calor, estrés y el riesgo y la gravedad del blanqueamiento masivo, (Marshall, P. Schuttenberg, H. (2006).

Nota: La medición directa de la temperatura del agua puede proporcionar una descripción más detallada de las condiciones locales para complementar información satelital regional sobre anomalías de temperatura y riesgo de blanqueamiento. Predecir el riesgo de blanqueamiento del agua. Las mediciones requieren una comprensión de la exposición que puede desencadenar el blanqueamiento en el área local. El gráfico muestra la relación general entre el tamaño del estrés por calor (eje vertical) y su duración. (eje horizontal) y el inicio del blanqueamiento. Los umbrales de blanqueamiento reales variarán según la ubicación en función de las condiciones ambientales y la sensibilidad de las especies dominantes de arrecifes de coral presentes. (Marshall, P. Schuttenberg, H. (2006).

⁶ **Foto-inhibición:** Disminución de la actividad fotosintética de los vegetales, originada por un exceso de radiación. Retomado de: <http://diccionario.raing.es/es/lema/fotoinhibición>

⁷ **Alcalinidad:** Cantidad de álcali. Un álcali es una sustancia química que se disuelve en agua, se combina con ácidos para formar sales y hace que los ácidos se tornen menos ácidos. Retomado de: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/alcalinidad>

profundas, poseen una tasa mayor a blanqueamiento, debido a las temperaturas más elevadas y a la irradiación intensa de la luz solar (Rodríguez, M. V, et al. 2016).

O. Hoegh-Guldberg, *et al.* (2007). afirman que “Se espera que la concentración de dióxido de carbono en la atmosfera supere las 500 partes por cada millón, [...] aumentando el riesgo por acumulación de carbonato, [...] donde la concentración de carbonato excede los 380 ppm. [...] teniendo en cuenta que la temperatura global tendrá un aumento de 2° Celsius entre los años 2050 y 2100”. Permitiendo visualizar la relación con el incremento de la temperatura, en tan solo semanas, haciendo que los corales mueran como se es presentado en la figura 6, estableciendo y generando un decremento en la calidad del agua, llevando al ecosistema a un colapso funcional.

Durante el siglo XX el aumento del CO₂ ha llevado las temperaturas del mar a 0,74° Celsius, y un aumento promedio de 17cm en el nivel del mar, llevando a los organismos a ser

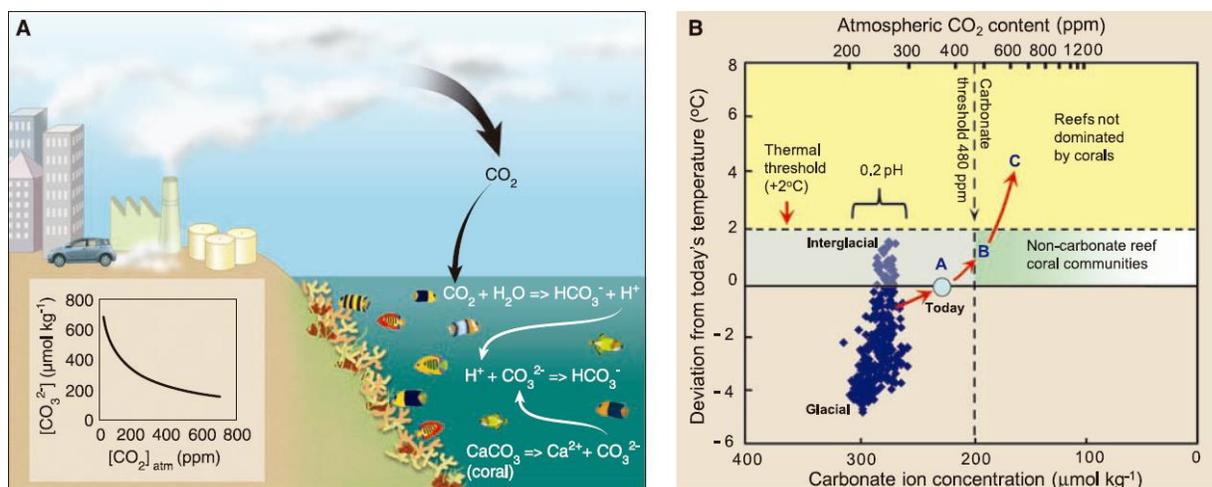


Figura 10. Los vínculos entre la acumulación de CO₂ atmosférica y la desaceleración de la calcificación de los corales debido a la acidificación de los océanos (O. Hoegh-Guldberg, et al. (2007).

Nota: Aproximadamente el 25% de la CO₂ emitida por los seres humanos en el periodo de 2000 a 2006 (9) fue tomada por el océano en donde se combina con agua para producir ácido carbónico, que libera un protón que se combina con unión carbonato. Esto disminuye la concentración de carbonato, por lo que es disponible los calcificadores marinos tales como corales. Si la temperatura, y el CO₂ atm, y las concentraciones de carbonato de iones reconstruidos por el pasado 420.000 años. concentraciones de carbonato se calcularon que el CO₂ atm y las desviaciones de temperatura a partir de hoy, donde las condiciones con el conjunto de datos de hielo de Vostok (Core 5), suponiendo salinidad constante (34 partes por billón), la temperatura media del mar (25 ° C), y la alcalinidad total (2,300 mmol kg⁻¹). Más detalles de estos cálculos están en el SOM. La acidez del océano varía en ± 0,1 unidades de pH en los últimos 420.000 años (valores individuales no mostrados). Los umbrales para cambios importantes en las comunidades de coral se indican para el estrés térmico (+ 2 ° C) y las concentraciones de carbonato de litio ([carbonato] = 200 metro mol kg⁻¹, saturación de aragonita aproximada ~ W aragonita = 3.3; [CO₂] atm = 480 ppm), (O. Hoegh-Guldberg, et al. (2007)

incapaces de tolerar y/o adaptarse al cambio que se presenta de forma abrupta, y donde el efecto producido por los gases de efecto invernadero como el CO₂, día a día se concentran e impiden que este ecosistema genere sus procesos de construcción calcárea, como se puede observar en la figura 7, siendo notorio el ciclo que se ha establecido en los mares y océanos con el CaCo₃, Co₂ y otros compuestos que entorpecen y llevan a los corales a una reducción del 1.29% por año aproximadamente, cayendo su crecimiento a un 20,6% (O. Hoegh-Guldberg, *et al.* (2007).

Algunas especies de celenterados o corales pétreos son categorizadas como vitales formadores de arrecifes, debido a su anteriormente nombrada estructura de carbonato de calcio, tales como *Siderastrea sidérea*, *Agaricia agaricites*, *Orbicella annularis*, *Orbicella faveolata*, *Acropora Cervicornis*, *Acropora Palmata*, las cuales poseen un porcentaje de 44% susceptibilidad al blanqueamiento (Rodríguez, M. V, et al. 2016). Uno de los géneros llamado *Acropora*, debido a su composición ramificada, y delgada capa de coral vivo, hace que la perturbación (estrés) por el aumento de la temperatura por encima de los 29° Celsius ocasiona un proceso más agresivo y contundente, llevando este género a una endosimbiosis⁸ y a la expulsión de sus dinoflagelados⁹, produciendo su decoloración total. (O. Hoegh-Guldberg, *et al.* 2007).

Algunos corales pétreos pertenecientes al género *Acropora*, (*Acropora Palmata*, *Acropora Cervicornis*, *Acropora millepora*, *Acropora clathrata*, *Acropora globiceps*, ...). Poseen en ocasiones a plena vista y de reconocimiento, características como sus formas ramificadas, su alta tasa de crecimiento e inclusive de regeneración, las cuales se ven afectadas por el blanqueamiento, reduciendo ampliamente la resistencia, debido a su fina capa de coral vivo

⁸ **Endosimbiosis:** La endosimbiosis es una asociación estrecha entre especies, en la que los individuos de una residen dentro de las células de la otra. Retomado de: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Endosimbiosis.html>

⁹ **Dinoflagelados:** Son animales microscópicos, casi siempre unicelulares clasificados como protistas. Tienen flagelos, los cuales le permiten la locomoción y la alimentación. Retomado de: <https://www.ecured.cu/Dinoflagelados>

	GROWTH FORM	CORAL FAMILY	EXAMPLES
RESISTANCE LOW	Fine branching	Pocilloporidae	<i>Seriatopora</i> <i>Stylophora</i> <i>Pocillopora</i>
	Branching, tabulate, encrusting/foliose	Acroporidae	<i>Acropora</i> <i>Montipora</i>
MEDIUM	Massive, brain	Faviidae	<i>Favia</i> <i>Favites</i> <i>Leptoria</i> <i>Goniastrea</i> <i>Platygyra</i>
	Massive, boulder	Poritidae	<i>Porites</i> <i>Goniopora</i>
HIGH	Various	Various	<i>Turbinaria</i> <i>Cyphastrea</i>

Figura 11, Una jerarquía generalizada de la susceptibilidad de los corales al blanqueamiento. (Marshall, P. Schuttenberg, H. (2006).

Nota: Los corales varían en su susceptibilidad al blanqueamiento. Si bien muchos factores influyen en la resistencia al blanqueo, La forma de crecimiento o familia de un coral proporciona una indicación aproximada pero confiable de su susceptibilidad al estrés por calor. (Marshall, P. Schuttenberg, H. (2006).

que les permite funciones de crecimiento, o reproducción, donde teniendo en cuenta aspectos como su morfología, tipo de estructura calcárea (tubular o no), lo que permite segmentar cuan resistentes o tolerantes son a la foto-inhibición, como puede observarse en la figura 8, donde se observa, tipo de crecimiento o composición taxonómica, géneros o familias coralinas que disponen de mayor tolerancia al fenómeno de blanqueamiento.

Género- especie *Acropora* (*Acropora Palmata*, *Acropora Cervicornis*).

Acropora es uno de los géneros que poseen un aproximado de 133 especies, siendo el género con mayor tasa de susceptibilidad en la comunidad coralina, por su fina capa de coral vivo de 1 milímetro o menos (Sotomayor, 2005), como sucede con especies principales y mayormente conocidas como *Acropora Palmata* (Cuerno de Alce), *Acropora Cervicornis* (Cuerno de ciervo), entre otras.

En el 2004 en un estudio realizado por (Garzón-Ferreira, J. Moreno-Bonilla, M. Vásquez J, M. 2004.). se descubrió que en las 29 FAP (Formaciones de Acropora Palmata), y FAC (Formaciones de Acropora Cervicornis), presentes en Colombia, en el Parque Nacional Natural Tayrona, fueron encontradas condiciones realmente decrecientes, donde la cobertura de coral vivo no alcanzaba el 10% por parte de la especie Acropora Palmata, y con una relación de tejido vivo y tejido muerto de 1:8 (88% Tejido Muerto), y tan solo el 5% de cobertura de coral vivo, y una relación de 1:15 (94% Tejido muerto) por parte de la especie Acropora Cervicornis. Donde FAP y FAC alcanzaron una tasa de cobertura con relación a algas incrustantes de (80% algas, 16,7 FAP, 12,4 FAC), sienten estos organismos estableciendo un sistema de parasitismo, frente a estas dos especies de coral. (Garzón-Ferreira, J. Moreno-Bonilla, M. Vásquez J, M. 2004.)

El desarrollo, conservación y protección de estas especies de coral pertenecientes al género Acropora, es fundamental, debido a su función vital de formación estructural coralina, y más sobre la localización de las crestas arrecifales, y donde debido a su tasa mayor de susceptibilidad al blanqueamiento y otras enfermedades, alcanzado un porcentaje de erosión, de un 80% a un 98% en varias zonas del caribe en la última década. (Hernández-Delgado, F. González-Díaz, S, P. Rodríguez, V, M. 2017).

Debido a la composición, morfología y zonificación de estas especies de coral, donde los taxones¹⁰ ramificados y con índices de crecimiento rápido incrementa la tasa de susceptibilidad a fenómenos de incidencia térmica, aunque que permiten tener en consideración la variabilidad rápida o lenta de la temperatura, o denominado historial termino zonificado, donde según la geolocalización de los géneros y/o especies coralinas, si han padecido incremento o descenso de temperaturas anteriormente la tasa de susceptibilidad o

¹⁰ **Taxón:** Cada una de las subdivisiones de la clasificación biológica, desde la especie, que se toma como unidad, hasta el filo o tipo de organización. Retomado de: <https://dle.rae.es/taxón>

mortalidad por blanqueamiento es reducido debido a que se podido presentar un proceso de adaptabilidad a estos acontecimientos. (Ming Chou, L. et al, 2012).

Teniendo en cuenta su función constructora arrecifal de las especies *Acropora Palmata*, y *A. Cervicornis* en las partes someras¹¹, y la presente ubicación geográfica en el mundo, en determinadas condiciones limita el proceso de adaptación frente a los requerimiento de

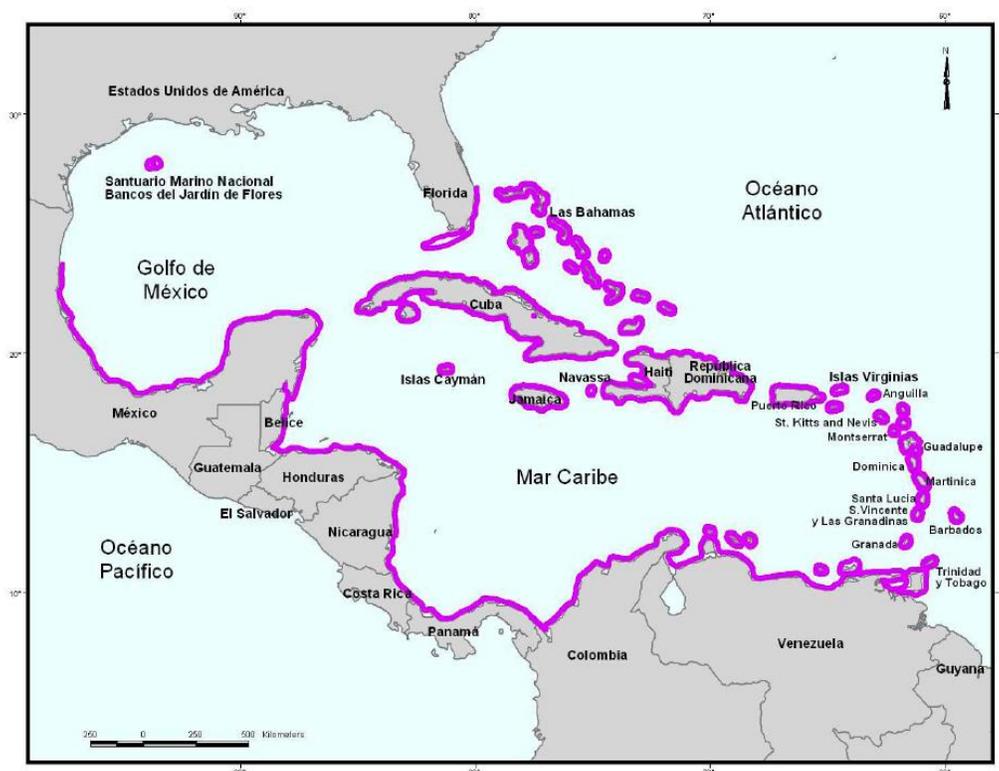


Figura 12. Distribución regional de *Acropora* spp. Basado en: *Acropora Biological Review Team*, 2005. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2012).

condiciones de energía solar, consumo de zooplancton en la región del Caribe como se observa en la figura 9, donde es evidente la distribución de las especies de *A. Palmata*, y *A. Cervicornis*, entregando un mayor noción frente a una responsabilidad colectiva del ser humano frente a este género y al respectivo ecosistema cercano. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2012).

¹¹ **Somero:** Ligerero, superficial, hecho con poca meditación y profundidad, Que está casi encima o muy inmediato a la superficie. Retomado de: <https://dle.rae.es/somero?m=form>

La estructura arrecifal, y la respectiva disposición en la que se encuentran los corales hermatípicos o pétreos (*A. Pal...*; *A. Cervi...*), en la sección más elevada conocida como la cresta, que posee condiciones características ambientales, denominadas así por encontrarse en zonas de desarrollo condicionadas por la turbulencia, el gran oleaje, mayor intensidad en factores de iluminación, más cercanos a las costas, siendo receptoras de mayores problemáticas como el exceso de sedimentación, desechos de las fuentes hídricas, entre otros factores. Estos taxones al encontrarse en profundidades relativamente bajas (20 m), como puede observarse en la figura 10 y 11, la constitución que representan ante el ecosistema arrecifal. (Hernández-Delgado, F. González-Díaz, S, P. Rodríguez, V, M. 2017).

Estos corales debido a su morfología, su composición, y sus requerimientos frente a la alimentación, y temperatura adecuada que oscila para estas especies en un rango de 25° a 29° Celsius, y estando ubicados en la cresta arrecifal, su estrés térmico, y su susceptibilidad frente

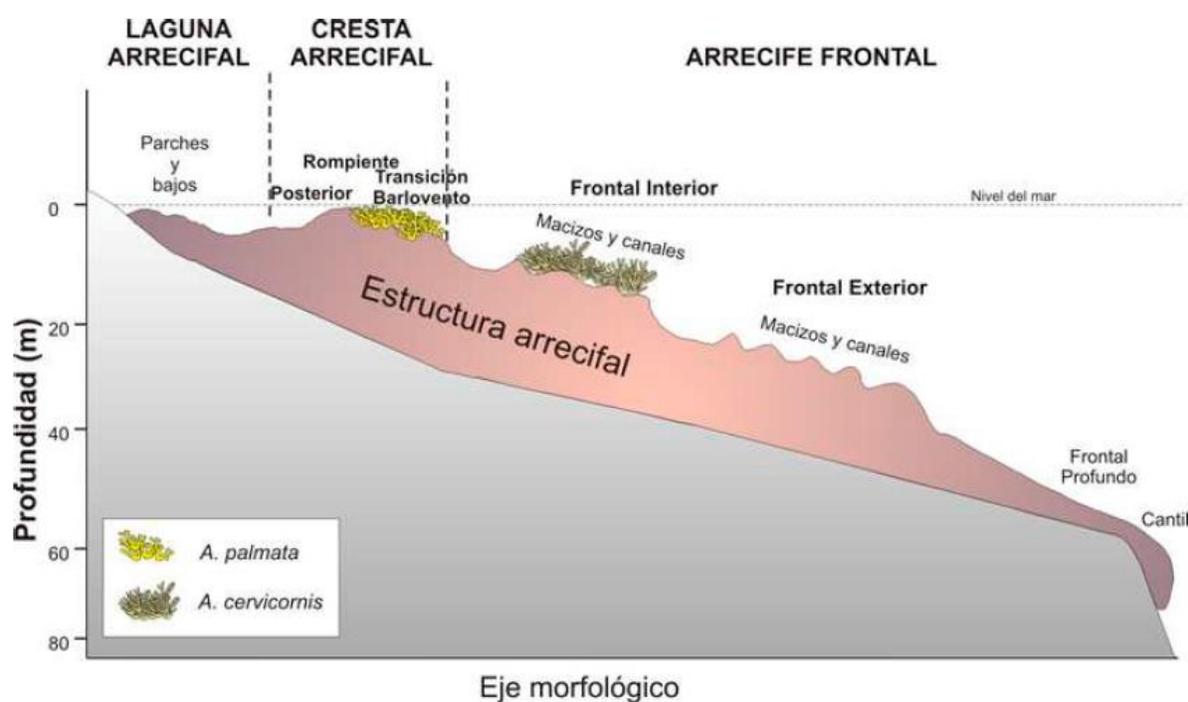


Figura 13. Patrón de distribución de *Acropora Palmata* y *Acropora Cervicornis* en los arrecifes del SAV. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2012).

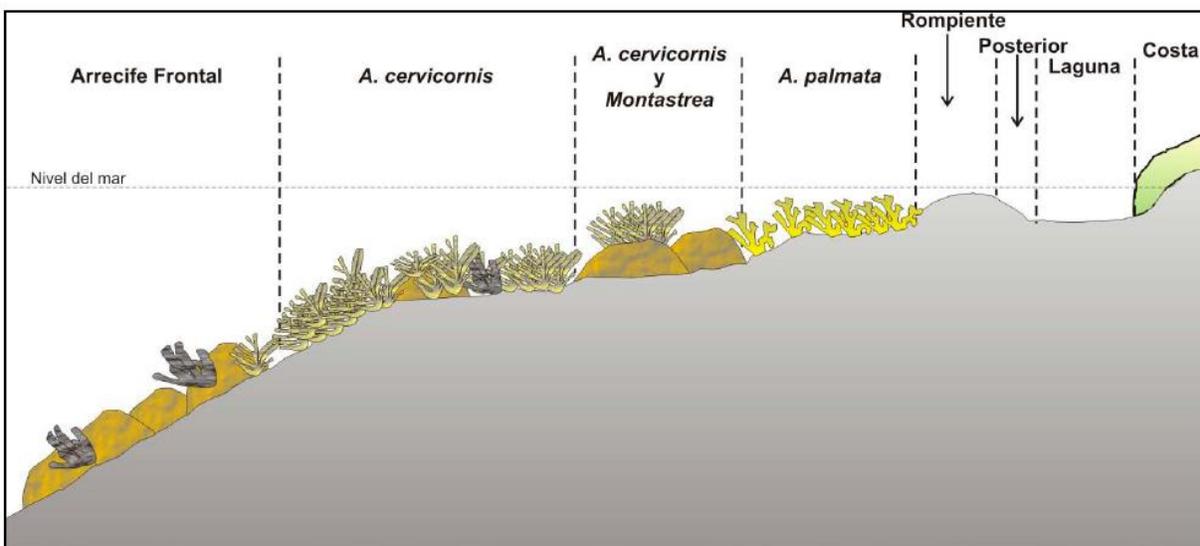


Figura 14. Patrón general de zonación de *Acropora Palmata* y *Acropora Cervicornis* en el arrecife. Basado en: *Acropora Biological Review Team, 2005*. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2012).

al blanqueamiento, (SEMARNAT, México. 2012). afectando así de manera notoria la evolución y sostenimiento de colonias juveniles, la reproducción sexual, y asexual o conocida como fragmentación de las adultas, rompiendo así el proceso de resiliencia de estos organismos modulares. (Garzón-Ferreira, J. Moreno-Bonilla, M. Vásquez J, M. 2004.)

Morfología Acropora Palmata, Acropora Cervicornis

La morfología de las especies *A. Palmata* y *A. Cervicornis*, son de vital importancia tenerlas en consideración, como factor resaltante frente al fenómeno del blanqueamiento, al ser colonias típicamente ramificadas, con una base relativamente estrecha, con una sujeción fija al sustrato, (SEMARNAT, México. 2012). Donde habitualmente dichas ramificaciones se encuentran condicionadas a condiciones ambientales tales como: fuerza del oleaje, corrientes marinas que brindan hasta cierto punto una dirección, la profundidad en la que se encuentren estas especies, la intensidad o irradiación solar. Llevando a establecer patrones aleatorios según la zona geográfica de ubicación, que se encuentran correlacionadas a la cantidad de individuos coralinos, su forma, la orientación dada por las corrientes, y la extensión de sus ramas. (SEMARNAT, México. 2012). En la tabla 1 y 2 se evidenciarán características

morfológicas, las cuales serán descritas, por su tipo de ramificación, su crecimiento aproximado anual, esto con la finalidad de un integral desarrollo de la estructura sistemática que estimulara térmicamente al coral, dejando de forma contundente y con más claridad, el motivo por el que la tasa de susceptibilidad al fenómeno del blanqueamiento del género *Acropora*, y de las especies principales *Acropora Palmata*, y *Acropora Cervicornis* es la mayor relacionada a los corales hermatípicos o corales pétreos.

La articulación y análisis de la información anteriormente presentada en la tabla 1 y 2, permite evidenciar mediante las características, dejando de forma clara y contundente los motivos por los cuales el género *Acropora*, y sus especies principales *A. Palmata*, *A. Cervicornis* poseen una tasa de susceptibilidad alta como lo afirman (Garzón Ferreira, S.f. Rodríguez, M. V, et al. 2016. O. Hoegh-Guldberg, *et al.* 2007. Marshall, P. Schuttenberg, H. 2006. Garzón-Ferreira, J. Moreno-Bonilla, M. Vásquez J, M. 2004. Hernández-Delgado, F.

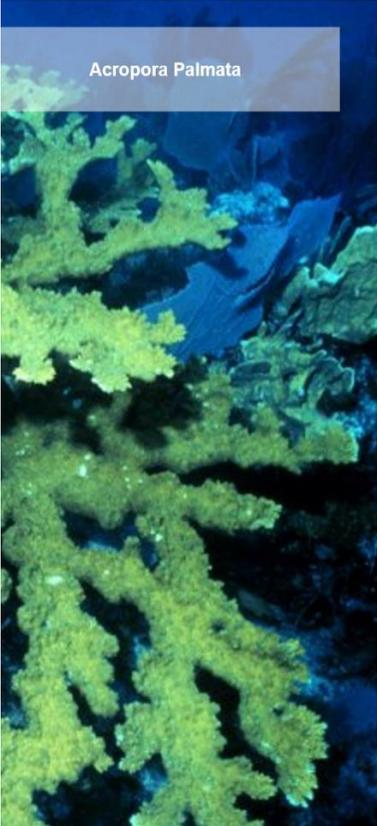
	<p>Ramificación aplanada (palmeado), en forma de frondas, con una coloración de café rojizo u ocre, típico de los adultos.</p> <p>Características generales.</p>	<p>Dimensiones morfológicas generales del coral: Aprox. 2 m de alto Aprox. 4 m de diámetro Aprox. 40 cm de diámetro de tronco.</p> <p>Dimensiones.</p>
	<p>Dimensiones morfológicas de las ramificaciones: Aprox. 50 cm de ancho Aprox. 2 - 10 cm de grosor, pasando por un proceso de adaptabilidad según sea la energía del oleaje, siendo llevadas a ubicaciones paralelas al flujo del agua.</p> <p>Características de las ramas.</p>	
<p>Este coral pétreo alcanza un crecimiento anual de aproximadamente entre un rango de 4 a 11 cm. Sus condiciones de reproducción de mayor eficiencia es la reproducción asexual o por fragmentación, que luego de un desprendimiento y dependiendo la profundidad (1-5 m), establece un proceso de asentamiento y surge una nueva colonia de allí.</p> <p>Características de crecimiento.</p>		

Tabla 1, Características generales del Coral *A. Palmata*, Elaboración propia, (2020)

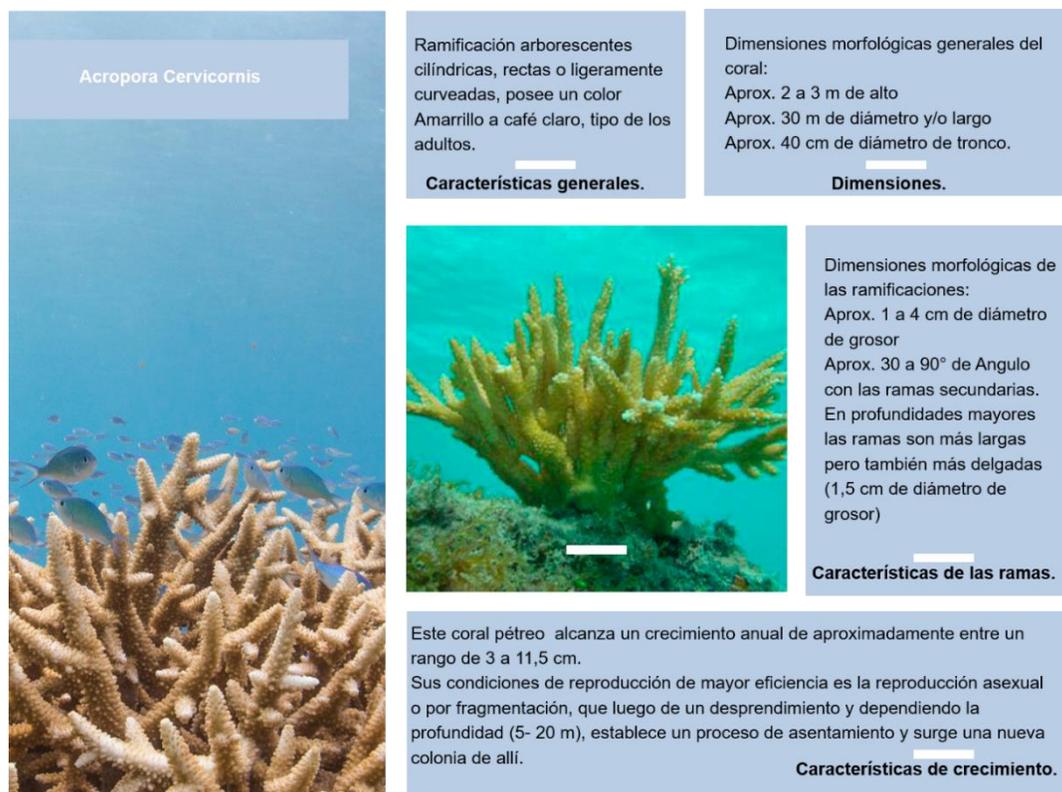


Tabla 2, Características generales del Coral *A. Cervicornis*, Elaboración propia, (2020)

González-Díaz, S, P. Rodríguez, V, M. 2017. Ming Chou, L. et al, 2012. SEMARNAT, México. 2012) en sus investigaciones científicas, siendo notorio las causas de blanqueo, como su tipo de morfología (ramificada), su respectiva ubicación en la zona somera de la estructura coralina (Cresta), la delgada capa de dinoflagelados (zooxantelas) de aproximadamente 1 mm de espesor.

Estas comunidades coralinas al encontrarse tan cerca de la costa y bajo las condiciones anteriormente mencionadas; fomentan el proceso de blanqueamiento, debido a la acumulación de agentes antropogénicos que hacen este fenómeno, como el exceso de sedimentación del depósito de las fuentes hídricas, los desechos químicos (líquidos) y sólidos pertenecientes a industrias o seres humanos, la sobrepesca de especies de valor comercial, tal como pueden ser observados en la figura 15, ocasionando rupturas irreparables en los ecosistemas de



Figura 15, *El impacto de las actividades humanas sobre los arrecifes*, (Sotomayor, 2005).

arrecifes de coral, pero más al género *Acropora* por encontrarse ubicados a menor distancia de las costas en el Caribe.

Marco Conceptual

El presente proyecto de grado requiere establecer con claridad, los conceptos principales que efectúan en el mismo, dando inicio por *Arrecife*, *Coral*, *Estructura*, y finalizando con *Temperatura*. Los cuales estarán condicionados bajo un entorno y connotaciones específicas, que son establecidas mediante el objetivo a desarrollar del presente trabajo académico.

Arrecife

Definición

Según la Real Academia Española (RAE), en el diccionario de la lengua española describe el término como: “Banco o bajo formado en el mar por piedras, puntas de roca o políperos, principalmente madreporicos, casi a flor de agua”. Siendo estas, estructuras de relieve, y un nivel de complejidad extremadamente elevado. Las cuales se desarrollan en el lecho marino, efectuándose en plataformas terrestres continentales submarinas, donde se forja una comunidad, estableciendo una estrecha vinculación de sistemas sinérgicos ambientales y agrupaciones coralinas de diferente índole (género y especie). Donde la construcción y

unificación de individuos establecen un extraordinario ecosistema, conformando una relación mutualista de seres vivos (Animales y humanos). (Sotomayor, 2005).

El concepto de arrecife apropiado en este proyecto es la unificación de la variedad de colonias calcáreas (corales), transformándose en una comunidad arrecifal. esto podría llevar a entablar una analogía con el ecosistema, frente a una ciudad, la cual se conforma de la interacción de individuos de diferentes razas, edades, sexualidades, e inclusive estratos sociales, pensando en ello como una sociedad equitativa y resiliente.

Tipos de arrecifes

Los arrecifes, dado a que se encuentran ubicados en zonas tropicales y subtropicales, teniendo en cuenta su desarrollo su tiempo de existencia poseen ciertas características de forma, composición estructural, la diferencia en los cuatro casos expuestos aquí, es la dicotomía entre los beneficios que proporciona a los seres humanos según sea la distancia de cercanía a ellos así como se puede observar en la figura 16, 17, 18, 19, entregando nociones del motivo por el cual se encuentra en un permanente riesgo, de varias problemáticas como: sobrepesca, exceso de sedimento, entre otros anteriormente nombrados en el presente documento.



Figura 16, Arrecife de coral tipo bordeantes. (Sotomayor, 2005),



Figura 17, Arrecife de coral tipo parchos, (Sotomayor, 2005),



Figura 18, Arrecife de coral tipo barrera, (Sotomayor, 2005),



Figura 19, Arrecife de coral tipo atolones, (Sotomayor, 2005).

Estas tipologías expuestas, poseen eventualmente una diversidad variable, según sea su localización y/o condiciones ambientales, permitiendo el desarrollo determinado y sectorizado de flora y fauna marina, manteniendo un ecosistema sostenible de forma mundial.

Coral

Definición

Según la Real Academia Española (RAE). en el diccionario de la lengua española en el 2001 describe el término como: “Celentéreo¹² antozoo, del orden de los Octocoralarios, que vive en colonias cuyos individuos están unidos entre sí por un polipero calcáreo y ramificado de color rojo o rosado.”. Estableciendo estos organismos bajo la concepción de la “individualidad”, siendo aquellos, sujetos activos del sistema (Arrecife), estableciendo una segmentación o noción de sujeto, dándose desde la taxonomía por corales hermatípicos, ahermatipicos. Donde cada clasificación posee géneros y especies con características diferentes. (Carballo, et al. 2015).

El concepto de coral. adaptado en este proyecto se encuentra concebido bajo la interpretación de un organismo calcáreo, compuesto por miles de millones de pólipos y/o zooxantelas. Pero condicionado por un sujeto sostenible, evolucionado y resiliente, donde la unificación de variedad género- especie permite la estructuración arrecifal.

Tipos corales

Los constructores del vital ecosistema arrecifal, los corales son conocidos por una diferenciación que conlleva a dos nociones (Hermatípicos y ahermatipicos). La primera como Corales pétreos o duros (Hermatípicos): que son aquellos que su exoesqueleto tiene gran rigidez, firmeza, constituidos por carbonato de calcio (Coralito), y zooxantelas que permiten desarrollar el proceso fotosintético, llevando a cabo la conformación de plataformas arrecifales. Y finalizando con Corales blandos (Ahermatípicos): son aquellos que no poseen un esqueleto,

¹² **Celentéreo:** Dicho de un animal: Que tiene simetría radiada y cuyo cuerpo presenta una cavidad única gastrovascular que comunica con el exterior por un orificio que es a la vez boca. Retomado de: <https://dle.rae.es/celentéreo>

pero pueden establecer una relación simbiótica con las micro algas zooxantelas. Pero impidiéndoles ser constructores arrecifes, aunque viviendo de forma colonial.

Algunos de los ejemplos presentados en la tabla 3, donde se evidencia de forma más

Corales hermatípicos v

Hermatípicos

Tienen un exoesqueleto pétreo formado por carbonato cálcico



Figura 20. Corales hermatípicos, Experto animal, Maqueda, A. 2019.

Género *Acropora* o corales asta de ciervo:

Acropora Cervicornis
Acropora Palmata
Acropora prolifera

Género *Agaricia* o corales planos:

Agaricia undata
Agaricia fragilis
Agaricia tenuifolia

Corales cerebros, de varios géneros:

Diploria Clivosa
Colpophyllia natans
Diploria labyrinthiformis

Corales tipo hidrozoo o corales de fuego:

Millepora alcicornis
Stylaster roseus
Millepora squarrosa

Ahermatípicos

No tienen esqueleto calcáreo, aunque sí pueden establecer una relación simbiótica con zooxantelas.



Figura 21. Corales Ahermatípicos, Experto animal, Maqueda, A. 2019.

Algunas especies de gorgonias son:

Ellisella elongata
Iridigorgia sp.
Acanella sp.
 Dendrophylliidae
 Flabellidae
 Gardineriidae
 Guyniidae
 Oculinidae
 Rhizangiidae
 Stenocyathidae
 Turbinoliidae

Tabla 3. Corales Hermatípicos y Ahermatípicos, ejemplos de algunos géneros y especies. Elaboración propia, (2020)

precisa el motivo por el cual los corales hermatípicos son de vital importancia por su relación simbiótica con las zooxantelas y su capacidad de transformar el dióxido de carbono (CO₂), en carbonato de calcio (CaCO₃), y siendo afectados contundentemente por el fenómeno de blanqueamiento.

Reproducción coralina

Los corales hermatípicos o ahermatípicos poseen una reproducción sexual o asexual dependiendo el caso específico. Tomando como ejemplo los corales hermatípicos como *Acropora Palmata*, *Acropora Cervicornis*, y otras especies ramificadas que poseen esta característica que permite de forma más fácil el aumento de sus poblaciones.

Los corales se pueden reproducir por métodos asexuales y por métodos sexuales. Un tipo de reproducción asexual es la fragmentación. En ésta pedazos de coral pueden desprenderse y continuar creciendo cerca del lugar de donde se desprendieron o crecer en diferentes lugares. [...] Así se han comenzado a recuperar las poblaciones del coral cuerno de ciervo (*Acropora Cervicornis*) en Guánica, en Culebra y en Cabo Rojo. (Sotomayor, 2005).

La reproducción sexual, consisten en la formación de gametos¹³ masculinos y femeninos, los cuales solo son liberados al agua en determinadas temporadas del año, uniéndose y formando larvas llamadas plánulas¹⁴, las cuales viven en la columna de agua aproximadamente 7 días, posterior a ello se sujetan a una superficie sólida, donde empezara a conformar nuevas colonias coralinas, permitiendo así mismo formar nuevos agentes genéticos, o fortalecer su genética. Podemos observar un fragmento de este suceso en la figura 22, donde la especie *Porites astreoides*, que muestra sus gametos. (Sotomayor, 2005).

¹³ **Gameto:** Cada una de las células sexuales, masculina y femenina, que al unirse forman el huevo de las plantas y de los animales. Retomado de: <https://dle.rae.es/gameto>

¹⁴ **Plánula:** La larva plánula es propia de la mayoría de los cnidarios; algunos grupos de nemertinos producen larvas muy similares a la plánula. Es una larva ciliada, aplanada, con simetría bilateral y que nada libremente. Retomado de: <https://www.ecured.cu/Plánula>

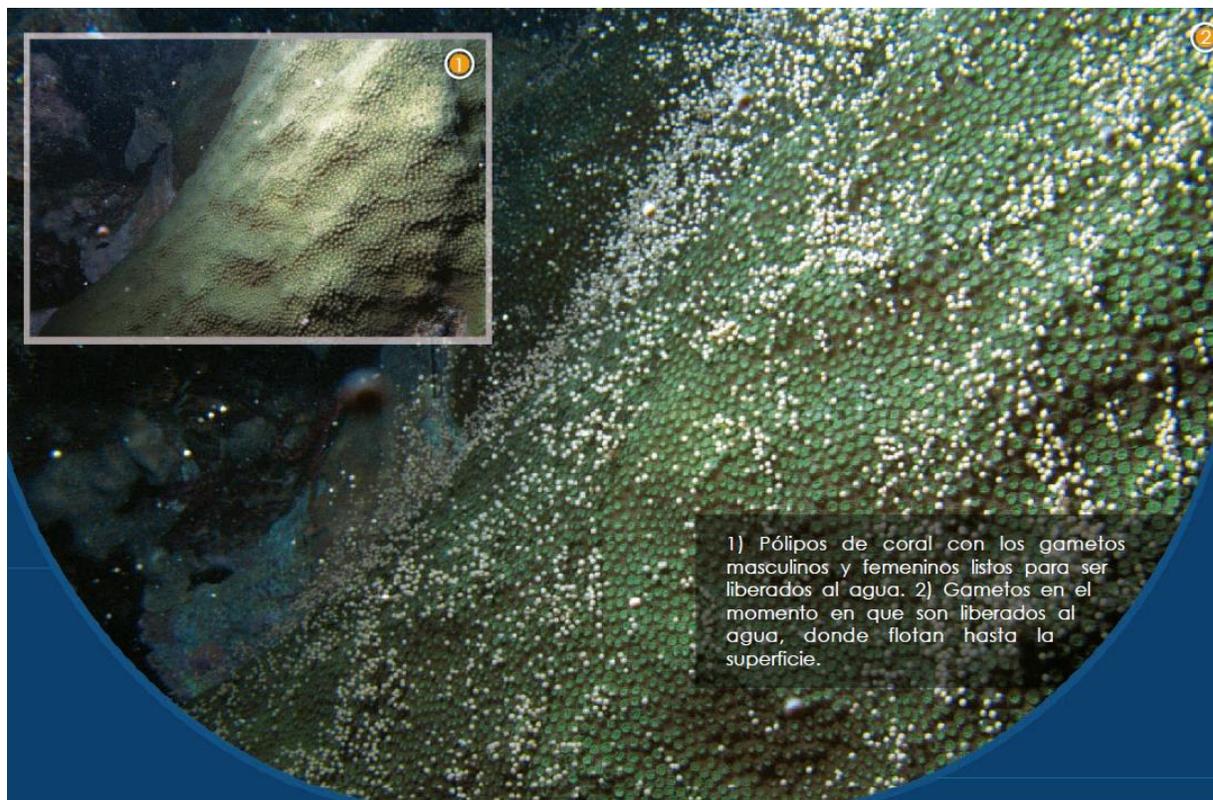


Figura 22, Reproducción coralina, (Sotomayor, 2005),

Alimentación de los corales

El alimento por el cual los corales subsisten y mantienen sus procesos de crecimiento, y reproducción, se encuentra fundamentado por dos elementos, comenzando por la relación simbiótica con las zooxantelas (micro- algas), que mediante el proceso de fotosíntesis transforman la energía solar (luz solar), en nutrientes, permitiendo extraer o filtrar el dióxido de carbono para el desarrollo de su estructura calcárea (CaCO_3). Y como alimento principal la captura de plancton u otros organismos de esta índole, que son atrapados por los pólipos en las noches cuando emergen para implementar un pequeño arpón llamado nematocisto¹⁵ que posee sustancias tóxicas que adormecen la presa. (Departamento de Recursos Naturales y

¹⁵ **Nematocisto:** Cada una de las células urticantes que sirven a los animales cnidarios para envenenar y paralizar a sus presas. la anémona de mar tiene en un extremo una boca central rodeada de tentáculos armados con nematocistos que paralizan y atrapan a los peces y pequeños animales marinos que constituyen su alimento. Retomado de: <https://www.lexico.com/es/definicion/nematocisto>

ambientales y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos, 2020).

Estructura

Definición

Según la Real Academia Española (RAE). en el diccionario de la lengua española describe el termino como: “Disposición o modo de estar relacionadas las distintas partes de un conjunto”. Donde esta interrelación de agentes permite expresar una similitud cercana a la concepción de sistema.

El concepto de Estructura adoptado por este proyecto es dado por las Estructuras disipativas, que es definido bajo la connotación de un sistema auto-organizado, que depende del flujo de materia o energía. (Montañez, J. Alain, G. 2015). Donde su desarrollo se encuentra alejado del equilibrio de fenómenos fuertemente irreversibles, con gran disipación, pudiéndose encontrar en sistemas que intercambian materia o energía con su entorno (exterior), donde un ser vivo es considerado termodinámicamente un sistema abierto, y al mismo tiempo degrada la energía y materia que absorbe con producción de calor, dejándolos en una lejanía del equilibrio termodinámico. (García, M. y Fairen, V. 1980).

García, M. y Fairen, V. 1980 afirman que “Las pequeñas perturbaciones en un sistema tienden a ser amortiguadas en el transcurso del tiempo, por ello se dice que la producción de entropía¹⁶ es un potencial termodinámico fuera del equilibrio.” Donde dichas perturbaciones sin importar cuan pequeñas sean, llevaran al sistema a una solución cercana, reteniéndola sin posibilidad de retomar su estado anterior.

Un estado es estable frente a fluctuaciones de un cierto tamaño máximo. Por debajo de este tamaño la fluctuación decrece y el sistema se reincorpora al estado original, pero si

¹⁶ **Entropía:** 1. f. Fís. Magnitud termodinámica que mide la parte de la energía no utilizable para realizar trabajo y que se expresa como el cociente entre el calor cedido por un cuerpo y su temperatura absoluta. 2. f. Fís. Medida del desorden de un sistema. Una masa de una sustancia con sus moléculas regularmente ordenadas, formando un cristal, tiene entropía mucho menor que la misma sustancia en forma de gas con sus moléculas libres y en pleno desorden. Retomado de: <https://dle.rae.es/entropía>

alguna sobrepasase este tamaño máximo (crítico) el efecto es contrario: las retroacciones positivas amplifican la fluctuación hasta que el efecto de las retroacciones negativas estabiliza el sistema en otro estado diferente al estado de partida. (García, M., Fairen, 1980).

Temperatura

Definición

Según la Real Academia Española (RAE). en el diccionario de la lengua española describe el termino como: “Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (K).”

El concepto de temperatura adaptado en este proyecto se encuentra guiado bajo la medición del promedio de la energía cinética de las moléculas de un sistema, la cual no depende de la masa del cuerpo, y donde el calor se es tenido en cuenta como el proceso en el que se transmite energía de un sistema a otro, debido a la diferencia de temperaturas entre los sistemas, buscando de esta forma un equilibrio térmico. (García, J, J. Rodríguez, R. 2013). Estos dos conceptos anteriormente presentados (Temp..., Calo...) permiten establecer un enlace estrecho con las estructuras disipativas que poseen un vínculo con la termodinámica y su ley (Cero, Primera y segunda), y los procesos que tienden a la entropía¹⁷. Siendo la conducción de calor que tiende a homogeneizar las temperaturas, y donde al tomar como ejemplo la máquina de vapor, que hacen que su funcionamiento conlleva siempre la conducción de calor y por la tanto una pérdida o disipación de energía o materia que posibilita la transformación y la atenuación de un trabajo. (Allimant, D, R. 2016).

¹⁷ **Entropía:** Magnitud termodinámica que mide la parte de la energía no utilizable para realizar trabajo y que se expresa como el cociente entre el calor cedido por un cuerpo y su temperatura absoluta. [...]. Medida del desorden de un sistema. Una masa de una sustancia con sus moléculas regularmente ordenadas, formando un cristal, tiene entropía mucho menor que la misma sustancia en forma de gas con sus moléculas libres y en pleno desorden. Retomado de: <https://dle.rae.es/entropía>

Normativas

El presente proyecto de grado se encuentra ajustado, desde determinadas normas, leyes, y/o regulaciones legales que deben tenerse en cuenta para la fundamentación, desarrollo y comprobación de las etapas del trabajo de grado en curso. Estableciendo un eje crucial con la norma ISO 14001 que es definida por de la siguiente forma “Norma que proporciona la implantación de un Sistema de Gestión Ambiental, y ayuda a organizaciones pequeñas, medianas y grandes, a controlar los impactos que producen sus actividades en el medio ambiente, reducirlos o incluso eliminarlos.” (ISOTools Excellence, 2015), Determinado los requisitos ambientales para la adquisición y desarrollo de productos o servicios, permitiendo así fortalecer la visión ambiental propuesta desde la ruta metodológica con un aspecto vital como el ciclo de vida bajo una connotación vital expuesta en dicha normativa. Dando a conocer los enlaces con las siguientes. Artículo 164 del decreto - Ley 2811 de 1974 - Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente el cual establece que:

Corresponde al estado la protección del ambiente marino, constituido por aguas, por el suelo, el subsuelo y el espacio aéreo del mar territorial y el de la zona económica y por las playas y recursos naturales renovables de la zona. (Resolución 2724, 2017, art 164).

El cual permite constituir un lazo estrecho con los ecosistemas de arrecifes de coral para la elaboración de un proyecto de diseño industrial, el cual se ve afianza por el artículo 207 de la Ley 1450 de 2011 que establece la:

Conservación de ecosistemas de arrecifes de coral. Se dará protección a los ecosistemas de arrecifes de coral, manglares, y praderas de pastos marinos de todas las zonas marinas de la jurisdicción nacional definidos por el “Atlas de Áreas Coralinas de Colombia” y el “Atlas Las Praderas de Pastos Marinos en Colombia; estructura y distribución de un ecosistema estratégico” elaborados por el instituto de investigaciones marinas y costeras- José Benito Vives de Andrés. (Resolución 2724, 2017, art. 207).

Y donde en el párrafo 1 indica que “En arrecifes de coral y manglares se prohíbe el desarrollo de actividades mineras, exploración, explotación de hidrocarburos, acuicultura, pesca industrial de arrastre y la extracción de corales para la elaboración de artesanía”. (Resolución 2724, 2017).

Metodología

El desarrollo del presente proyecto de grado se encuentra encaminado bajo la implementación de la metodología Diseño para el medio ambiente (Design for Environment), que se encuentra enfocada en la consideración de aspectos ambientales en todas las etapas de desarrollo de productos o servicios. Estableciendo como eje principal los ciclos de vida, las unidades funcionales, y sus respectivos sistemas de producto (Producto físico).

Tomando como punto de partida condiciones de Materiales (Evitar el agotamiento de los recursos naturales), Energía (Efecto invernadero, acidificación, eutrofización y contaminación), y Toxicidad (Efectos tóxicos que afectan a los seres vivos), permitiendo analizarlos y fortaleciendo el concepto de ciclo múltiple, haciendo referencia a la optimización de estos elementos y el reingreso de los insumos como posible materia prima o en procesos secundarios. Y donde métodos como la matriz MET, el FODA, QFD, Benchmarking, Brainstorming, se convierten en el pilar para el desarrollo y ejecución del proyecto, buscando la obtención de productos, sistemas, o servicios que reduzcan el impacto ambiental, como reducir la huella de carbono, y reforzando una conciencia de “diseño verde” en pro de la calidad de vida de todos los seres vivos que habitan el planeta tierra.

Buscando generar un proceso integral y apropiado, se establece un refuerzo mediante el uso de la “caja metodológica”. Recibiendo aportes de métodos como Mapas mentales, Moodboard, Prototipo en bruto, Prototipo en imagen, o tarjetas rojas y verdes pertenecientes a la metodología Design Thinking. Aplicando conceptos de operación de valoración de la necesidad, la operación, la proyección de las necesidades o requerimientos, donde el análisis

morfológico o síntesis formal de la especie coralina permitirá un desarrollo más eficiente, extraído de la metodología de Gui Bonsiepe. El fortalecimiento de la etapa creativa, el desarrollo de bocetos, dibujos constructivos para el diseño de las propuestas a construir, tomado de la metodología de Bruno Munari. Y donde al analizar el contexto cercano de los principales actores que interactúan con el sistema, posibles comprobaciones de usabilidad e implementando de manera controlada el diseño participativo desde un espectro netamente especulativo de personas totalmente ajenas al tema, siendo tomado de la metodología de Diseño centrado en el usuario. Permitiendo implementar métodos a favor de un proceso de diseño eco-eficiente.

La construcción y forma de la ruta metodológica mostrada en la figura 23, es basada en la concepción de un mapa mental, donde según su tamaño poseerá mayor relevancia para llegar al fin (el objetivo), teniendo en cuenta el principio de una metodología no-lineal, donde desde cualquier punta se puede considerar una base o punto de apoyo que fomentan la elaboración propia de una ruta e implementación de métodos estratégicos para el proceso y ejecución del proyecto.

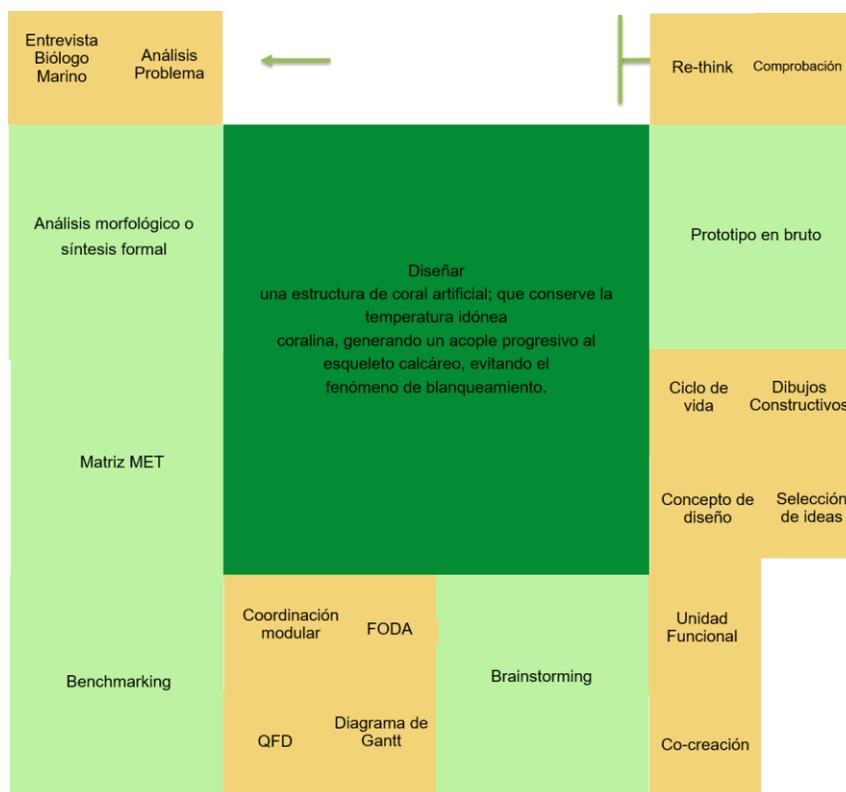


Figura 23. Ruta metodológica. (Elaboración propia, 2020).

Nota: Importancia de cada una de las herramientas expuestas en la ruta metodológica del proyecto en curso.

Herramienta 1. **Entrevista Biólogo Marino:** Este método permite obtener información más precisa relacionada al género-especie *Acropora* (*A. Palmata*, *A. Cervicornis*) y relacionado a los ecosistemas de arrecifes de coral.

Herramienta 2. **Análisis morfológico o síntesis formal:** Este método permite reconocer patrones, formas, y condiciones óptimas para el desarrollo de estructura.

Herramienta 3. **Ciclo de vida:** Este método permite hacer un análisis de aspectos ambientales, y el recorrido adecuado impidiendo impactos nocivos para el ecosistema.

Herramienta 4. **Unidad funcional:** Este método permite hacer un análisis de paquetes tecnológicos o condiciones funcionales que poseerá el diseño de la estructura.

Herramienta 5. **Concepto de diseño:** Este método permite desarrollar la esencia vital para la ejecución del diseño, fortaleciendo todas las etapas de creación.

Herramienta 6. **Dibujos Constructivos:** Este método permite configurar imágenes ilustradas de las etapas de creación y elaboración del modelo tridimensional formal.

Herramienta 7. **Coordinación modular:** Este método permite desarrollar enlaces modulares, de condiciones formales, funcionales, de vital importancia ambiental y del desarrollo del proyecto.

Herramienta 8. **Co-creación:** Este método permite estipular un cumulo de ideas, propuestas desde puntos de vista sumamente separados del contexto, temática e identidad relacionada al proyecto.

Herramienta 9. **Brainstorming:** Este método permite obtener nuevas ideas, e inesperadas que tengan en cuenta todos los aspectos ambientales que fortalecen la construcción de diseño.

Herramienta 10. **Foda:** Este método permite identificar, fortalezas, oportunidades, debilidades, y amenazas dando paso al desarrollo de estrategias para mejorar dichos aspectos.

Herramienta 11. **Qfd:** Este método permite tener en consideración el despliegue de la función, y la calidad de la misma, buscando la adaptación al contexto y la necesidad de la problemática y los seres que interactúan con ella.

Herramienta 12. **Prototipo en bruto:** Este método permite obtener comprobaciones de baja, o media calidad para identificar nociones como forma, función o estética, buscando dicho desarrollo de forma rápida y de fácil acceso.

Herramienta 13. **Matriz Met:** Este método permite analizar nociones de materiales (agotamiento de recursos naturales), de energía (Efecto invernadero, acidificación, etc.), y Toxicidad (Efectos tóxicos que afectan a los seres vivos).

Herramienta 14. **Diagrama de Gantt:** Este método permite exponer el tiempo de dedicación previsto para tareas o actividades y las relaciones existentes entre las actividades.

Herramienta 15. **Benchmarking:** Este método permite hacer un análisis y marcar un precedente sobre elementos, funcionales, formales y otros aspectos brindándoles una puntuación para obtener un referente de inspiración para el desarrollo del proyecto.

Herramienta 16. **Selección de ideas:** Este método permite identificar, puntuar y escoger ideas, propuestas más factibles para su posterior elaboración, luego de la etapa creativa.

Herramienta 17. **Re-think:** Este método permite establecer una iteración en la creación, selección, desarrollo, o producción de la idea, re pensando aspectos anteriormente no contemplados o analizados a profundidad.

Cronograma o Diagrama de Gantt

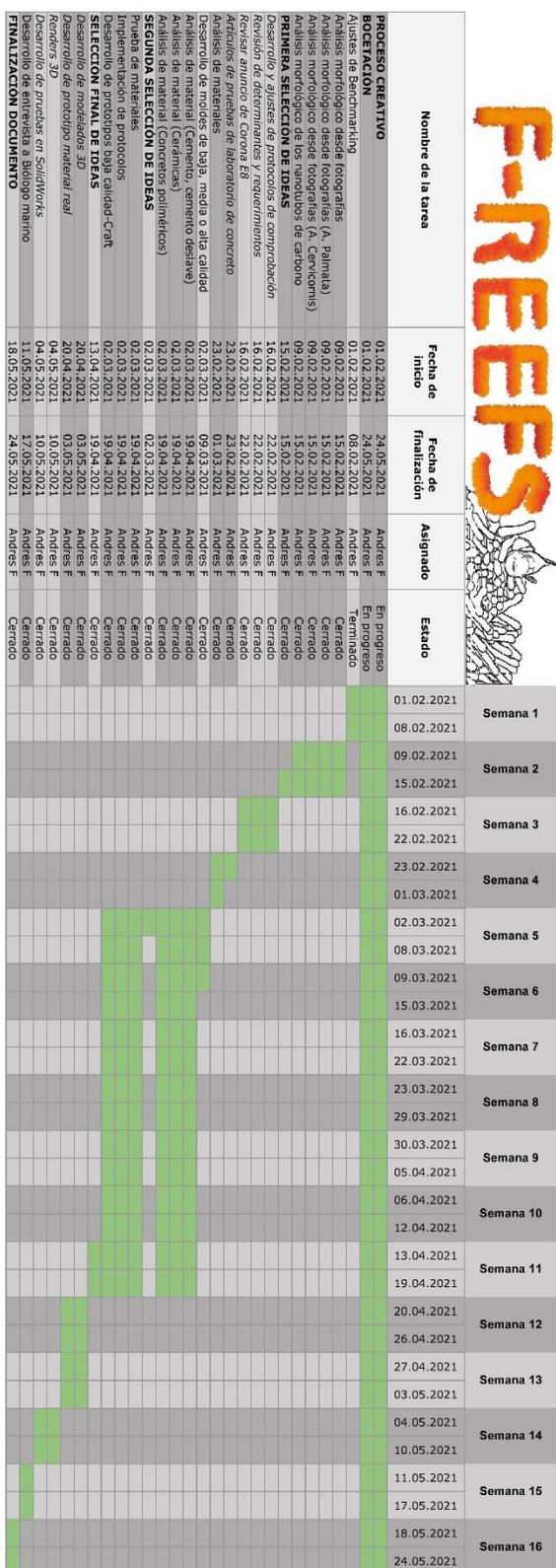


Figura 24. Cronograma o diagrama de Gantt. Elaboración propia. (2020)

Nota: Para una mejor visión del cronograma o diagrama de Gantt, remítase al ANEXO 1 (Cronograma- Diagrama de Gantt.pdf)

Desarrollo de la propuesta.

Determinantes y requerimientos

	Requerimientos	Determinantes			
	Uso.	Función.	Estructural.	Foma.	Ciclo Vida.
	Debe permitir la recuperación del paquete tecnológico del módulo central.	Debe implementar el concepto de estructuras disipativas.	La estructura debe estar compuesta mínimo por 4 módulos.	La estructura puede tener una forma orgánica- fluida asociada a las corrientes marinas.	El módulo central debe poseer una vida útil de al menos 10 años. (Sin perturbación extraordinaria del ambiente.)
	La composición formal NO debe generar alteración al comportamiento de los seres que interactúan allí.	Debe soportar el porcentaje de salinidad del mar Caribe de 3,6%.	Solo el módulo central debe poseer el paquete tecnológico.	La estructura debe tener una forma acorde al contexto que no altere el comportamiento marino.	Los módulos de conformación de estructura deben tener una vida útil de al menos 50 años.
	Los módulos estructurales deben permitir la construcción de más colonias coralinas.	Debe soportar un nivel de pH del mar Caribe de al menos 8.1.	Los módulos deben ser ubicados en el contexto de forma horizontal. (Circunferencia)	La estructura debe implementar el concepto de simetría pentarradial	El paquete tecnológico implementado debe poseer al menos un 50% de posibilidad de reciclarse.
	Los módulos estructurales deben ser manipulados por máximo 2 submarinistas.	La composición estructural debe tener un peso neto máximo de 230kg	Los módulos estructurales deben ser producidos mediante moldes, formales e impresión 3D.	La construcción estructural puede tener una relación de espiral.	La elaboración de los módulos debe ser 100% pensador en el buen aprovechamiento de la materia prima.
	Los módulos estructurales no requieren mantenimiento luego de retirar el módulo central.	Debe soportar al menos 6 atmosferas de presión.	La estructura debe ser almacenada en una temperatura aproximada de 29° Celsius.	La estructura debe poseer principios del concepto de biomimesis.	La materia prima a implementar debe fomentar la construcción de comunidades coralinas.

Tabla 4. *Determinantes y requerimientos.* Elaboración propia (2020).

Nota: Las determinantes anteriormente presentadas hacen parte de un listado elaborado para cumplir con el fin del proyecto en curso, pasando por Uso (como será usado, dimensiones, etc.), Función (La finalidad, la función que permitirá obtener el resultado esperado, condiciones ambientales a soportar, etc.). etc.

Para continuar leyendo el listado por favor remítase al **ANEXO 2 (Determinantes y requerimientos.pdf)**

Análisis de referentes (Benchmarking)

El proceso de diseño fue forjado con la concepción tanto del objetivo general y específicos, se encuentran condicionados bajo los criterios del diseñador, donde su propia construcción intelectual le permite recopilar, transformar y apropiar información, obtenida en primera instancia por determinantes y requerimientos anteriormente mostrados, dando un primer paso frente a un análisis de referentes y/o inspiraciones, seleccionados a minucia, teniendo en cuenta la importancia a eventuales decisiones trascendentales del proyecto per-se cómo pueden ser observados en la figura 25, encontrando referentes de alto impacto en la industria de los arrecifes artificiales como **Reefball** un arrecife artificial elaborado con el cemento como materia prima, y así mismo se puede encontrar otros referentes que benefician

Benchmarking														
Imagen	Descripción	Forma	Materiales	Función	Modular	Mantenimiento	Almacenamiento	Transporte	Estética	Ciclo de vida	Energía	Proceso Productivos	Conclusiones	Puntuación total.
	Reefball es un arrecife artificial que se fabrica en hormigón y se utiliza para restaurar arrecifes de coral dañados. Está diseñado para proporcionar un hábitat para los corales y otros organismos marinos.	Redes, con perforaciones cilíndricas	Cemento blanco	Fomentar la reproducción de corales	Individualizado, en unidades	No requiere	Se almacena y se transporta	Se transporta y se instala fácilmente	Simple y estética atractiva y duradera	Aprobado en 10 años	Requiere poca energía de bombeo y mantenimiento	Se fabrica en moldes sencillos y se puede instalar en cualquier lugar	Es un producto de bajo costo que puede ser utilizado en cualquier lugar.	43
	Este tipo de arrecife artificial está diseñado para proporcionar un hábitat para los corales y otros organismos marinos. Está fabricado con materiales resistentes y duraderos.	Forma vertical, columnas cilíndricas	Cemento gris	Fomentar la reproducción de corales	No modular	No requiere	Se almacena y se transporta	Se transporta y se instala fácilmente	Simple y estética atractiva y duradera	Requiere poca energía de bombeo y mantenimiento	Requiere poca energía de bombeo y mantenimiento	Se fabrica en moldes sencillos y se puede instalar en cualquier lugar	Es un producto de bajo costo que puede ser utilizado en cualquier lugar.	33
	Este tipo de arrecife artificial está diseñado para proporcionar un hábitat para los corales y otros organismos marinos. Está fabricado con materiales resistentes y duraderos.	Redes cilíndricas, en zigzag	Hormigón armado	Fomentar la reproducción de corales	De forma cilíndrica, en unidades	No requiere	Se almacena y se transporta	Se transporta y se instala fácilmente	Simple y estética atractiva y duradera	Aprobado en 10 años	Requiere poca energía de bombeo y mantenimiento	Se fabrica en moldes sencillos y se puede instalar en cualquier lugar	Es un producto de bajo costo que puede ser utilizado en cualquier lugar.	49
	Este tipo de arrecife artificial está diseñado para proporcionar un hábitat para los corales y otros organismos marinos. Está fabricado con materiales resistentes y duraderos.	Triángulos, en unidades	Hormigón	Proporcionar estructura	De forma cilíndrica, en unidades	No requiere	Se almacena y se transporta	Se transporta y se instala fácilmente	Simple y estética atractiva y duradera	Aprobado en 10 años	Requiere poca energía de bombeo y mantenimiento	Se fabrica en moldes sencillos y se puede instalar en cualquier lugar	Es un producto de bajo costo que puede ser utilizado en cualquier lugar.	31
	Este tipo de arrecife artificial está diseñado para proporcionar un hábitat para los corales y otros organismos marinos. Está fabricado con materiales resistentes y duraderos.	Triángulos, en unidades	Hormigón	Proporcionar estructura	De forma cilíndrica, en unidades	No requiere	Se almacena y se transporta	Se transporta y se instala fácilmente	Simple y estética atractiva y duradera	Aprobado en 10 años	Requiere poca energía de bombeo y mantenimiento	Se fabrica en moldes sencillos y se puede instalar en cualquier lugar	Es un producto de bajo costo que puede ser utilizado en cualquier lugar.	47
	Este tipo de arrecife artificial está diseñado para proporcionar un hábitat para los corales y otros organismos marinos. Está fabricado con materiales resistentes y duraderos.	Triángulos, en unidades	Hormigón	Proporcionar estructura	De forma cilíndrica, en unidades	No requiere	Se almacena y se transporta	Se transporta y se instala fácilmente	Simple y estética atractiva y duradera	Aprobado en 10 años	Requiere poca energía de bombeo y mantenimiento	Se fabrica en moldes sencillos y se puede instalar en cualquier lugar	Es un producto de bajo costo que puede ser utilizado en cualquier lugar.	43
	Este tipo de arrecife artificial está diseñado para proporcionar un hábitat para los corales y otros organismos marinos. Está fabricado con materiales resistentes y duraderos.	Triángulos, en unidades	Hormigón	Proporcionar estructura	De forma cilíndrica, en unidades	No requiere	Se almacena y se transporta	Se transporta y se instala fácilmente	Simple y estética atractiva y duradera	Aprobado en 10 años	Requiere poca energía de bombeo y mantenimiento	Se fabrica en moldes sencillos y se puede instalar en cualquier lugar	Es un producto de bajo costo que puede ser utilizado en cualquier lugar.	49
	Este tipo de arrecife artificial está diseñado para proporcionar un hábitat para los corales y otros organismos marinos. Está fabricado con materiales resistentes y duraderos.	Triángulos, en unidades	Hormigón	Proporcionar estructura	De forma cilíndrica, en unidades	No requiere	Se almacena y se transporta	Se transporta y se instala fácilmente	Simple y estética atractiva y duradera	Aprobado en 10 años	Requiere poca energía de bombeo y mantenimiento	Se fabrica en moldes sencillos y se puede instalar en cualquier lugar	Es un producto de bajo costo que puede ser utilizado en cualquier lugar.	37
	Este tipo de arrecife artificial está diseñado para proporcionar un hábitat para los corales y otros organismos marinos. Está fabricado con materiales resistentes y duraderos.	Triángulos, en unidades	Hormigón	Proporcionar estructura	De forma cilíndrica, en unidades	No requiere	Se almacena y se transporta	Se transporta y se instala fácilmente	Simple y estética atractiva y duradera	Aprobado en 10 años	Requiere poca energía de bombeo y mantenimiento	Se fabrica en moldes sencillos y se puede instalar en cualquier lugar	Es un producto de bajo costo que puede ser utilizado en cualquier lugar.	33
	Este tipo de arrecife artificial está diseñado para proporcionar un hábitat para los corales y otros organismos marinos. Está fabricado con materiales resistentes y duraderos.	Triángulos, en unidades	Hormigón	Proporcionar estructura	De forma cilíndrica, en unidades	No requiere	Se almacena y se transporta	Se transporta y se instala fácilmente	Simple y estética atractiva y duradera	Aprobado en 10 años	Requiere poca energía de bombeo y mantenimiento	Se fabrica en moldes sencillos y se puede instalar en cualquier lugar	Es un producto de bajo costo que puede ser utilizado en cualquier lugar.	39

Figura 25. Análisis de Referentes o Benchmarking Elaboración propia. (2021)

Nota: Para obtener una visualización completa de la información otorgada por el análisis de referentes y los criterios desde los que fueron ponderados cada uno de ellos, las conclusiones, decisiones e interiorización de la información aquí presentada, remítase al **ANEXO 3 (Análisis de referentes o Benchmarking.pdf)**

según su ponderación y postura crítica del evaluador para obtener resultados objetivos de alta trascendencia para el continuo proceso de decisiones argumentadas y bajo estrictos criterios de responsabilidad, donde el contexto marítimo (ecosistemas de arrecifes de coral) son en primera instancia los beneficiados donde no se pretende alterar, corromper, condicionar nuevos comportamientos de las especies marinas que allí interactúan y posteriormente encontramos beneficiarios secundarios como los seres humanos en términos sociales, económicos, culturales, etc.

Dando paso así a la respectiva construcción de un proceso creativo de continua iteración, de respectiva toma de decisiones y de condiciones de proyección de ideas plasmados en diferentes métodos de presentación de un diseño, acorde al contexto al se encuentra dirigido, bajo estrictas condiciones, para posible funcionamiento o rechazo de una composición formal para reconstrucción de ecosistemas de arrecife de coral.

Proceso creativo

Análisis morfológico

La proyección de un proceso de transformación de información en diseño, da comienzo mediante un análisis de formal de las especies directamente relacionadas en el planteamiento del presente diseño, lo cual se atribuye a las interacciones de las especies marinas, a su respectiva construcción estructural, a una importante base de tridimensionalidad, los cuales entregan beneficios en la formación de ecosistemas de arrecifes de coral. Siendo llevado este análisis al género *Acropora*, especialmente a la especie *Acropora Palmata* y *Acropora Cervicornis*, donde debido a su proliferación, posición en el arrecife y profundidad (2 – 20 metros de profundidad), obteniendo vital información para el diseño y entendimiento de la composición formal como puede observarse en la figura 26, 27. Siendo basas por 8 fotografías

 PROCESO CREATIVO. (ANÁLISIS MORFOLÓGICO)



Figura 26. Recopilación de algunos análisis morfológicos de los corales *A. Palmata*, *A. Cervicornis*. Elaboración propia. (2021)

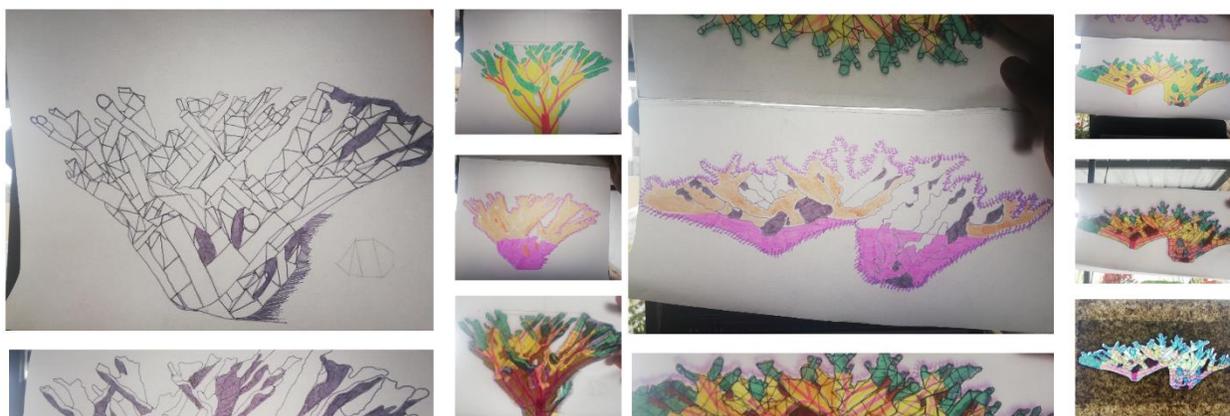


Figura 27. Recopilación de algunos análisis morfológicos de los corales A. Palmata, A. Cervicornis. Elaboración propia. (2021)

Nota: Para visualizar el proceso de análisis morfológico, de forma más concreta, remítase al **ANEXO 4 (Análisis Morfológico de las especies de coral A. Palmata, A. Cervicornis.pdf)**

analizadas, tomando como punto de partida la asociación con su nombre coloquial (Cuerno de alce, cureno de ciervo), obteniendo patrones formales, determinando nociones de diseño, eventuales colores a implementar, todo ello basado desde aspectos de diseño desde: Geometría, Figura fondo, Ejes, Simetría, Repetición, Transformación, Punto, Pauto, Movimiento, y Jerarquía.

En pocas palabras, Las repeticiones analizadas se encuentran en la sección final de las ramificaciones de las especies. Los espacios de transformación establecidos son categorizados desde una percepción casi del mismo espectro. Los ejes establecidos no poseen una orientación vertical u horizontal definidas, por el contrario, son curvos basados desde la simetría pentarradial, principalmente encontrado en A. Palmata.

A lo cual también pudo encontrarse que esta especie de coral, posee una construcción tridimensional basada en la relación de simetría pentarradial. Se encuentra principalmente en una disposición en el eje horizontal, y donde las ramificaciones otorgan una pauta formal importante bajo una simetría presenta con puntas redondeadas. Estableciendo una vital importancia a la reproducción asexual o por fragmentación la cual poseen todas las especies de coral, pero debido a su fragilidad y condición ramificada, es más susceptible a dichos sucesos de forma natural o antrópica.

Concepto de diseño (Línea mimética)

La construcción y obtención del concepto que permite dar plena configuración formal considerándose como la esencia per-se del proyecto, y la implementación eventual de un paquete tecnológico, dando un lugar de gran relevancia mediado por el análisis morfológico anteriormente evidenciado, donde las composiciones a base de líneas curvas, y patrones completamente visibles a partir de ovoides, en ambas especies coralinas, interacción con la luz, animales o inclusive las olas o corrientes marinas.

La interpretación del concepto de biomímesis, donde el entendimiento de los patrones de la naturaleza, permite llegar a transformaciones desde la misma epistemología, estableciendo posibles transformaciones en la sociedad en dirección de la sostenibilidad, donde el diseño continuamente toma como punto de partida la naturaleza como inspiración para proyectar, construir formal, tecnológicamente, y funcional entre otras nociones posibles de adaptación a entornos artificiales. Y donde las especies se convierten en mentores, en modelos de creación, aplicación o reestructuración de pensamientos eco-sistémicos preexistentes, usando los principios de la vida como insumo, técnicas, métodos o metodologías, para el

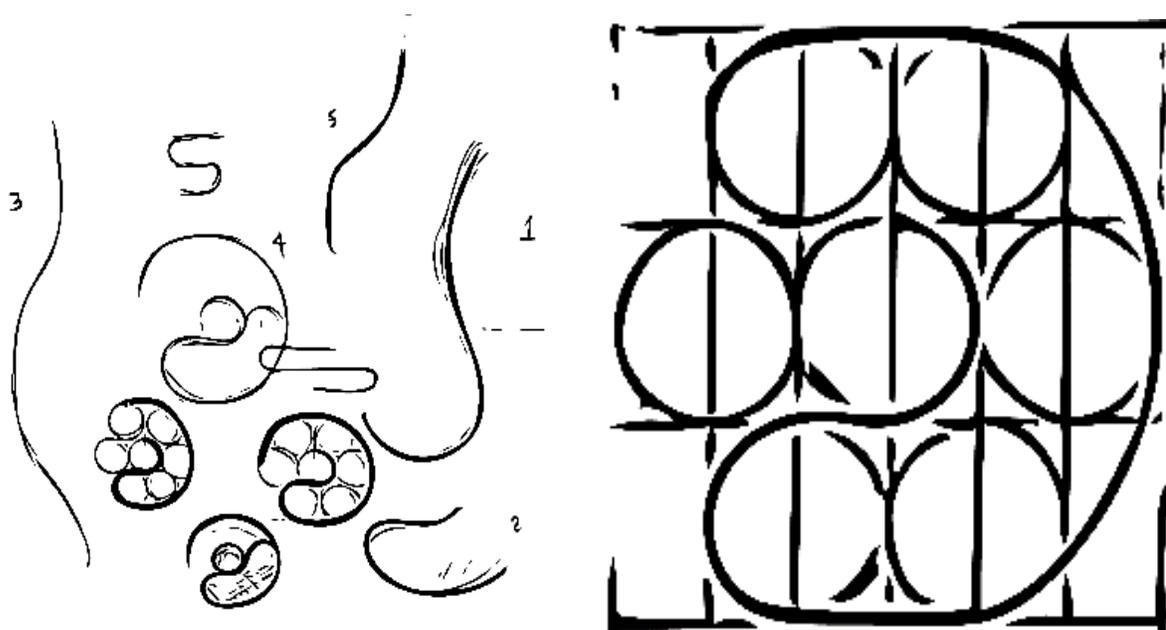


Figura 28. Construcción del concepto basado en la extracción de patrones del análisis morfológico, de formas de los corales A. Palmata, A. Cervicornis. Elaboración propia. (2021).

aprendizaje, síntesis críticas que otorgan propuestas de valor en términos culturales, morales y éticos en pro de una vida moldeada a las necesidades cambiantes condicionadas por el cambio climático y a las respectivas afectaciones a la humanidad. Sánchez, D. (2019).

Estos patrones de fragmentos lineales concernientes a la construcción volumétrica de estas especies de coral en su contexto natural, basándose en la línea como agente constructor y representativo en aspectos tanto bi y tridimensionales permitiendo generar composiciones correlacionadas a los patrones formales obtenidos en los análisis morfológicos como puede observarse en la figura 28, construyendo con este pilar una narrativa que fortaleza la intención de lo que representa el concepto en el presente diseño.

**“No es solo un rayo, es un viso, es una onda desde la distancia,
Un lacónico recorrido, que vive en constante trémula,
Resulta inverosímil que la humanidad no la perciba a simple vista,
Parece estar viva en todo instante, desde todos los puntos cardinales,
Un movimiento incesante y una cambiante secuencia de coordenadas,
Una capacidad insuperable de maleabilidad, con un comienzo y un final,
Donde la continuidad no es medible, como una corriente a la tierra,
Y un tiempo indefinidamente definido, como la ruptura de las olas cuadradas.”**

Esta narrativa se encuentra estrechamente enlazada a composiciones sonoras, permitiendo el desarrollo de espectros de audio (Frecuencia ondulatoria vasa en superposiciones de diferentes ondas). Convirtiéndose en parte esencial de una inmersión que trae consigo una atención focalizada a la fluidez de nuevas composiciones formales o su propia Gestalt.

Por ejemplo, el sistema de percepción del hombre frente a los elementos que lo rodean o que toman parte en su inspiración evolutiva, donde la colectividad no necesariamente lineal otorgan soluciones constantes necesidades o problemáticas a las cuales la civilización actual esta aquejada. Rivera et al., (2014).

Esto permitió llevar los patrones de las olas tomadas como pautas de diseño de un proceso evolutivo, y principalmente de procesos de colectividad, de unión de subsistemas que forjan sinergia en su mayor estado de eficiencia, culminando en un proceso de organismos complejos. Rivera et al., (2014). tal cual puede observarse en la figura 29, 30 y 31 donde los estudios de oceanografía muestran los patrones de las olas, y análisis elaborados desde la composición lineal por capas evidenciando la difusión de la luz, la interacción con las corrientes entre otros aspectos siendo aporte para eventuales decisiones de diseño.

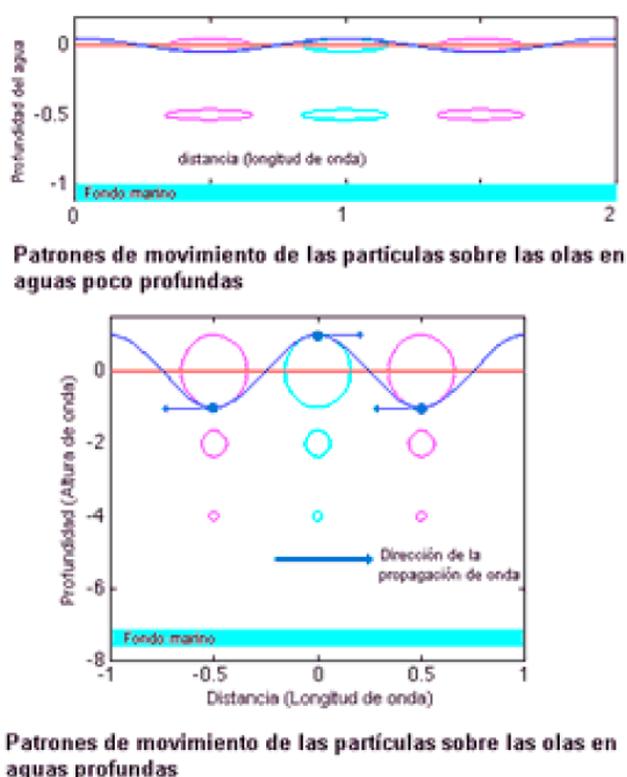


Figura 29. Patrones de movimiento de las partículas sobre las olas en aguas profundas. INOCAR (Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador. (2001).

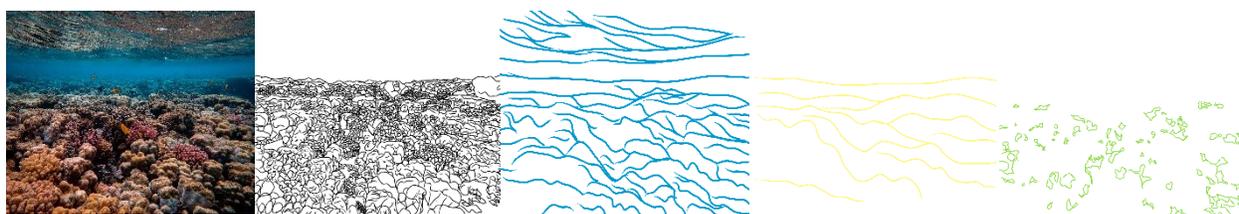


Figura 30. Análisis por capas de las interacciones de diferentes aspectos (Corrientes marinas, difusión de luz, espacios de interacción animal de resguardo) con base en una fotografía de un arrecife coralino. Elaboración propia. (2021).

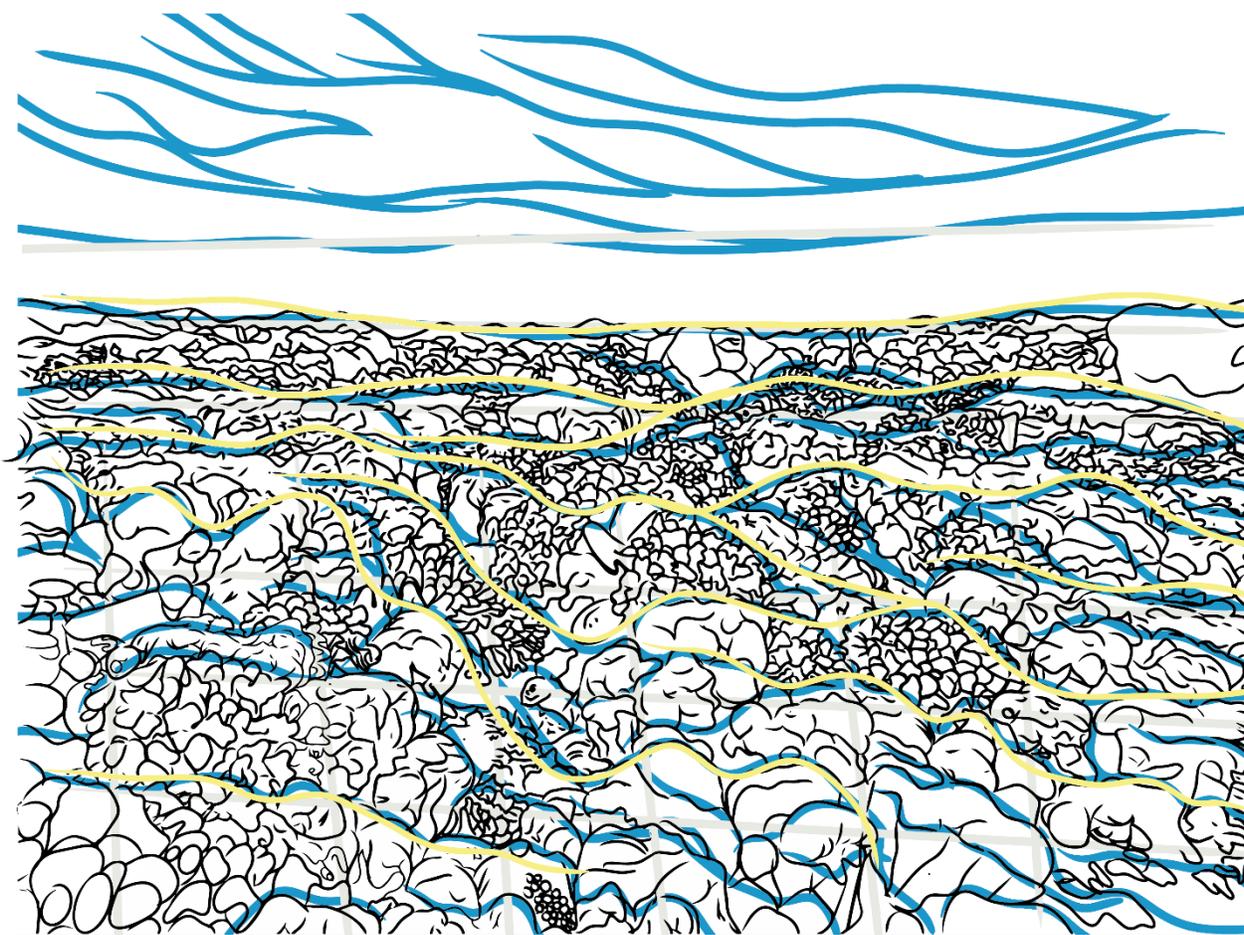


Figura 31. Unión de capas de análisis de la interacción coralina con diferentes actores del ecosistema. Elaboración propia. (2021).

Bocetos

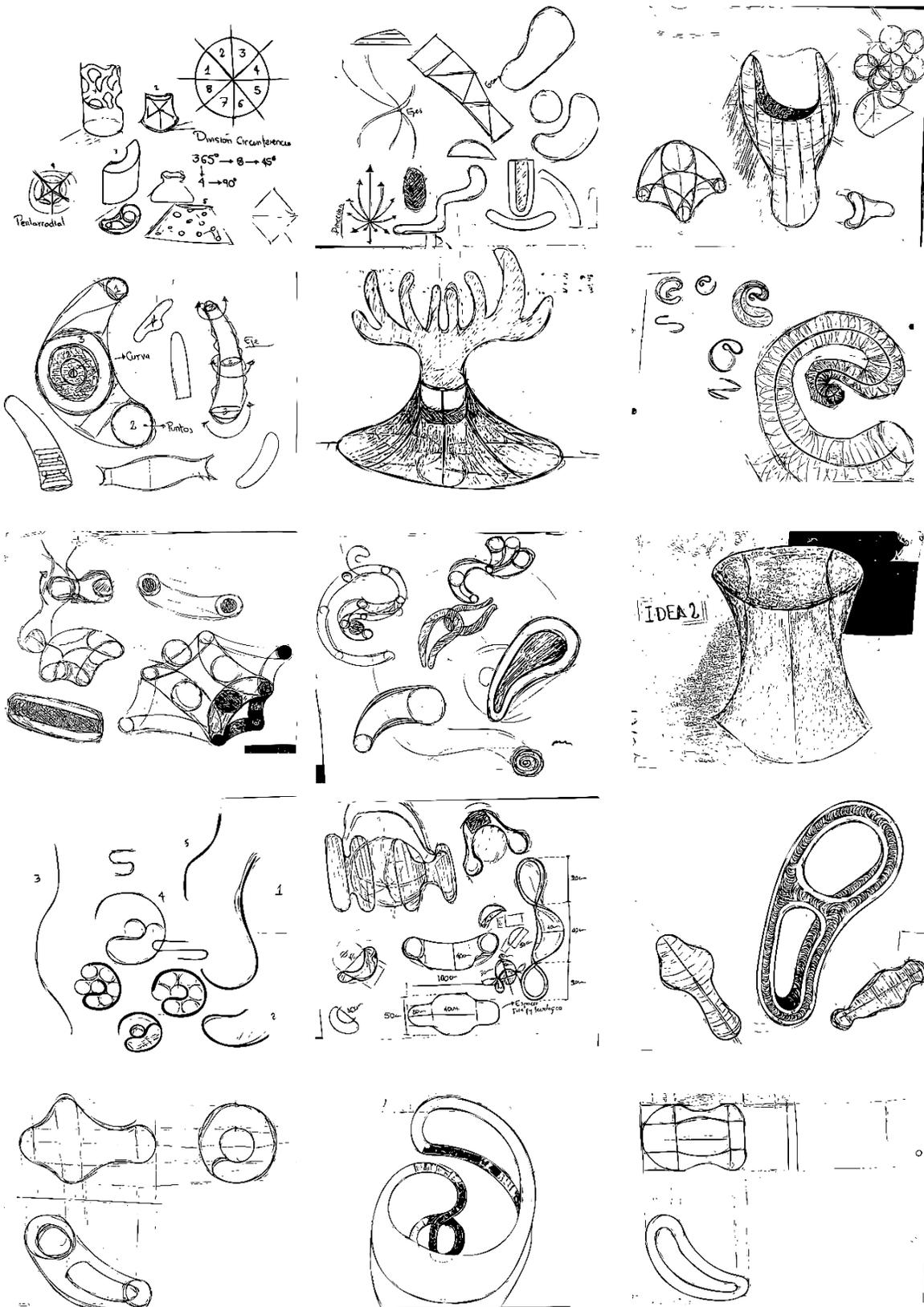


Figura 32. Recopilación de prototipos 2D, en el proceso de creación parte 1. Elaboración propia. (2021)

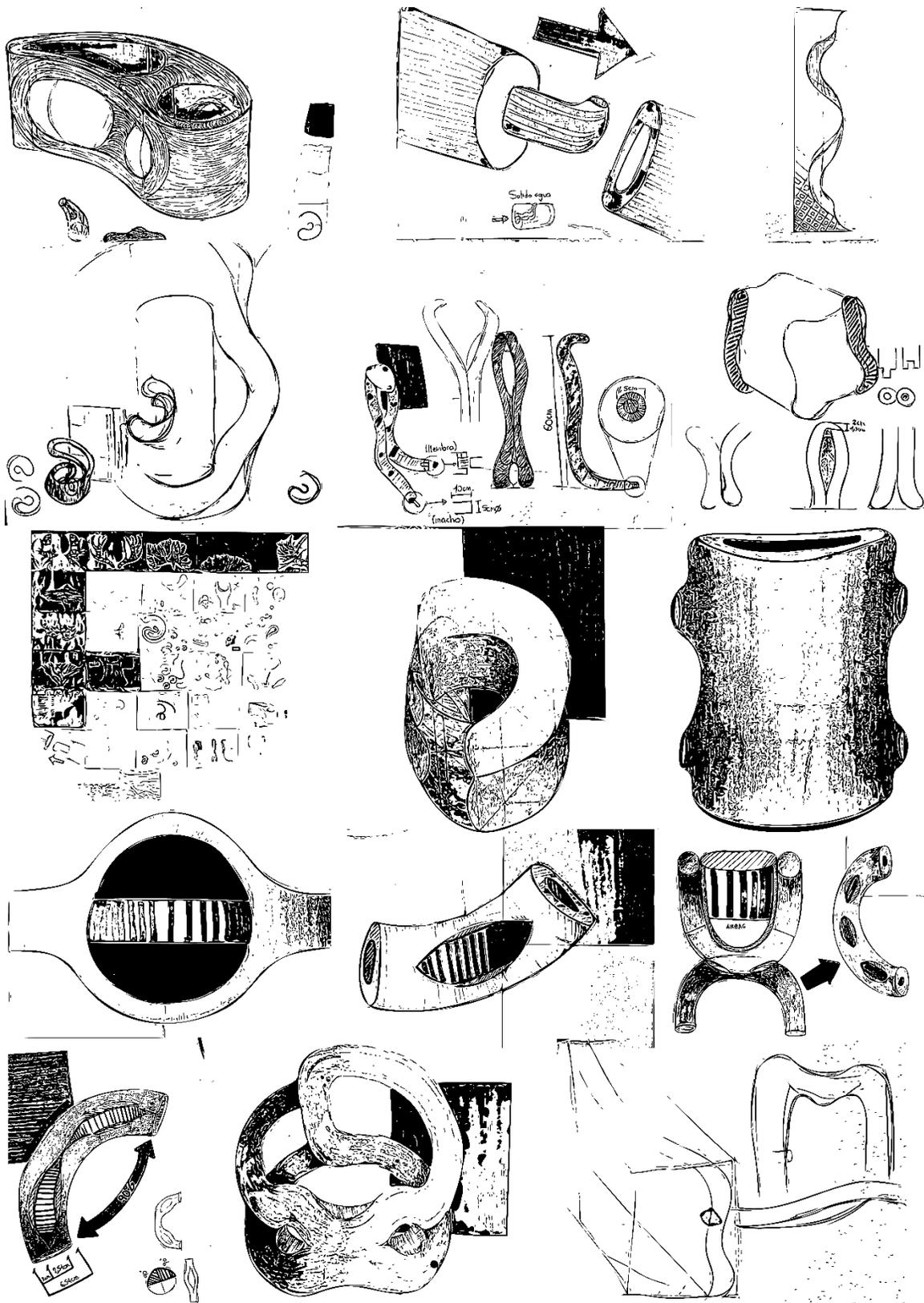


Figura 33. Recopilación de prototipos 2D, en el proceso de creación parte 2. Elaboración propia. (2021)

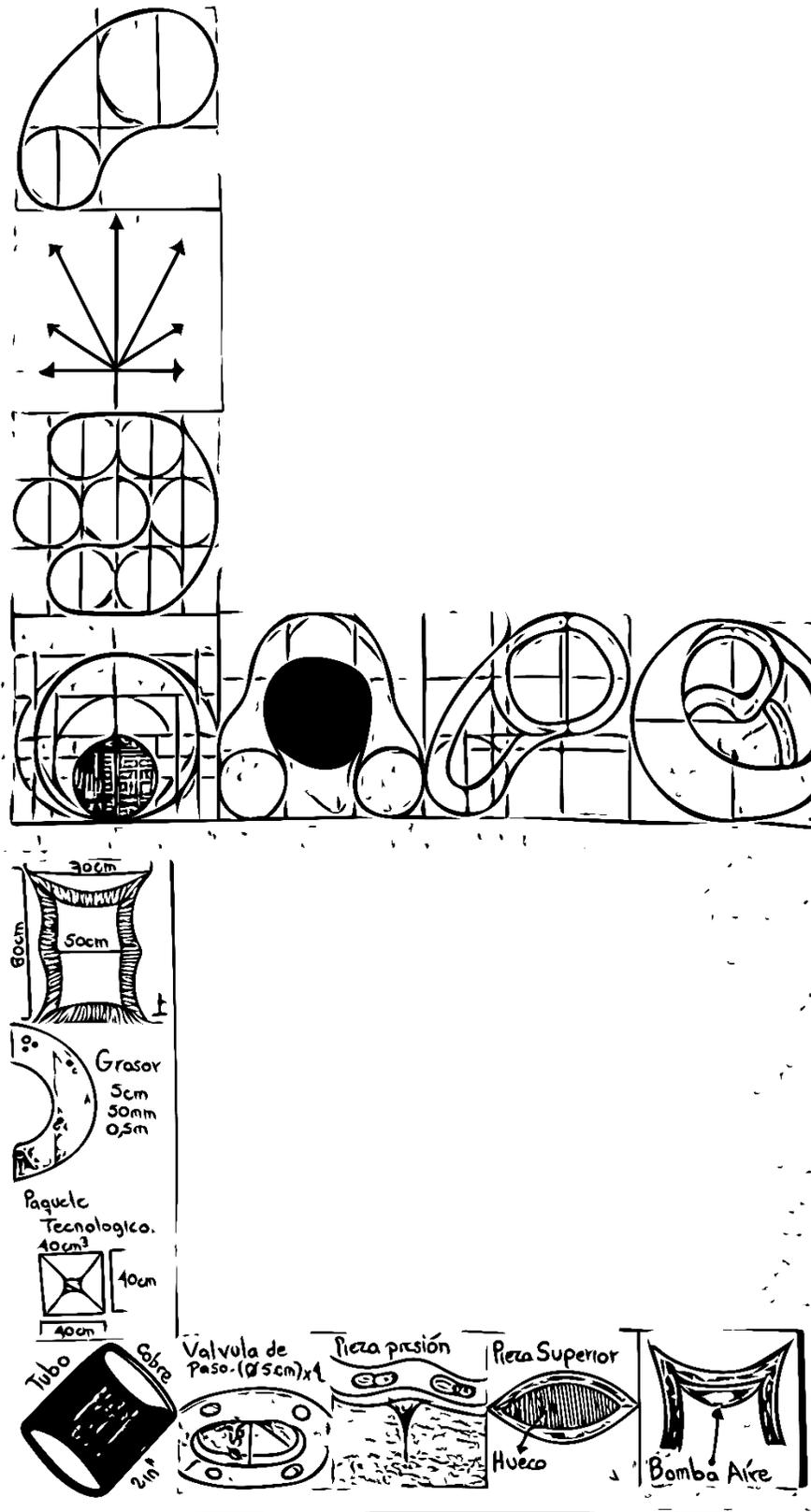


Figura 34. Recopilación de prototipos 2D, en el proceso de creación parte 3. Elaboración propia. (2021)

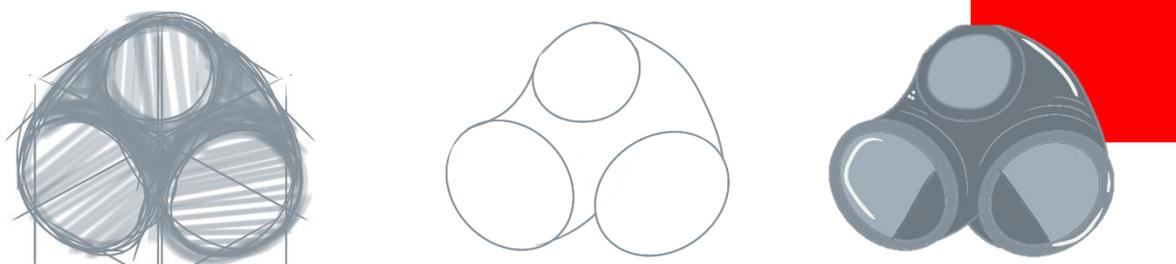


Figura 35. Recopilación de prototipos 2D, en el proceso de creación parte 4. Elaboración propia. (2021)

Los hallazgos y decisiones tomadas con base en las proyecciones bidimensionales correlacionadas a los análisis morfológicos, inspiraciones, benchmarking, referentes, y apreciaciones dadas por el biólogo marino desde el conocimiento de las llamadas “guarderías” donde se implementan formas como cuerdas, laminas, o superposiciones.

Tomando como punto de partida los espectros de direcciones obtenidos de análisis, del cual se obtiene el concepto de simetría pentarradial (simetría espejo), procediendo a reconocer los patrones existentes en términos formales, a los cuales se les denominó ovoides asimétricos; llegando a punto donde la construcción tomaba contexto desde el concepto línea mimética, permitiendo establecer composiciones orgánicas y fluidas. Donde las primeras propuestas de diseño fueron tomando rumbo bajo criterios específicos dados por las determinantes y requerimientos.

En otras palabras, las proyecciones poseen una relación estrecha con las especies coralinas, llevando características de interacción animal como por ejemplo peces damisela, pez ronco desde posturas positivas, y buscando reducir relaciones negativas como ocurre con el gusano de fuego, inclusive un tipo de pez damisela usa las bases de estos corales A. Palmata, A. Cervicornis, para establecer cultivos de algas las cuales son fuente principal de alimento. (P. Montoya, comunicación personal, 22 de abril del 2021).

Esta información identificada, interpretada e interiorizada comenzó a dar paso a primeros prototipos físicos de comprobación formal de baja calidad, donde se podían condicionar las relaciones de artificialidad que poseen las formas, y las respectivas tomas de

decisiones como pueden observarse en la figura 34 la cual puede particularidades de las decisiones tomadas para llegar a un modelo acorde a la estructura artificial.

Prototipos de comprobación formal

El desarrollo de estos prototipos de comprobación formal de baja calidad, permitieron tener nociones importantes durante el proceso de diseño, de los cuales se pudo obtener información relevante con la finalidad de optimizar, modificar o tener en consideración durante el proceso de diseño como puede observarse en la figura 36, este prototipo otorga en primera instancia características de composición, principalmente de la tridimensionalidad y su correlación con los seres vivos que habitan en esta habitat, y donde debido de su alta complejidad de factibilidad (producción), ha sido descartada por que afecta directamente al objetivo que implanta la metodología y a las condiciones del ciclo de vida. Aunque beneficia el diseño por la construcción curva u ovoide, desde la relación tangible y percepción visual.

El siguiente prototipo de la figura 37, tiene la finalidad especialmente de reafirmar las construcciones en términos formales, donde al extraer la idea del concepto fortalece las propiedades y propuestas encaminadas a una proyección artificial de un arrecife de coral especialmente de estas especies de *Acropora*. Buscando mantener los materiales, y paquete



Figura 36. Construcción de prototipo de comprobación formal de baja calidad. Elaboración propia. (2021)



Figura 37. Construcción de prototipo de comprobación formal de baja calidad. Elaboración propia. (2021)

tecnológico al alcance de los buzos encargados de la implementación en el contexto real, estos prototipos de comprobación fueron desarrollados bajo los siguientes criterios:

Criterios de comprobación formal.	
Composición orgánica.	0
Relación con el concepto Línea.	0
Disposición axial de direcciones.	0
Capacidad de interconexión de módulos	0
Espacio para contener el paquete tecnológico	0
Capacidad de adaptarse a las corrientes marinas	0
Perforaciones que apoye a la reproducción asexual.	0
Capacidad Modular.	0
Capacidad de relación con el coral.	0
Relación con Diseño Verde.	0
No alterar el comportamiento de las especies.	0
Criterios de comprobación estética.	
Textura rugosa, con micro-perforaciones	0
Superficie hidrofóbica, donde estará ubicado el p.t	0
Impacto y relación de color	0
Percepción amigable para las especies.	0
Relación con la biomimesis.	0
Relación con la biónica.	0
Criterios de comprobación funcional.	
Relación con estructuras disipativas.	0
Capacidad de adaptarse al tronco del coral.	0
Capacidad de soportar 6 atm de presión.	0
Capacidad de soportar 3,0‰ de salinidad.	0
Relación con el peso y el material (-5kg/+2kg)	0
Capacidad de adaptarse al fondo marino.	0
Mantenga circulación de agua y especies marinas.	0
Criterios de comprobación material.	
Capacidad de maleabilidad.	0
Capacidad de flexibilidad.	0
Capacidad de resistencia al agua.	0
Capacidad de desarrollo mediante moldes.	0
Relación dimensiones, ocupación espacial.	0
Capacidad de integración de nuevos colores.	0
Consumo de energía para la fabricación.	0
Posibilidad de uso.	0
Accesibilidad.	0
Viabilidad.	0
Posibilidad de transporte.	0

Tabla 5. Criterios de comprobación formal. Elaboración propia. (2021)

Nota: Para visualizar de forma más legible el contenido remítase al ANEXO 5 (Criterios de Comprobación Formal, Estética, funcional, materiales.pdf)

Acercamiento a modelados 3D

Este primer acercamiento modelado en programa de SolidWorks basado en todas las decisiones anteriormente evidenciadas, como las formas y patrones repetitivos en los análisis anteriores, esta simulación finita entrego información de vital importancia para posteriores decisiones de proyección tridimensional, nociones en relación a ocupación espacial, volumen e inclusive en peso del módulo de vidrio, y el módulo de concreto, lo cual llego a un peso de 30 kilogramos (vidrio), 272 kilogramos (cemento), estas condiciones e información obtenida mediante dicha simulación, afectando de forma importante a las determinantes obtenidas en el análisis de referentes, donde el volumen, y peso de las piezas afectaron sus puntuaciones, en apartados como el transporte, el almacenaje, instalación o de manejo de operarios, requiriendo logísticamente, mayor cantidad de insumos, personal, u otras necesidades de operatividad, donde estos incrementos principalmente reflejados en aspectos económicos reducen la



Figura 38. Primer acercamiento en modelado 3D mediante el programa de solidworks. Elaboración propia. (2021)

oportunidad de maximizar el desarrollo e impacto positivo que pretende llegar a estos ecosistemas de arrecifes de coral.

Esto permite tener mayor comprensión frente a las dimensiones y composición formal de la propuesta, como puede ser evidenciada en las figuras 38 y 39 el cual posee características volumétricas de 60cm X 60cm X 60cm, con un grosor de la pieza de cemento de 5cm lo que llevo el peso y condiciones de modularidad a una ruptura de lo que se plantea y



Figura 39. Primer acercamiento en modelado 3D mediante el programa de solidworks. Elaboración propia. (2021)

requieren estos ecosistemas e inclusive el propósito del proyecto per-se, incrementando costos y estrategia logística para su posible ejecución en el contexto real.

Siendo allí donde las decisiones de modificar su composición y condición modular con base en estos datos obtenidos y bajo los criterios dados en la entrevista con el biólogo marino de nociones formales a uso de cuerdas, varillas entre otras características que son usadas para las guarderías de larvas de coral.

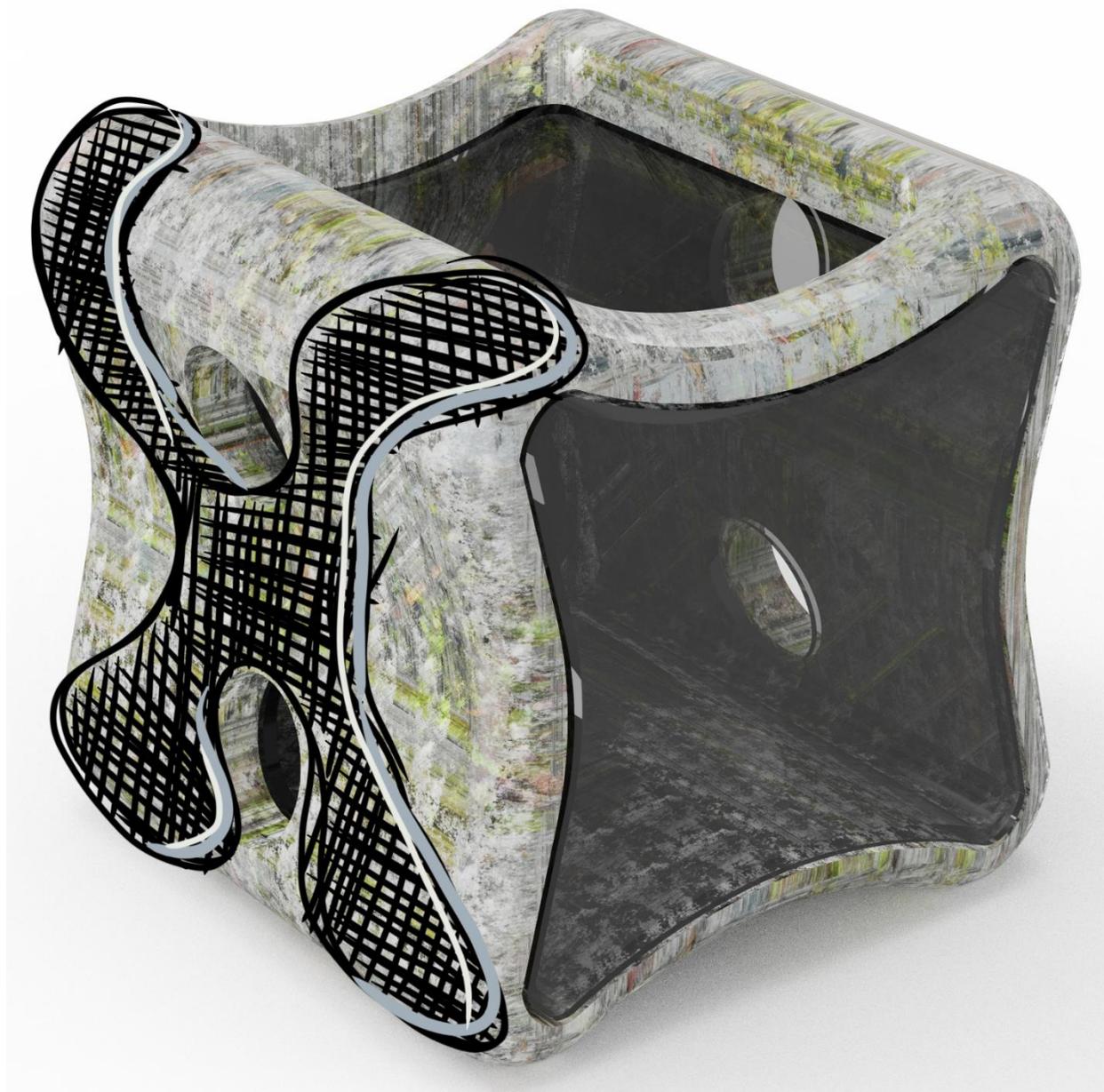


Figura 40. Primer acercamiento en modelado 3D mediante el programa de solidworks y construcción sobre el mismo mediante SketchBook. Elaboración propia. (2021)

Materiales a implementar

La elaboración en términos tangibles, se encuentra mediada por los criterios de la metodología Design for Environment, estableciendo una priorización en el ciclo de vida, su impacto en el medio ambiente (energía), posee una relevancia importante, tomando como punto de partida la obtención de los insumos, procesos de fabricación, y condiciones de cómo es usado, reutilizado o reciclado para aprovechar al máximo las propiedades físicas, químicas, etc. del producto.

Desde el desarrollo del análisis de referentes se obtuvo la información sobre eventuales materiales en los cuales tuvo mayor ponderación el Cemento. De lo cual llevo a una revisión de cementos poliméricos, cerámicas, biopolímeros, permitiendo tomar decisiones de vital importancia en el desarrollo de los módulos.

Luego de revisión de ciertos materiales, variaciones como ocurre en el cemento, y con información verificada a través de artículos científicos que permitieron obtener características, apartados complejos que por predisposición fueron rechazados al afectar de forma abrasiva el ciclo de vida y su impacto al medio ambiente. Como sucedió con los cementos poliméricos, teniendo en cuenta poseen propiedades mecánicas, de resistencia, tolerancia, peso. Basando su desarrollo desde resinas poliméricas, siendo reforzados por fibras sintéticas principalmente de polipropileno. Permitiendo tomar decisiones de rechazo absoluto sobre esta variación de cementos poliméricos debido a sus insumos altamente contaminantes para el contexto marítimo. Barrera Martínez G. Viguera Enrique, S. (2009).

En pocas palabras, el plástico o polímeros como material de construcción tangible, estructural o estética afecta en el potencial de restauración de los arrecifes de coral, debido a la baja afinidad por parte de las larvas de coral en las denominadas guarderías, donde las especies como *A. Cervicornis* tienden a tener un porcentaje de rechazo a este tipo de materiales de un aproximado de 20%. (P. Montoya, comunicación personal, 22 de abril del 2021).

Por ende, la selección del material a implementar se encuentra fijamente encaminada por el cemento anti-deslave, el cual es usado en ingeniería civil para la construcción de pilotes, bases de muelles, estando constantemente en condiciones hostiles para este tipo de concreto, siendo principalmente usado para condiciones estructurales. Este cemento anti-deslave el cual posee determinadas ventajas que se ajustan de forma relativa a la eventual proyección tangible de la estructura artificial para estas especies coralinas:

- No se modifica los contenidos de agua en la mezcla.
- Reduce el impacto ambiental marino.
- Impide deslavarse al ser colocado en el agua.
- No requiere equipamiento especial para su colocación.
- Posee propiedades hidrofóbicas (repulsión al agua).
- Una baja permeabilidad.
- Aumenta su durabilidad.

Así como es afirmado por, García Díaz, J. (2013). Estableciendo de forma categórica los beneficios para construcciones estructurales en condiciones hostiles, permitiendo apropiar datos técnicos, benéficos, y otras cualidades que posee el Cemento Antideslave.

Este cemento en particular sus propiedades mecánicas se encuentran basadas de 50 a 80MPa lo cual equivale a (500 a 800 kg/cm²). Siendo percibidos desde la planeación para la estructura artificial una tasa de resistencia para el contexto marítimo, donde su concepción evidencia condiciones superiores a las requeridas. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (2000).

Uno de los datos técnicos más relevantes encontrados e importantes encontrados en artículos científicos, donde el fraguado se encuentra en términos temporales de 4 a 6 horas, donde la compresión a los 28 días va desde 200 kg/cm² y bajo una relación de a/c (agua-cemento) de un aproximado de 0.40. e inclusive a incrementos de 0.45, y donde gran parte de

esas características son obtenidas a base de moldes de patrones cilíndricos de acero inoxidable. Zanelli Flores, C. Fernández, G. (2014).

Cuadro I. Influencia de la relación agua/cemento en la resistencia del cemento.

A/C	f'c (kg/cm ²)
0,36	420
0,40	370
0,45	340
0,50	295
0,55	275
0,60	230
0,65	220
0,70	185
0,75	165
0,80	140

Figura 41, Influencia de la relación agua/ cemento en la resistencia del cemento Guevara, G; Hidalgo, C; Pizarro, M; Rodríguez, I; Rojas, L; Segura, G. (2012).

Así mismo como puede observarse en la figura 41 la relación de resistencia en kg/ cm² mostrando la relevante resistencia que poseerá el eventual desarrollo tangible frente a todas las condiciones requeridas y evidenciadas en las determinantes y requerimientos como el soporte a mínimo 6 atmosferas de presión, una relación de salinidad de 3,6% en el mar caribe, entre otros requeridos para la producción de los módulos.

Propuesta final

La composición final del módulo de estructura artificial arrecifal es la recopilación, interpretación y apropiación de información obtenida con base en análisis como el benchmarking, el morfológico, el conceptual, y prototipos desde la proyección bidimensional, y tridimensional de un proceso creativo intelectual, mostrando una construcción formal acorde al contexto marítimo y a las constantes interacciones de las especies con el coral.

Este módulo estructural artificial para las especies *Acropora Palmata*, *Acropora Cervicornis*, con base en patrones establecidos ovoides que favorecen el continuo paso de animales, fundamentado por los aportes entregados por la entrevista con el biólogo marino Phanor Montoya, favoreciendo la reconstrucción de los ecosistemas de arrecifes de coral y su principal importancia de la tridimensionalidad para estos escenarios de biodiversidad, como puede observarse en la figura 42 donde cada una de las vistas del módulo, percibiendo de forma más cercana la coherencia formal encontrada durante todo el proceso de investigación teórica y práctica en el ejercicio de diseño y su respectiva composición modular.



Figura 42, Composición de propuesta final modelada y renderizada del módulo constructor de la estructura artificial arrecifal. Elaboración propia (2021).

La conformación de los módulos otorga variaciones permitiendo obtener una tridimensionalidad de mayores proporciones y construcciones que favorecen al aumento de colonias de las dos especies en el ecosistema de arrecifes de coral.

En pocas palabras, basados en eventuales necesidades funcionales, en términos del paquete tecnológico (térmico), y los objetivos planteados en este escenario académico donde según objetivo general y específicos se establece el desarrollo de un modelo formar-estético, se permite evidenciar render's bajo una configuración funcional, la cual puede ser observada en las figuras 43 y 44, haciendo presencia la tubería de cobre de 2,54cm (1 in) fundamentado en tres decisiones vitales las cuales son:

1. Refuerzo estructural, de los módulos de concreto.
2. Difusión y optimo recorrido de la energía (calor), debido a la propiedad del cobre para temas térmicos.
3. Apoyo para posicionamiento de larvas de coral (*A. Cervicornis*), ubicadas en varillas y cuerda en las guarderías según aporte de Biólogo Marino.



Figura 43, Estructura artificial arrecifal, conformada bajo escenario de funcionalidad térmica por la tubería de cobre. Elaboración propia (2021).

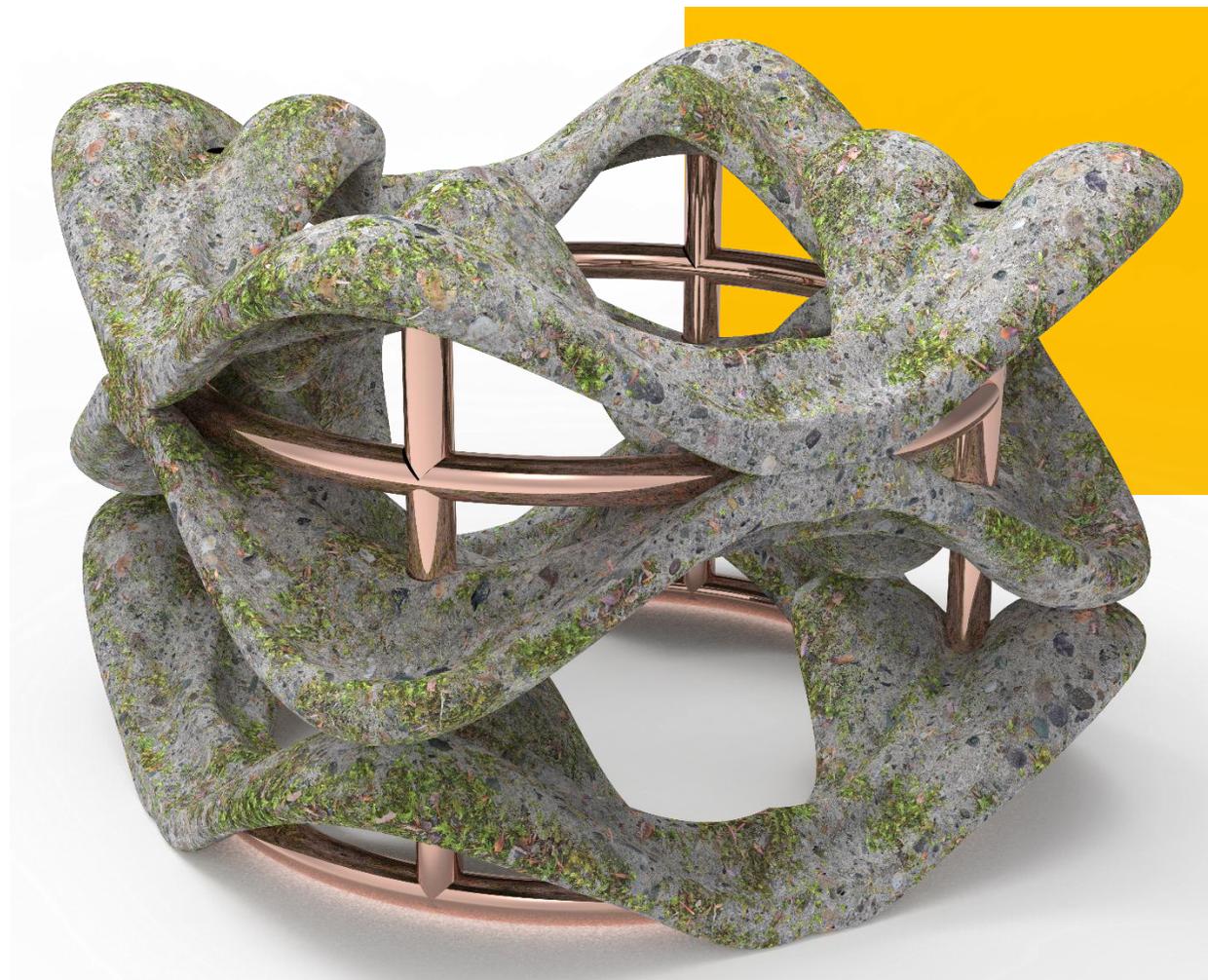


Figura 44, *Estructura artificial arrecifal con tubería de cobre. Elaboración propia (2021).*

Finalizando con la composición final del módulo formal como puede observarse en las figuras 45, 46, 47, 48, 49 donde el desarrollo presente es la recopilación total de las decisiones tomadas a lo largo y ancho del proceso creativo, y de análisis de información elaborado en el presente documento, en una eventual realización e implantación en el contexto real, en el ecosistemas de arrecifes de coral, y su acople al suelo marino, por beneficio del material y según el peso de cada uno de los módulos con un aproximado de 7,2 kg por módulo según el programa de modelado 3D SolidWorks, completando los tres niveles mostrados alcanza un peso de 46.08 kg, y otra información emitida por el programa a partir de las propiedades físicas como puede observarse en la figura 50.



Figura 45, Estructura artificial arrecifal formal. Elaboración propia (2021).



Figura 46, Estructura artificial arrecifal en escenarios bajo el agua, parte 1. Elaboración propia (2021).



Figura 47, Estructura artificial arrecifal en escenarios bajo el agua. Parte 2. Elaboración propia (2021).



Figura 48, Estructura artificial en escenarios marino, en diferentes posiciones en el arrecife de coral. Elaboración propia (2021).

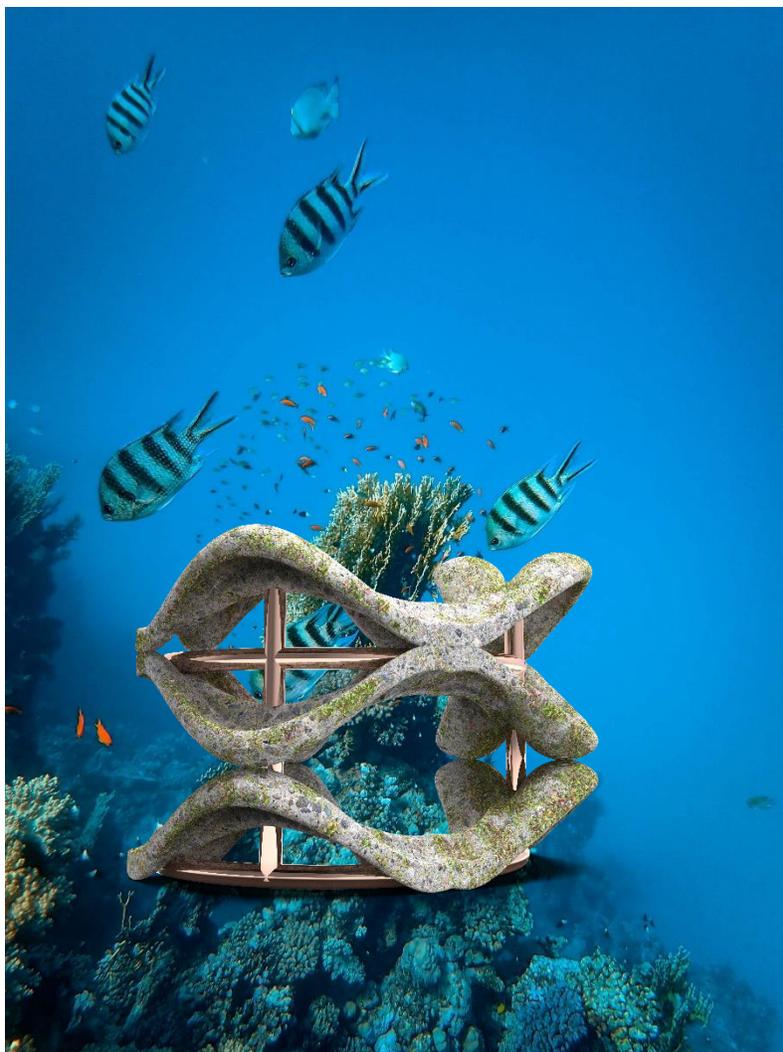


Figura 49, Estructura artificial en escenario marino con tubería de cobre en el arrecife de coral. Elaboración propia (2021).

```

Propiedades de masa de Ensamble diseño final
Configuración: Predeterminado
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Masa = 46.08 kilogramos

Volumen = 18730.66 centímetros cúbicos

Área de superficie = 23836.66 centímetros cuadrados

Centro de masa: ( centímetros )
X = -0.05
Y = 19.71
Z = 0.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( kilogramos * centímetros cuadrado
Medido desde el centro de masa.
Ix = ( 0.67, 0.00, 0.74) Px = 20123.21
Iy = ( 0.74, 0.00, -0.67) Py = 20124.14
Iz = ( 0.00, 1.00, 0.00) Pz = 28649.26

Momentos de inercia: ( kilogramos * centímetros cuadrados )
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.
Lxx = 20123.72 Lxy = 0.54 Lxz = 0.46
Lyx = 0.54 Lyy = 28649.26 Lyz = 0.00
Lzx = 0.46 Lzy = 0.00 Lzz = 20123.63

Momentos de inercia: ( kilogramos * centímetros cuadrados)
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.
Ixx = 38025.03 Ixy = -43.37 Ixz = 0.46
Iyx = -43.37 Iyy = 28649.37 Iyz = 0.00
Izx = 0.46 Izy = 0.00 Izz = 38025.04

```

Figura 50, Propiedades físicas de la composición de tres niveles. Elaboración propia (2021).

Disposición y uso de la propuesta

La propuesta mostrada anteriormente, mediante diferentes prototipos de comprobación bidimensionales y herramientas de proyección en diversos escenarios eventuales de aplicación, deja en evidencia una disposición y uso del módulo formal obtenido después de todo el proceso, tal como puede observarse en la figura 51, dando inicio, desde el transporte en arrastreros o barcos de pesca industrial, para movilizar la mayor cantidad posible de los módulos que formaran las estructuras artificiales arrecifales, principalmente por su capacidad; luego cada módulo será ubicado por 2 submarinistas, en adelante, según sea el tiempo a disponibilidad, a lo cual aumentando la cantidad de submarinistas disminuirá de forma considerable para el proceso de implementación, siendo posicionado cada módulo alrededor del tronco de la especie A. Palmata, el cual posee un diámetro de aproximadamente 40 cm, y

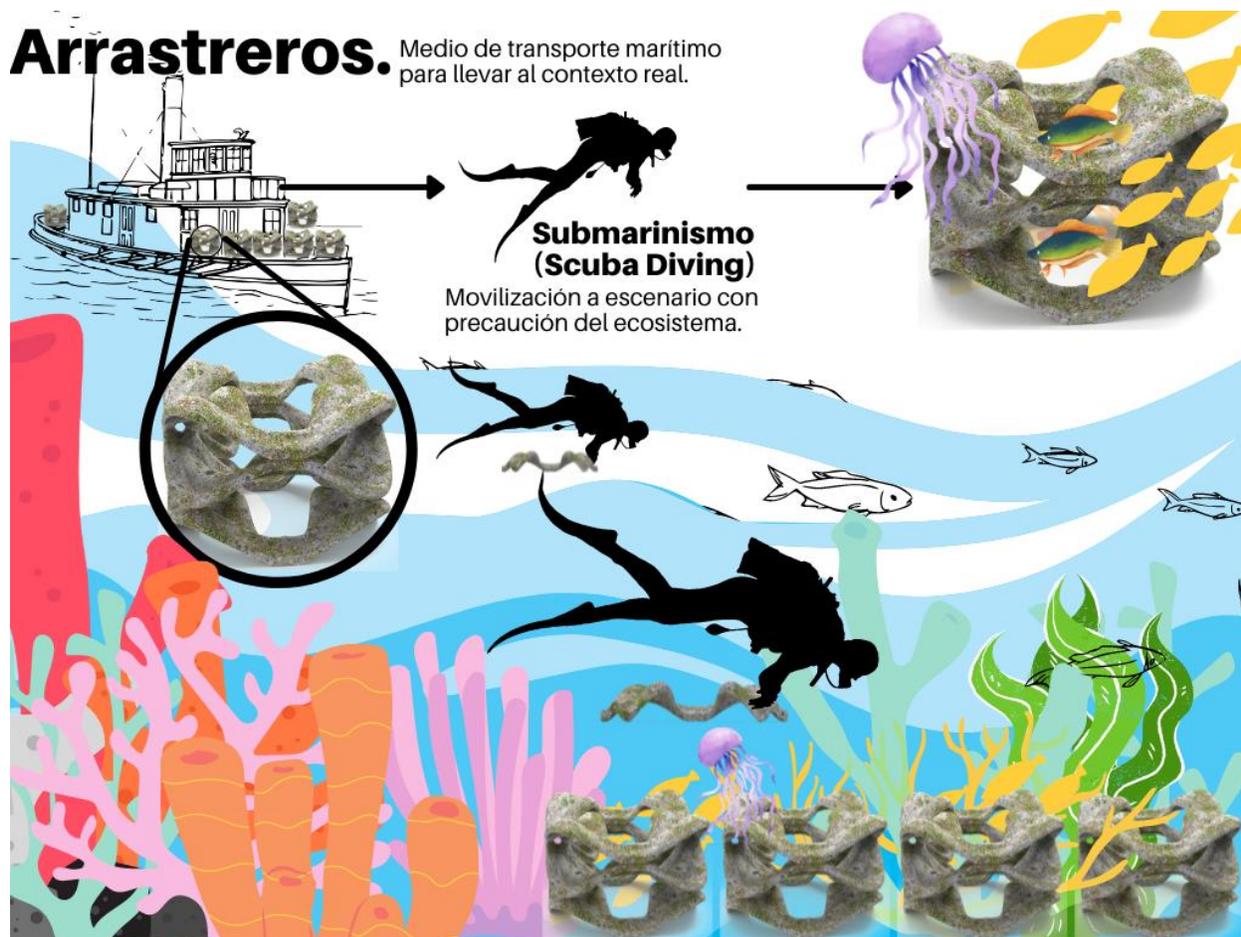


Figura 51. Disposición y uso del módulo formal en escenarios reales. Elaboración propia. (2021)

finalmente usando conocimientos y profesionales en biología marina, teniendo en cuenta que estas especies coralinas se encuentran ubicadas en un espectro de profundidad entre los 2 a los 20 metros, para el asentamiento de larvas de coral en los módulos permitirá la colonización de la estructura fortaleciendo la tridimensionalidad de las especies, y la reconstrucción del ecosistema de arrecifes de coral.

Finalizando con la disposición de almacenamiento del módulo formal propuesto, donde a favor de las ponderaciones de criterios establecidos en el benchmarking, este desarrollo elaborado de forma modular potencia la posibilidad de almacenaje de forma vertical y horizontal, partiendo que cada 2 módulos establecen una planta de la estructura, o dos plantas como puede observarse en la figura 52, mejorando las características de transporte, almacenamiento, distribución de costos relacionado a estos apartados en términos logísticos. Si llegase a llenar la cubierta de un Arrastrero, podría especularse que serían cientos de módulos almacenados y transportados para la implementación en un contexto real en los mares en los que se encuentran localizadas estas dos especies coralinas. (A. Palmata, A. Cervicornis).

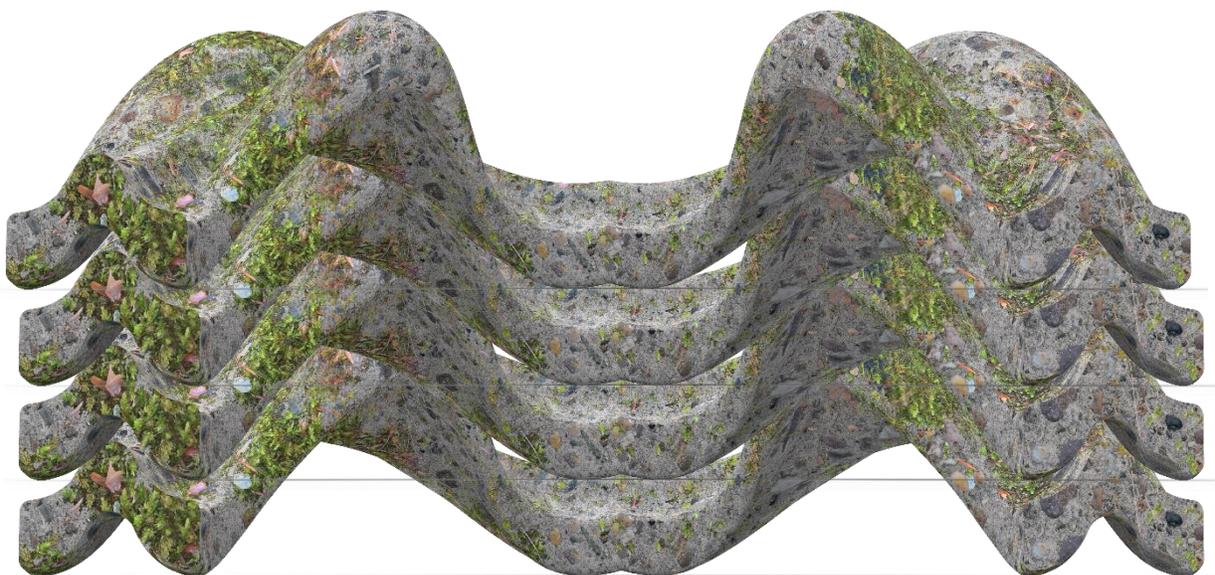


Figura 52. Disposición de almacenamiento del módulo formal. Elaboración propia. (2021)

Procesos productivos

La elaboración tangible del módulo formal en el material anteriormente expuesto por sus propiedades mecánicas (cemento anti-deslave) requiere para su producción principalmente el cemento como insumo vital, segundo un molde de dos piezas con un ángulo de salida de 0° , como se muestra mediante la simulación finita dada por el programa de modelado SolidWorks, el cual muestra de forma visual, como se observa en la figura 53, donde el color verde hace referencia a la salida positiva, y el color rojo denota la salida negativa del molde a implementar. dicho molde debe ser elaborado en acero inoxidable por la facilidad de desmoldar, o podría llevarse al campo de impresión 3D de cemento, reduciendo al costo del molde y otros insumos necesarios, inclusive implementando esta tecnología permite modificaciones importantes sin alterar la forma de producirse manteniendo el mismo costo, tiempo y destino. Usando solamente la construcción de los planos mostrados a partir de la figura 54, y de programas de modelado como SolidWorks que se encuentran enfocados en la productividad y eficiencia de estos procesos necesarios para la obtención del módulo formal de manera tangible y comprobaciones de vital importancia para la continuación del proceso y la culminación del módulo formal.

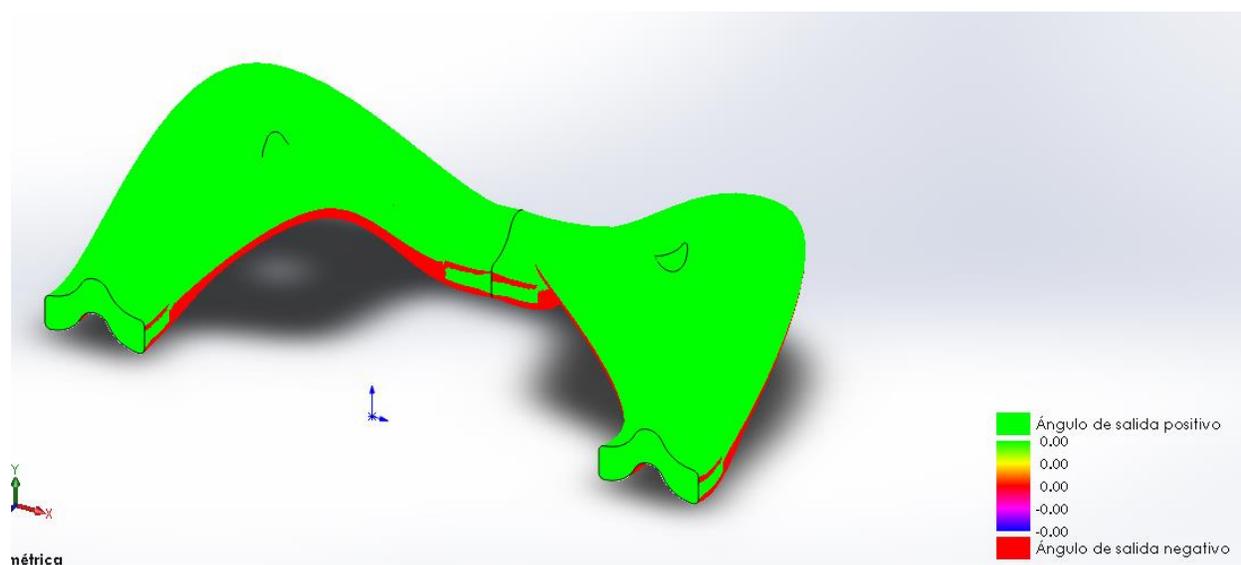


Figura 53. Ángulo de salida para el molde del módulo formal. Elaboración propia. (2021)

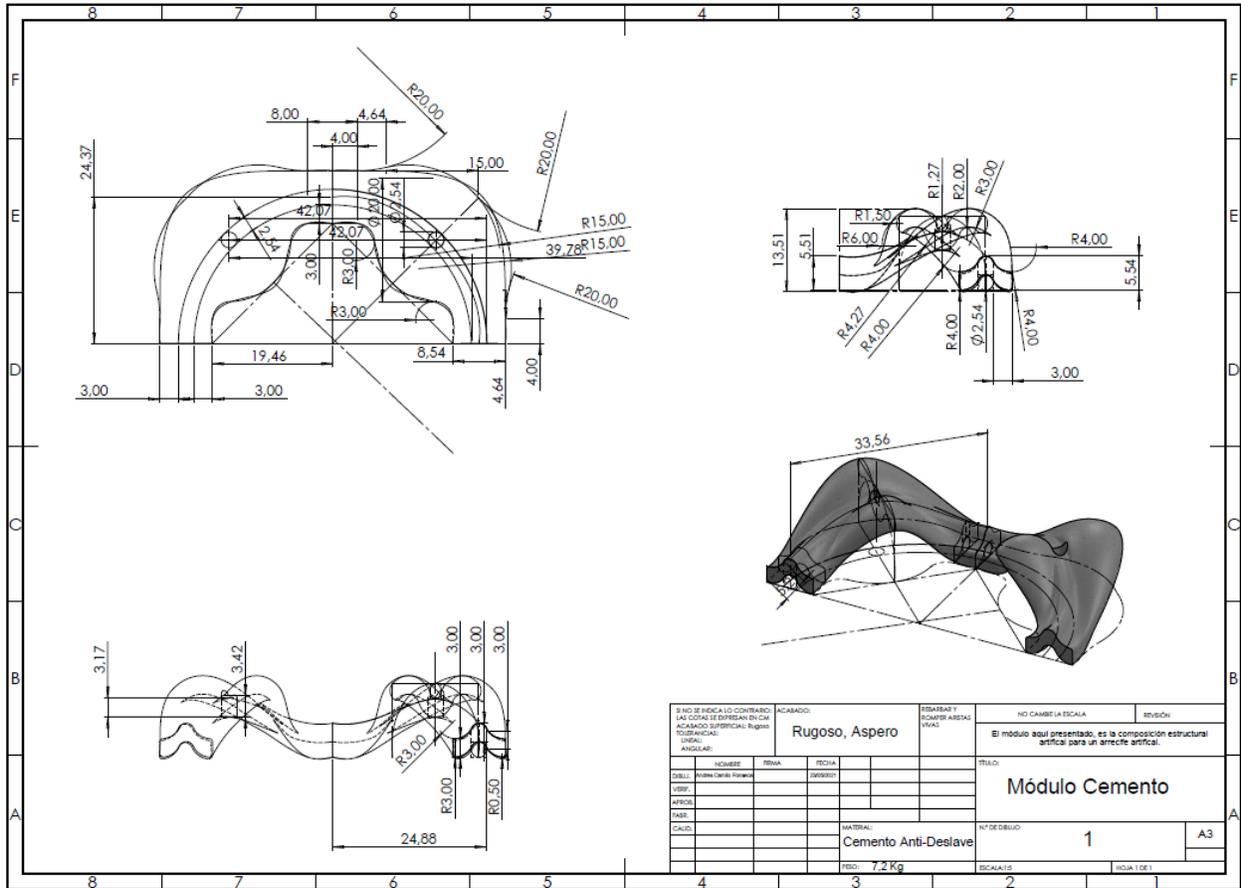


Figura 54. Planos de composición formal del módulo en cemento. Elaboración propia. (2021)

Nota: Para visualizar de forma más legible el contenido remítase al ANEXO 6 (Plano módulo cemento.pdf)

Conclusiones

La finalización del presente trabajo de grado de la disciplina de diseño industrial, entrega un listado de conclusiones obtenidas a lo largo del proceso de fundamentación teórica-práctica concerniente a la disciplina permitiendo dar paso a eventuales transformaciones que otorgaran la funcionalidad, o modificaciones estéticas o formales. Y luego de proceso transcurrido se concluye que:

La necesidad de establecer un trabajo de campo (en el contexto real), limita hasta determinado punto la posibilidad de obtener resultados con mayor tasa de éxito.

Desarrollar una composición formal para un contexto marítimo requiere análisis de una gran cantidad de variantes en un sistema abierto que afecta constantemente la toma de decisiones.

La propuesta planteada en el presente trabajo de grado se encuentra sujeto a modificaciones debido a que hace parte de una posible investigación científica, la cual requiere de comprobaciones del más alto nivel de rigurosidad.

La composición formal presentada no es considerada final debido a eventuales modificaciones considerables según aportes del biólogo marino e investigación relacionada a su función térmica de difusión de calor por el posible paquete tecnológico.

Fuentes de información

Referencias (Bibliografía.)

- Adaptado de *No story is complete without seeing the humeroud clown fish being protected. They really do tell you to buzz off. Great animals* [Fotografía], por Ray Aucott, 2018, Unsplash. (<https://unsplash.com/photos/a6iEo5bdVUU>). CC BY 2.0
- Adaptado de *Distribución mundial de los arrecifes de coral El SAM tiene en cuatro principales zonas; laguna, cresta, frente y pendiente arrecifal* [Fotografía], por Astorga Moar, 2017, ResearchGate (https://www.researchgate.net/figure/Figura-01-Distribucion-mundial-de-los-arrecifes-de-coral-El-SAM-tiene-en-cuatro_fig1_320960998). CC BY 2.0
- Adaptado de *Corales hermatípicos* [Ilustración], por Ana Díaz Maqueda, 2019, Experto Animal (<https://www.expertoanimal.com/tipos-de-corales-24271.html>). CC BY 2.0
- Adaptado de *Corales ahermatípicos* [Ilustración], por Ana Díaz Maqueda, 2019, Experto Animal (<https://www.expertoanimal.com/tipos-de-corales-24271.html>). CC BY 2.0
- Andres Camilo Fonseca Correa. [Andres Fonseca] (30 may. 2021). Entrevista biólogo marino Fecha 2021 04 22 [Video]. YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=WgikFw9y-mc>
- Barrera Martínez G. Viguera Enrique, S. (2009). Concreto polimérico y sus Ventajas sobre el concreto a base De cemento portland. *EnlaceQuimico, Vol. 1, pp 15-18.*
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos. (2020). *Arrecifes de coral*. Recuperado de: <http://drna.pr.gov/wp-content/uploads/2019/02/Libro-para-colorear-Arrecifes-de-Coral.pdf>
- Durán Allimant, Ronald (2016). *Vida y materia: Bergson y la Termodinámica clásica. Veritas. Revista de Filosofía y Teología, (34), 75-91. ISSN: 0717-4675. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2911/291145289004*
- García Díaz, J. (2013). Alta ingeniería para retos de construcción bajo agua: Concreto Antideslave. *Noticreto (México): Vol. 120. pp. 33-36.*
- Garzón-Ferreira, J, Moreno-Bonilla, M. y Vásquez, J, M. (2004). Condición actual de las formaciones coralinas de *Acropora Palmata* y *a. Cervicornis* en el parque nacional natural Tayrona (Colombia). *Bol. Invest. Mar. Cost, (33), pp. 117-136.*
- García García, José Joaquín, & Rentería Rodríguez, Edilma (2013). Resolver problemas: una estrategia para el aprendizaje de la termodinámica. *Revista Científica Guillermo de Ockham, 11(2), 117-134. ISSN: 1794-192X. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1053/105329737009*
- García Velarde, M. y Fairen le lay, V. (1980). Estructuras Disipativas Algunas nociones básicas /1. *El Basilisco, Vol. 10, pp 8-13.*

- Guevara, G; Hidalgo, C; Pizarro, M; Rodríguez, I; Rojas, L; Segura, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en Marcha*. Vol. 25(2). pp. 80-86.
- Hansel Caballero y Pedro M. Alcolado. (2011). Condición de arrecifes de coral sometidos a presiones naturales recientes: Bajos de sancho pardo, cuba. *Revista Mar. Cost.* Vol. 3, pp 51-65
- Hernández-Delgado, F. González-Díaz, S, P. Rodríguez, V, M. (2017). Evaluación de *Acropora palmata* (Lamarck, 1816) y *Diadema antillarum* Philippi y Agassiz, 1863 en las crestas arrecifales de playa Baracoa (Provincia Artemisa) y Rincón de Guanabo (Provincia La Habana), Cuba, *Investigaciones Marinas*, 37(2). pp. 80-99
- ISOTools Excellence, (2015). Sistema de gestión ambiental (Norma ISO núm. 14001). www.isotools.org
- Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada del Ecuador. (2001). *Atlas Oceanográfico 2001, Capítulo 8: Olas*. Recuperado de: <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php>
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés. (2008). *Estado de los Arrecifes Coralinos del mundo: 2008*. Retomado de: http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/6571plegable_estadoarrecifescoralinos.pdf
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (2000). *Avances en la tecnología del Concreto*. Recuperado de: <http://www.imcyc.com/revista/2000/octubre2000/concreto.htm>
- Jaime Garzón Ferreira msc. (S.f) *Arrecifes coralinos: ¿un tesoro caminando a la extinción?* Santa marta, Colombia: Instituto de investigaciones marinas y costeras (invemar).
- James R, Andrew H. Baird, Jeffrey A. Maynard, Efin Muttaqin, Alasdair J. Edwards, Stuart J. Campbell, Katie Yewdall, Yang Amri Affendi, Loke Ming Chou. (2012). Los patrones contrastantes de susceptibilidad al blanqueamiento de los corales en 2010 sugieren una respuesta adaptativa al estrés térmico, *PLoS ONE*, 7(3). e33353.
- José Luis Carballo, Eric Bautista-Guerrero, Héctor Nava, José Antonio Cruz Barraza. (2015). Cambio climático y ecosistemas costeros, bases fundamentales para la conservación de los arrecifes de coral del Pacífico Este. *Memorias del Primer Taller de la RED CYTED BIODIVMAR. La Habana, Julio 2010*. pp. 183-193.
- Jullian Montañez, Alain Gabriel (2015). El otro como estructura disipativa. *Reflexiones*, 94(2),145-151. ISSN: 1021-1209. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=729/72946471011>
- Marshall, P. Schuttenberg, H. (Ed.). (2006). *A Reef Manager's Guide to Coral Bleaching*, Townsville, Australia: Great Barrier Reef Marine Park Authority.
- Molina Rivera, Raúl, & Fernández Magallón, Rene Azcary (2014). *Morfogénesis natural Como metodología en los procesos de diseño arquitectónico*. Revista Legado de Arquitectura y Diseño, (16),21-32. ISSN: 2007-3615. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477947304002>

- O. Hoegh-Guldberg, et al. (2007). Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science* (318), 17-37. Doi: 10.1126/science.1152509.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático. (2018). *IPCC presents findings of the Special Report on Global Warming of 1.5°C at event to discuss Viet Nam's response to climate change*. Retomado de: <https://www.ipcc.ch>
- Real academia española: Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.4 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [03-08-2020].
- Resolución 2724 de 2017 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se presenta la propuesta de zonificación y el régimen de usos para los pastos marinos por parte de las Corporaciones Autónomas Regionales y se adoptan otras determinaciones, 26 de diciembre del 2017.
- Sánchez, D. (2019). La Biomimesis: más que una herramienta de inspiración para el Diseño, *Artificio*, 24-36.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). *Programa de Acción para la Conservación de las Especies: Acropora (cuerno de ciervo Acropora Cervicornis y cuerno de alce Acropora Palmata) (PACE: ACROPORAS)*. Recuperado de: www.conanp.gob.mx
- Sotomayor, A, Torres, H, J, (2005). *Los arrecifes de coral*, Mayagüez, Puerto Rico: Sea Grant.
- Susana Perera Valderrama, Pedro M. Alcolado, Hansel Caballero Aragón, Elena de la Guardia Llansó y Dorka Cobián Rojas. (2013). Condición de los arrecifes coralinos del Parque Nacional Guanahacabibes, Cuba. *Revista Mar. Cost. Vol. 5, pp 69-86*
- Víctor Manuel Ferrer Rodríguez, Silvia Patricia González-Díaz, Leslie Hernández Fernández, Daria Siciliano, Fernando Bretos, Amy Appril, Konrad Hugues, Alyson Santoro. (2016). Salud de las comunidades de corales en arrecifes de jardines de la reina - golfo de Ana maría, región sur central de cuba. *Revista investigaciones marinas Rnps: vol. 36(1). pp. 34-53.*
- Zanelli Flores, C. Fernández, G. (2014). Concreto Antideslave: Retos de construcción Bajo el Agua. ACI – PUCP. Disponible en: <http://revistas.pucp.edu.pe>