

PROTOTIPO FLEXIBLE PARA AULAS EDUCATIVAS EN ZONAS INUNDABLES EN LA REGIÓN DE LA MOJANA

Joseph Nicolas Barrera Cajiao



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad la Gran Colombia

Bogotá D.C

2024

Prototipo flexible para aulas educativas en zonas inundables en la región de La Mojana

Joseph Nicolas Barrera Cajiao

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de (Arquitecto)

Director: Arq. Mg. Fabian Enrique Báez Alvarez



Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad la Gran Colombia

Bogotá D.C

2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a YHWH (tetragrámaton) por estar conmigo constantemente ayudándome, guiándome y sobre todo por darme esperanza en los tiempos de tribulación, también por tener la paciencia y la enseñanza sobre infinidad de temas, incógnitas en diversas ciencias que tuve en este proceso poniéndome las personas adecuadas para brindarme las respuestas necesarias; porque siete veces me caí, pero me ayudo a levantarme las mismas siete. Finalmente doy gracias a la Divina providencia por permitirme cumplir este propósito.

“Me vieron caer como un ave de presa, me vieron caer sobre terrazas desiertas, pero después de un tiempo... me verán volver, me verán volar por la ciudad de la furia con fuerza inquebrantable donde los vere a todos desde arriba en las atalayas”

1 corintios 1:27–29 | ²⁷ sino que lo necio del mundo escogió DIOS, para avergonzar a los sabios, y lo débil del mundo escogió DIOS, para avergonzar a lo fuerte; ²⁸ y lo vil del mundo y lo menospreciado escogió DIOS, y lo que no es, para deshacer lo que es, ²⁹ a fin de que nadie se jacte en su presencia.

Tabla de contenido

RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS.....	13
OBJETIVO GENERAL.....	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
CAPÍTULO I: FORMULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	14
1.2 PREGUNTA PROBLEMA.....	18
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.4 HIPÓTESIS.	19
CAPÍTULO II: MARCOS DE REFERENCIA	21
2.1 ESTADO DEL ARTE.	21
2.2 MARCO TEÓRICO.	23
2.3 MARCO NORMATIVO.....	32
2.4 MARCO REFERENCIAL	34
ESCUELA FLOTANTE EN MAKOKO.....	34
AULAS FLOTANTES EN SEMPEGUA	35
EL BIBLIOBURRO.....	36

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	36
CAPÍTULO IV: PRIMER OBJETIVO: CARACTERIZAR LAS DISTINTAS VARIABLES	40
4.1 CASOS DE ESTUDIO.	40
4.2 CLIMA.	41
4.3 TOPOGRAFÍA	43
4.4 POBLACIÓN OBJETIVO.....	43
4.5 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS.	44
4.6 ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO, ESTABILIDAD Y FUERZAS QUE AFECTAN LAS ESTRUCTURAS FLOTANTES.....	53
4.7 FLOTABILIDAD.	55
4.8 SISTEMAS DE AMARRE.	56
4.9 CASO DE ESTUDIO ESPECÍFICO (MAGANGÜÉ).....	58
<i>Población objetivo específica</i>	58
<i>Datos Bioclimáticos.</i>	59
<i>Precipitaciones.</i>	60
<i>Temperatura de bulbo seco.</i>	61
<i>Humedad relativa.</i>	61
<i>Radiación.</i>	62
<i>Trayectoria solar.</i>	63
<i>Rosa de los vientos.</i>	66
4.10 MATERIALES.....	67
<i>Madera.</i>	67
<i>Cartón.</i>	70
.....	73

<i>ETFE (Etileno-TetraFluoroEtileno)</i>	73
CAPÍTULO V: SEGUNDO OBJETIVO FORMULACIÓN DE ESTRATEGIAS	75
5.1 FORMA.	75
5.2 ESTRUCTURA.	78
5.3 ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS.	80
5.4 SOSTENIBILIDAD.....	81
5.5 SUSTENTABILIDAD	83
5.6 EFICIENCIA ENERGÉTICA	84
5.7 EFICIENCIA DEL AGUA	85
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	85
6.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
LISTA DE REFERENCIA O BIBLIOGRAFÍA	89

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Poblaciones vulnerables frente a inundaciones en la región Caribe.....</i>	16
Figura 2	<i>Gráfica estadística sobre el índice NBI.....</i>	17
Figura 3	<i>Déficit de infraestructura educativa</i>	18
Figura 4	<i>Barrio de IJburg y Schoonschip en Ámsterdam</i>	23
Figura 5	<i>Características a tener en cuenta en los sistemas prefabricados</i>	28
Figura 6	<i>Exposición maqueta de diseño para un estadio</i>	30
Figura 7	<i>Objetivos en el proceso de diseño paramétrico.....</i>	32
Figura 8	<i>Financiación del proyecto de construcción de aulas</i>	33
Figura 9	<i>Estructura metodológica</i>	41
Figura 10	<i>Localización de la región de la Mojana.....</i>	42
Figura 11	<i>Pulso de inundación de los ríos Magdalena y Cauca.....</i>	47
Figura 12	<i>Perfiles topográficos y perfiles de velocidad de algunos caños y ríos.....</i>	49
Figura 13	<i>Movimientos que afectan las estructuras flotantes.....</i>	54
Figura 14	<i>Análisis de flotabilidad.....</i>	57
Figura 15	<i>Tipos de amarre.....</i>	58
Figura 16	<i>Precipitaciones en Magangué.....</i>	61
Figura 17	<i>Temperatura de bulbo seco en Magangué</i>	62
Figura 18	<i>Humedad relativa en Magangué.....</i>	63
Figura 19	<i>Radiación en Magangué.....</i>	64

Figura 20	<i>Trayectoria solar de equinoccio en Marzo en Magangué</i>	65
Figura 21	<i>Trayectoria solar de equinoccio en Septiembre en Magangué</i>	65
Figura 22	<i>Trayectoria solar de solsticio en Junio en Magangué.....</i>	66
Figura 23	<i>Trayectoria solar de solsticio en Diciembre en Magangué.....</i>	66
Figura 24	<i>Rosa de los vientos en Magangué</i>	67
Figura 25	<i>Proceso de Diseño</i>	77
Figura 26	<i>Base o contrapiso del proyecto</i>	78
Figura 27	<i>Sistema estructural del proyecto.....</i>	80
Figura 28	<i>Algoritmo matemático para llegar a la forma de la estructura y panelización</i>	81

Lista de Tablas

Tabla 1	Áreas para ambientes tipo A	33
Tabla 2	Clasificación climática de los casos de estudio.....	42
Tabla 3	Población objetivo por grupos etarios y déficit de aulas educativas	43
Tabla 4	Estadísticos básicos de las estaciones estudiadas	47
Tabla 5	Requisitos de francobordo y ángulo de escora según las diferentes directrices	54
Tabla 6	<i>Población objetivo por grupos etarios en Magangué.....</i>	59
Tabla 7	<i>Tipos de cartón y sus características.....</i>	70
Tabla 8	<i>Tipos de Test para el cartón y sus características.....</i>	72
Tabla 9	<i>Características físicas y valores medios en láminas de 90 a 150μm</i>	74

Resumen

La presente investigación se centra en la formulación de un prototipo flexible de aulas educativas diseñado para mejorar el acceso a la educación en poblaciones vulnerables afectadas por inundaciones en la región de la Mojana. A través del concepto de arquitectura flotante, el estudio aborda dos problemáticas interrelacionadas: la vulnerabilidad a inundaciones y el déficit de infraestructura educativa. La región, caracterizada por su alta susceptibilidad a inundaciones debido a su ubicación geográfica y la degradación ambiental, enfrenta un serio desafío en cuanto a la continuidad de la educación básica. Según datos de la UNGRD, un 28% de la población en la Región Caribe está expuesta a un riesgo elevado de inundaciones, lo que agrava aún más la situación educativa, ya que muchos niños y jóvenes ven interrumpidos sus estudios debido a la falta de instalaciones adecuadas y seguras.

A través de un análisis exhaustivo de la amenaza y el riesgo asociados a fenómenos naturales, así como la caracterización de las variables climáticas y demográficas de la región, esta investigación propone formular estrategias de diseño que integren principios bioclimáticos y constructivos. Se evaluará la efectividad y versatilidad del prototipo en respuesta a las condiciones climáticas locales, contribuyendo significativamente a la mejora de la calidad de vida de las comunidades afectadas.

Palabras claves: Arquitectura flotante, Diseño paramétrico, Arquitectura naval, Adaptabilidad, Educación, Flexibilidad.

Abstract

The present research focuses on the formulation of a flexible prototype of educational classrooms designed to improve access to education in vulnerable populations affected by floods in the Mojana region. Through the concept of floating architecture, the study addresses two interrelated problems: vulnerability to floods and the deficit of educational infrastructure. The region, characterized by its high susceptibility to flooding due to its geographical location and environmental degradation, faces a serious challenge regarding the continuity of basic education. According to data from the UNGRD, 28% of the population in the Caribbean Region is exposed to a high risk of flooding, which further aggravates the educational situation, since many children and young people see their studies interrupted due to the lack of facilities. adequate and safe.

Through an exhaustive analysis of the threat and risk associated with natural phenomena, as well as the characterization of the climatic and demographic variables of the region, this research proposes to formulate design strategies that integrate bioclimatic and constructive principles. The effectiveness and versatility of the prototype will be evaluated in response to local climatic conditions, contributing significantly to improving the quality of life of the affected communities.

Keywords: Floating architecture, Parametric design, Naval architecture, Adaptability Education, Flexibility.

Introducción

La región de la Mojana, situada en la cuenca hidrográfica de la Depresión Momposina, se enfrenta a desafíos complejos que afectan tanto su entorno natural como su desarrollo social. Entre estos desafíos, la alta vulnerabilidad a inundaciones y un notable déficit en infraestructura educativa son los más críticos. Este fenómeno, exacerbado por la intervención humana y la degradación de ecosistemas esenciales, ha llevado a que muchos estudiantes pierdan la oportunidad de acceder a una educación básica continua y de calidad.

La falta de infraestructura educativa adecuada no solo limita el acceso a la educación, sino que también perpetúa ciclos de pobreza y vulnerabilidad en estas comunidades. Además de la baja capacidad institucional, la falta de planificación territorial; consolida aún más el riesgo que existe en esta región reflejándose en el PBI y el NBI, evidenciando así un problema notorio en estas comunidades.

De manera que como podría la creación de un prototipo flexible contribuir al desarrollo sostenible de la región y en este sentido ser una solución viable a entornos cambiantes garantizando la escolaridad en situaciones de emergencia y generando un símbolo de resiliencia frente a los desafíos ambientales de la región.

Objetivos

Objetivo General

Proyectar un prototipo flexible de aulas educativas que contribuya al acceso de la educación en poblaciones vulnerables por inundaciones en la región de la Mojana a través del concepto de la arquitectura flotante.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar la población, las variables climáticas de los casos de estudio.
2. Formular las estrategias de diseño de la forma, bioclimáticas y constructivas con base al diseño paramétrico.
3. Evaluar las respuestas climáticas y la versatilidad constructiva y de montaje del prototipo.

CAPÍTULO I: Formulación de la investigación.

1.1 Formulación del problema.

Para el planteamiento del problema se hallaron dos obstáculos fundamentales por los que la Región Caribe es un territorio con altos índices de NBI, por lo tanto, importante a intervenir por su potencial necesidad de mejorar la calidad de vida. En primer lugar, se presenta una vulnerabilidad por inundación, seguido de un Déficit de infraestructura educativa.

Vulnerabilidad por inundación

Las catástrofes naturales con más impactos significativos y de manera repentina son los terremotos y las remociones en masa, sin embargo, los fenómenos por inundación en cuestión acumulativa en el tiempo ocasionan más daños y damnificados que los demás fenómenos naturales; estos han incrementado últimamente por diversas causas como la intervención antropogénica en zonas de riesgo, la erosión del suelo ocasionando las pérdidas de cobertura vegetal y la desecación de las ciénagas y humedales, lo que afecta la capacidad de los terrenos de seguir con el ciclo natural del agua.

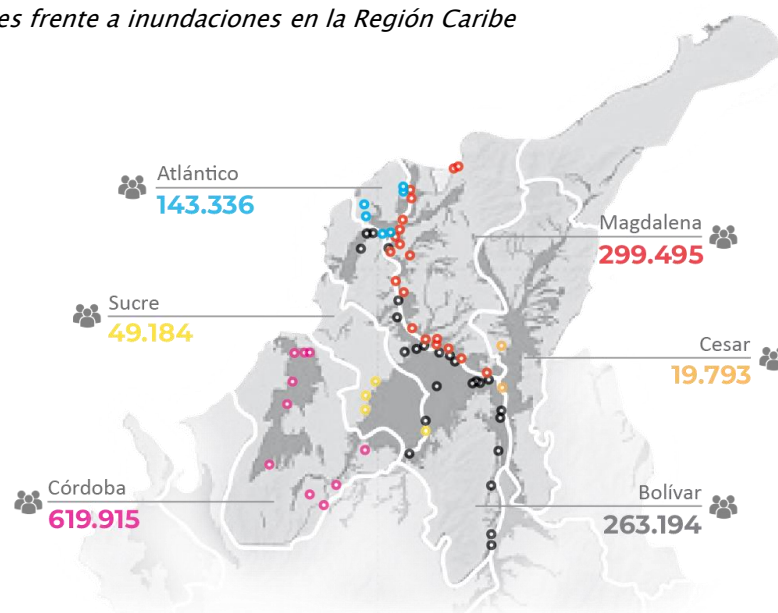
Según la UNGRD (2012) el 28% de la población está expuesta a una probabilidad alta de inundación, donde las áreas de mayor susceptibilidad son Valle del Cauca, Atlántico, Cundinamarca, Magdalena, Antioquia, Córdoba, Cesar, Cauca y Meta. De manera que la Región Caribe se convierte en uno de los focos más notorios siendo objeto de estudios por parte de la entidad en el marco del “Plan Nacional de Gestión del Riesgo”.

Contextualizando aún más se identifica la cuenca hidrográfica la “Depresión Momposina” y dentro de está la Región de “la Mojana”; siendo una llanura donde convergen el Río Magdalena, el Río Cauca y el Río San Jorge formando un delta aluvial, así mismo según el Ministerio de Medio Ambiente (1999) el 71% de los humedales se encuentran en esta Región; por lo tanto, se presentan inundaciones recurrentes en grandes extensiones de tierra por un periodo de tiempo considerable.

Por otra parte, la construcción de políticas públicas y los procesos de planes de ordenamiento territorial (POT) en estos lugares no se correlacionan con el plan de manejo de cuencas (POMCA); ni con el contexto físico natural, ni tampoco el estilo de vida de estas comunidades; lo que traduce en una desarticulación holística entre la arquitectura, el espacio físico temporal y la población, aumentando la vulnerabilidad en lugar de mitigarlo.

Figura 1

Poblaciones vulnerables frente a inundaciones en la Región Caribe



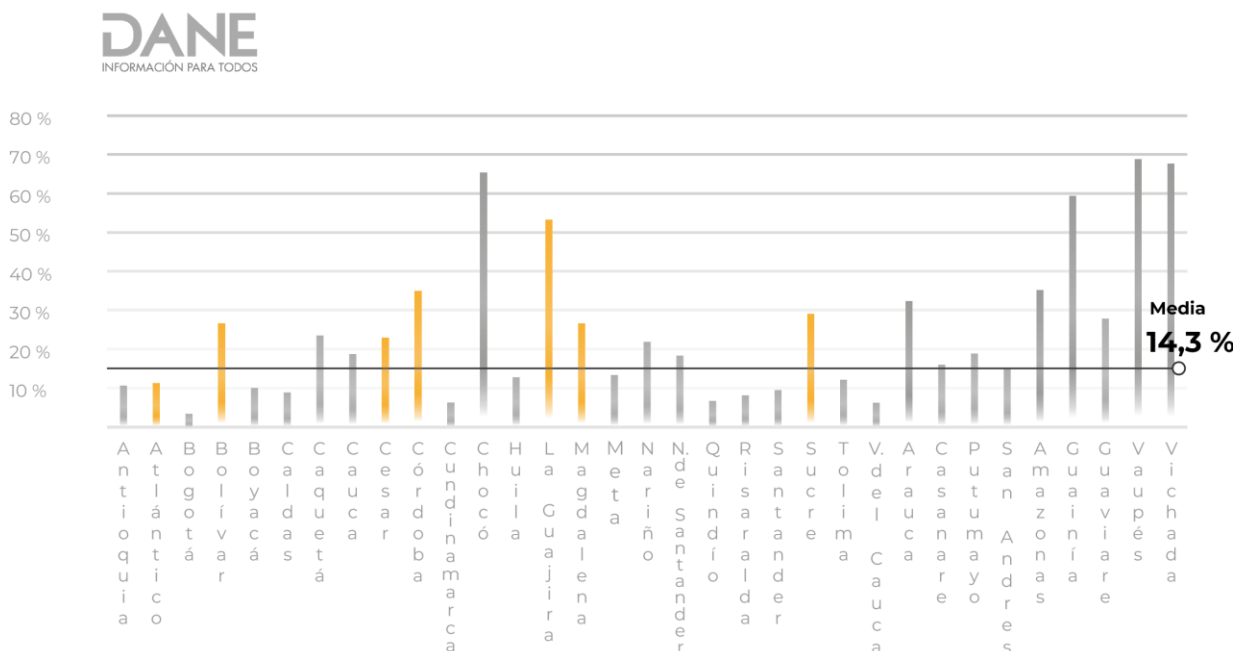
Nota. Se representan en círculos las cabeceras municipales susceptibles y en número la cantidad de personas vulnerables. Adaptado de UNGRD "Atlas de riesgo de Colombia: revelando los desastres latentes del año 2018" recuperado de <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/27179>.

NBI de infraestructura educativa (déficit de aulas escolares)

De acuerdo con los datos del DANE (2018) se puede evidenciar que, a excepción del Atlántico, la Región Caribe se encuentra por encima de la media Nacional en NBI que está en 14,3% (ver figura 2). En consecuencia, son departamentos que tienen bajos niveles de escolaridad y capacidad institucional que se traduce en una mala planeación y falta de estrategias frente a una situación de riesgo; por lo tanto, son poblaciones que están en condiciones de fragilidad.

Figura 2

Gráfica estadística sobre el índice NBI (Necesidades básicas insatisfechas).

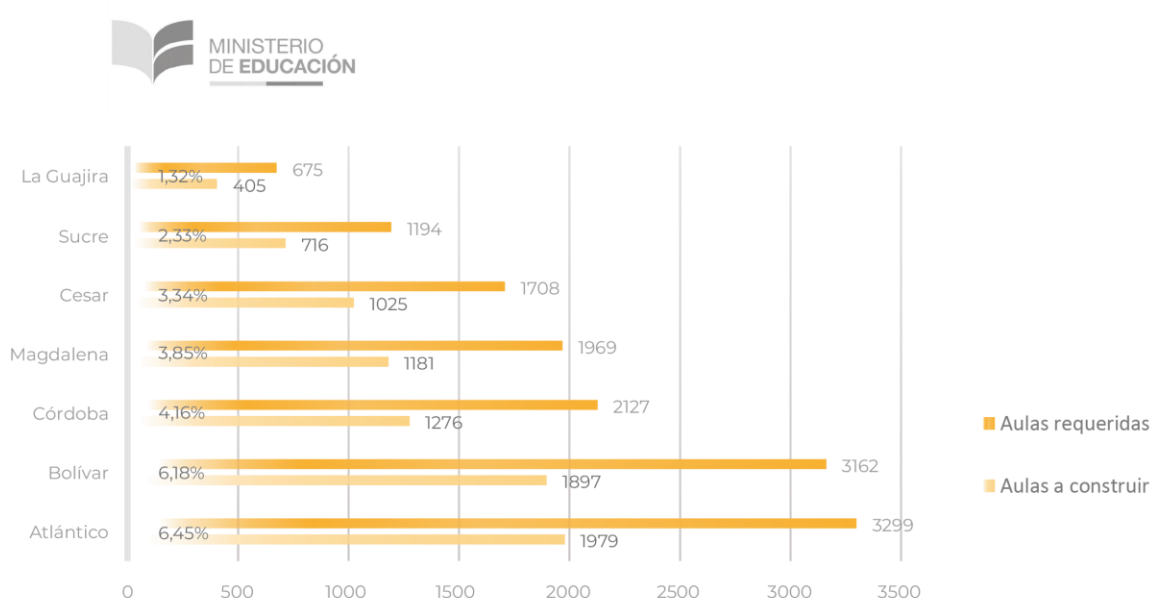


Nota. Se identifican con color amarillo los departamentos de la Región Caribe. Adaptado de "anexo-proyecciones-población-municipal_2018-2026" recuperado de <https://www.dane.gov.co/>.

Por otro lado, según el ministerio de educación (2014) de acuerdo a un estudio, se publicó un anexo donde se muestra la distribución geográfica del déficit de infraestructura educativa y donde el PNIE establece su prioridad definida en el plan de desarrollo 2014–2018 para establecer como meta la cobertura del 60% del déficit mencionado, lo que corresponde a 30.693 aulas. Así pues, se resalta que la Región Caribe cuenta con casi una tercera parte del déficit nacional con un 27,63% lo que merece una solución prioritaria (*ver figura 3*).

Figura 3

Déficit de infraestructura educativa (Aulas requeridas, meta PNIE a 2018 y porcentaje de la meta PNIE Región Caribe).



Nota. El porcentaje se presenta en relación con los demás departamentos a nivel nacional. Adaptado de “Anexo 12 distribución geográfica del déficit de infraestructura educativa” recuperado de https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-355078_recurso_2.pdf.

1.2 Pregunta problema.

¿De qué manera puede resolverse la necesidad básica insatisfecha de infraestructura de aulas educativas para los jóvenes en territorios vulnerables por inundación en la Región de la Mojana?

1.3 Justificación.

Actualmente en estos territorios no existe un soporte institucional, seguido de la geografía de estos territorios que son ciénagas, terrenos pantanosos y zonas inundables. Además del riesgo y vulnerabilidad por fenómenos naturales, principalmente las inundaciones y el NBI donde el déficit de infraestructura educativa segrega aún más estas poblaciones. La arquitectura juega un papel fundamental en la mejora de estos aspectos desde la cobertura de la infraestructura de servicios con módulos propuestos hasta la forma de habitar estos contextos geográficos complejos por medio de una arquitectura flexible y sostenible.

¿Por qué aulas educativas?

Porque existe un déficit de aulas educativas en gran parte del territorio de la región caribe, seguido de que la construcción de aulas educativas está establecida en el plan nacional de desarrollo por medio del plan nacional de infraestructura educativa; declarado de importancia estratégica en el documento COMPES 3831, donde se establece como meta cubrir el 60% del déficit de aulas educativas.

¿Por qué aulas flotantes?

Dentro de los beneficios de las aulas flotantes se encuentra la adaptabilidad al entorno inundable al presentar una solución directa a los problemas de inundación sin alterar el ecosistema. Al estar diseñadas para flotar eliminan el riesgo de daños estructurales y la constante reparación por crecidas de agua, lo que permite la continuidad de las actividades académicas con normalidad en un entorno natural cambiante.

Por otra parte, su convivencia con el medio ambiente y su integración con la cultura local pecuaria y agrícola, que históricamente ha desarrollado modos de vida adaptados a vivir en medios acuáticos desde los antepasados Zenúes; lo vuelve una construcción sostenible económicamente, culturalmente y socialmente. De esta forma los habitantes pueden permanecer en sus territorios, sin verse forzados a migrar a otros municipios para acceder a servicios básicos como la educación; fomentando y fortaleciendo un sentido de pertenencia y arraigo, de cohesión social e identidad cultural.

1.4 Hipótesis.

La presente investigación propone que el diseño e implementación de un prototipo de aula flotante en la región de la Mojana contribuirá de manera significativa a resolver el déficit de infraestructura educativa en áreas afectadas por inundaciones, cubriendo al menos un 30% de la carencia actual en dicha región. Este prototipo arquitectónico, concebido específicamente para adaptarse a las características geográficas y ambientales de zonas pantanosas y periódicamente inundables, responderá a la necesidad urgente de una infraestructura educativa

resiliente y adaptable que permita el desarrollo continuo de las actividades académicas, minimizando las interrupciones causadas por fenómenos naturales recurrentes.

Además, se plantea que el aula flotante, al emplear un diseño que se ajusta dinámicamente al nivel del agua, representa una solución sostenible que se integra de forma respetuosa y armónica con el ecosistema. Esta infraestructura flotante se elevará o descenderá junto con el agua, permitiendo el uso del entorno natural sin requerir modificaciones invasivas en el terreno y evitando el impacto ambiental de estructuras rígidas en áreas de biodiversidad crítica. Así, el proyecto fomenta la preservación del medio ambiente mientras cumple con los requisitos funcionales y de seguridad para una infraestructura educativa confiable y duradera.

La implementación de este tipo de aula tiene el potencial de establecer un nuevo paradigma en el diseño de espacios educativos en regiones con riesgos ambientales. Su éxito en la Mojana puede inspirar y motivar la adopción de modelos arquitectónicos flotantes en otras áreas afectadas por inundaciones, promoviendo un enfoque resiliente y sostenible en la infraestructura pública. De este modo, se espera que el prototipo no solo contribuya a mejorar el acceso a la educación, sino que también abra nuevas oportunidades para la expansión de infraestructuras adaptativas en contextos geográficos similares, sentando las bases para un desarrollo arquitectónico que respete y coexista con el ecosistema. En última instancia, esta iniciativa tiene como objetivo demostrar que es posible construir un futuro educativo seguro, accesible y respetuoso con el medio ambiente para las comunidades en condiciones vulnerables. Además, al tratarse de una estructura flotante, el prototipo se integrará de manera armónica con el ecosistema circundante, evitando la necesidad de modificaciones invasivas en

el terreno y permitiendo una convivencia respetuosa con el entorno natural. Esta solución fomentará el uso de diseños arquitectónicos que promuevan la sostenibilidad y la resiliencia, siendo un modelo que pueda replicarse en otras zonas afectadas por condiciones ambientales similares. Se espera que, al demostrar su efectividad en mejorar el acceso a la educación y en respetar el ecosistema, este proyecto inspire y motive futuras inversiones en infraestructuras educativas flotantes, promoviendo una expansión en su implementación a nivel regional.

CAPÍTULO II: Marcos de referencia

2.1 Estado del arte.

Actualmente la arquitectura flotante es una opción bastante interesante y versátil frente a la forma de habitar territorios inundables, por lo tanto, resiliente a fenómenos naturales posibles como inundaciones, tormentas, vientos fuertes a los que está expuesta predominantemente la región caribe; de manera que, son edificios que se adaptan al agua y por estar a la merced el “mismo” subirá o bajará a la par junto con el nivel del agua; a lo que se le denomina como construcciones anfibias.

Este tipo de arquitectura ha venido intensificándose últimamente en numerosos proyectos de vivienda y un poco menos o nada para equipamientos y/o aulas educativas; dichos proyectos se han desarrollado en contextos de ciudades costeras como ocurre en los Países Bajos con unidades de viviendas flotantes sobre las costas, creando barrios como IJburg y Schoonschip, además de promover nuevas formas y paradigmas de habitar el espacio en estos contextos geográficos específicos.

Figura 4

Barrio de IJburg y Schoonschip en Ámsterdam



Nota. En la imagen se evidencia otra forma de habitar el espacio, viviendas unifamiliares soportadas sobre plataformas de concreto aligerado. Tomado de https://viajes.nationalgeographic.com/es/lifestyle/schoonschip-barrio-flotante-que-sintetiza-futuro-amsterdam-y-planeta_16375 y <https://www.archdaily.co/co/02-80604/casas-flotantes-en-ijburg-architectenbureau-marlies-rohmer>.

Por otro lado en lo que compete, se han realizado proyectos de carácter educativo como por ejemplo la escuela flotante en Makoko desarrollada por NLÉ Architects solucionando un problema de tierras aprovechando los entes fluviales de la ciudad de Lagos en Nigeria, además de la capacidad de escolarización a unos cien niños; o en un contexto más local en el departamento del Cesar, municipio de Chimichagua dos estudiantes de la Universidad Eafit en Medellín diseñaron una solución a la interrupción de las actividades académicas a causa de las inundaciones por medio de tres aulas flotantes.

Siendo construcciones hechas con materiales prefabricados, económicos y de fácil montaje en relación con otro tipo de construcciones convencionales, además de utilizar sistemas de captación de energía por medio de paneles solares y/o sistema de recolección de aguas lluvia que los catalogan como proyectos sostenibles con el medio ambiente.

2.2 Marco Teórico.

Flexibilidad en la arquitectura

La flexibilidad principalmente se asocia a términos como movilidad, transformación, portabilidad, interactividad, adaptabilidad, transportar, expandir, contraer, responder, reflejar, autoconstruir, modular, desmontable, flotar, volar, rodar. Sin embargo, este concepto se aplica desde hace mucho tiempo por culturas nómadas como los beduinos que armaban “tiendas” en su movilización por el desierto, Los mongoles y la “Yurta” como un tipo de vivienda en su transcurrir por las estepas, los Inuit en el polo norte que construían “Iglúes” para soportar las fuertes tormentas, las tribus indígenas norteamericanas que habitaban en los “Tipi” que son una carpa cónica protegida por pieles, así mismo los pueblos rom y sus desplazamientos en los “carromatos” una especie de carros vivienda.

Tiempo después en la modernidad, colectivos y teóricos aplicaron estos conceptos de la flexibilidad en sus obras como Buckminster Fuller, Archigram, Yona Friedman, los Metabolistas, Chuck Hoberman, Coop Himmelblau, Jean Prouve, etc. Los autores anteriormente mencionados cambiaron los paradigmas de la arquitectura como un elemento “estático”, en cambio llevaron el concepto de la construcción tradicional a una nueva etapa o proyección de ver la arquitectura; en algunos casos algo utópicos estos proyectos quedaron en teorías o proyecciones, pero que sin ninguna duda fueron precursores y permitieron abrir esta puerta de exploración a una nueva concepción arquitectónica para los futuros neófitos quienes ahondaran más en este campo aún por indagar.

Prueba de lo anterior fue la rama de la arquitectura itinerante o emergente caracterizada por su efimeridad en el tiempo, versatilidad constructiva, capacidad portable y/o transportable; también el término denominado Open build acuñado al arquitecto Neerlandés N. John Habraken, donde se establece la necesidad de cambio y/o adaptación del edificio durante su ciclo de vida frente a las nuevas necesidades sociales o tecnológicas del usuario.

Robert Kronenburg (2007) en su libro Flexible: arquitectura que responde al cambio, condensa todos estos conceptos que giran alrededor de la flexibilidad en cuatro (4) lineamientos o categorías como adaptar, transformar, desplazar e interactuar. Donde básicamente la adaptación se refiere a la capacidad de poder responder a varios usos y necesidades específicas de usuarios; en cuanto a la transformación que se define como aquel que puede cambiar su configuración de volumen, forma, revestimiento, o cualquier alteración importante; en tercer lugar está el concepto de desplazar ya sea posible por los mismos medios del objeto arquitectónico, que sea portable o a través de su estructura con elementos desmontables o modulares que permitan su facilidad de transporte; ya como último término esta interactuar como la categoría que permite al usuario generar un vínculo cercano con el objeto arquitectónico por medio de la tecnología que permita tener un estímulo y que lleve al confort como fin, lo que se conoce como la domótica.

Otra definición de la arquitectura flexible, ilustrada por Bubner (1979) como aquella que se adapta a diferentes necesidades humanas y poseen características concernientes a la conformidad, planificación de período útil, amplitud y movilidad.

El uso de la flexibilidad en la arquitectura tiene muchas ventajas frente a la arquitectura convencional, tal es el caso que resulta ser más económica puesto que su construcción es mucho más rápida y requiere menos personal; además del poco desperdicio en comparación con otros sistemas constructivos. Otro factor a resaltar es que el ciclo de vida de la construcción puede ser replanteada o reevaluada, lo que permite su reciclaje para otros usos e industrias; de igual manera su ligereza permite el fácil transporte.

Prefabricación en la arquitectura

Gracias a la industrialización y los potenciales cambios que trajo consigo, además por medio de las exposiciones universales y la “Gran exposición de los trabajos de la industria de todas las naciones” celebrada en 1851; dejó como importante muestra el inicio de la prefabricación en la arquitectura con el “Crystal Palace” de Joseph Paxton, siendo entonces su cualidad primordial la estandarización y ensamblaje de elementos, la coordinación dimensional y la sistematización del proceso de montaje; por ende lograr construir un edificio de más de 90.000 m² en cuatro (4) meses. Otros referentes notables fue la conocida “Torre Eiffel” y la “Galerie des Machines” cuya estructura metálica cubre una luz de 107m mediante un arco triarticulado de aproximadamente 40m de altura.

Por lo tanto, su marcada trascendencia en la arquitectura puesto que trae múltiples beneficios como la masificación de la construcción, la reducción de costos y mano de obra por simplificar los procesos en una fábrica, reducción de tiempo de construcción al ser elementos previamente trabajados, además de la exploración de nuevos materiales y posibilidad de construir con nacientes sistemas constructivos. Estos sistemas son muy utilizados por su

flexibilidad, rapidez y facilidad de ensamblaje y a través de la metodología BIM permite la contabilización precisa de los materiales, su posterior estudio y relación de sus componentes antes de ser contruidos, lo que permite reducir los posibles problemas in-situ.

La prefabricación es posible categorizarla por grados, según Lumainsky (2014) el primer grado es un elemento cualquiera, el segundo es un componente que a su vez se integra por elementos; en tercer grado están los paneles, que integrados de varios componentes conforman el sándwich como por ejemplo el SIP, MHM, KLH, Steel frame; ya por último es el cuarto grado que es un módulo tridimensional conformado por varios componentes que juntos crean un elemento acabado como por ejemplo los contenedores.

Figura 5

Características a tener en cuenta en los sistemas prefabricados de construcción.



Nota. Elaboración propia.

En la imagen cinco (5) se evidencia las variables a tener en cuenta al momento de construir en algún sistema prefabricado. En consecuencia la prefabricación es un proceso descrito por Smith (2010) que pasa a través de la industrialización al ser consciente de la virtud de las máquinas, enseguida pasa por una estandarización donde de establecen parámetros de producción; luego se lleva a una mecanización para llevar el producto a una economía de escala para posteriormente realizar una producción masiva que tiene como fin producir la mayor cantidad de productos bajando así el costo unitario y cubriendo las necesidades. Por último, se encuentra la automatización mediante las maquinas digitales CNC y los programas CAD – CAM

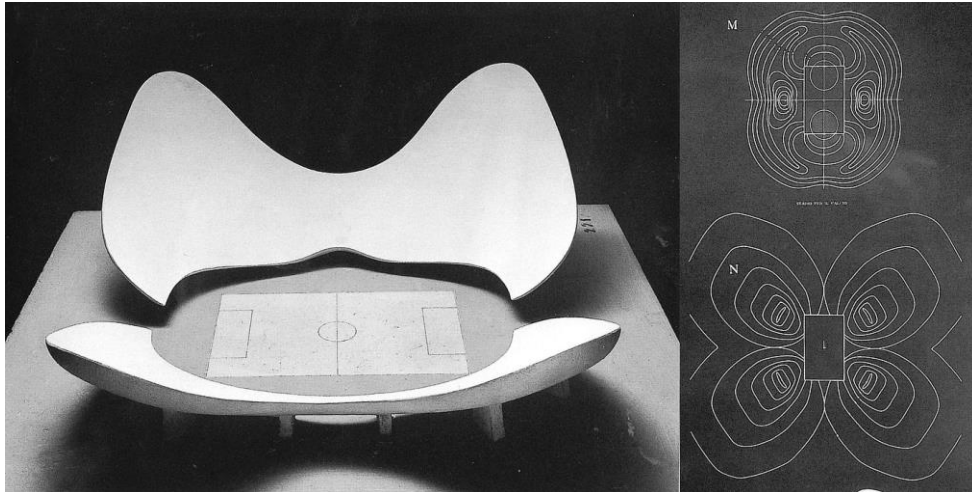
y BIM, para llegar a la personalización en masa donde se maximizan los beneficios de la automatización y la producción masiva para llegar a una economía de alto alcance.

Diseño paramétrico

Con la llegada de la era digital y lo que hoy se reconoce como la cuarta revolución industrial o la industria 4.0, concepto acogido por Klaus Schwab en el contexto del foro económico mundial 2016. el diseño paramétrico y su potencial industrial aplicable a distintas escalas como el diseño naval, diseño de joyería, diseño industrial, diseño de mobiliario, arquitectura y urbanismo. Este nuevo paradigma de diseño y concepto fue acuñado por el arquitecto Luigi Moretti en la XII Trienal de Milán en la muestra denominada “Exhibition of parametric architecture and of mathematical and applied research in town planning” realizada en 1960 (*ver figura 5*), donde Moretti explica las lógicas matemáticas como una importante estrategia en los procesos de diseño arquitectónico.

Figura 6

Exposición maqueta de diseño para un estadio.



Nota. Parametric architecture and of mathematical and operational research in town-planning. 12th. Triennial exhibition, Milan, Arts' Palace, september–october 1960. Tomado de <https://lucianoambrosini.medium.com/flexible-design-and-scripting-part-1-2bb39a5bde07>.

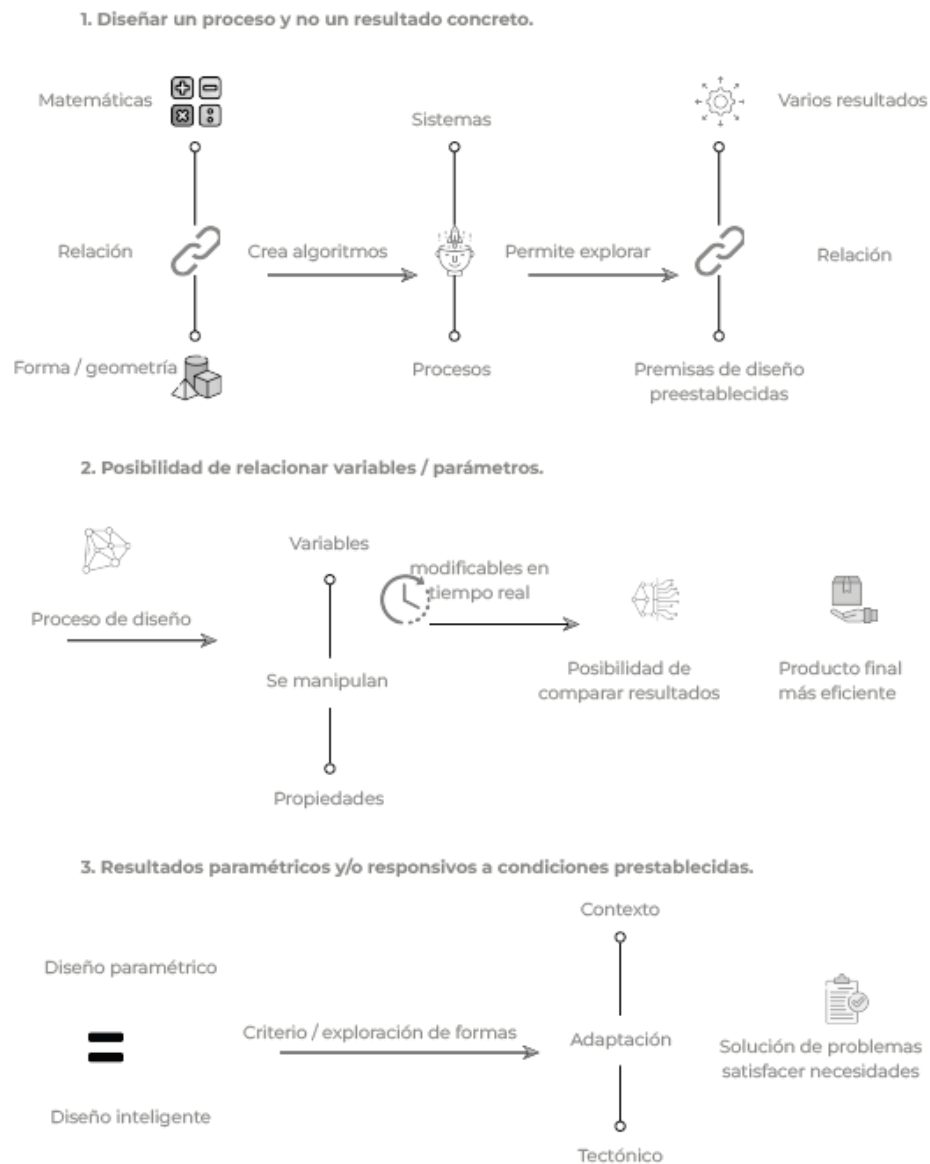
Con la aparición de las nuevas tecnologías y software a partir de 1980 con programas de modelamiento como el “Building information modeling” (BIM), como CATIA (1977), Archicad (1982), Revit (1995), Digital Project (2004), Paracloud (2005), Generative Components (2005), Rhino (200) y su Plug-in Grasshopper (2007), etc. El modelamiento en estos entornos se gestiona a través de la relación de datos interrelacionados y se formaliza mediante parámetros cambiantes que afectan la totalidad del modelo. Los softwares anteriormente mencionados desarrollados por expertos informáticos que con la ayuda de herramientas de programación con algoritmos y scripting logran generar códigos para la traducción de formas complejas a un sistema geométrico y matemático coherente, es decir, lo que convierte estos softwares en un sistema de programación visual.

Una conclusión de este tema de investigación es que una estructura entre más dependa de su geometría para lograr su estabilidad y cuanto menos de su peso y rigidez del material, sus componentes podrán ser más livianos y se optimizara material. La relación entre las

matemáticas y la arquitectura siempre han estado ligadas para apoyar la formulación de sus geometrías en diferentes proyectos, aplicando familias geométricas como hiperboloides, paraboloides elípticos, paraboloides hiperbólicos – Hypar, cilindros elípticos, cilindros parabólicos, elipsoides, cúpulas o esferas geodésicas, sinusoides, planos plegados, catenarias, espirales, superficies regladas, etc.

De manera que es importante definir ¿Qué es un parámetro?, según Navarrete (2012) “es un dato que es tomado como necesario para analizar o valorar una situación, a partir del parámetro una determinada circunstancia puede entenderse o situarse en perspectiva. Para las matemáticas un parámetro es una variable que permite identificar en una familia de elementos a cada uno de ellos mediante su valor numérico, un parámetro estadístico es una función definida sobre los valores numéricos de una población. Se trata por lo tanto de un valor representativo que permite modelizar la realidad” (p. 3). Otra definición en este caso de los requisitos de un patrón según Coplien (1998) es que debe solucionar un problema, y propone soluciones probadas donde se parte de principios básicos; donde los patrones describen una relación como sistemas o estructuras y recurren al confort humano satisfaciendo la estética y la utilidad.

En las ciencias de la computación un parámetro es una variable que puede ser recibida por una rutina o subrutina que utiliza valores asignados a un parámetro para modificar su comportamiento en el tiempo de ejecución, en consecuencia, un diseño automático relacionado con conceptos de crecimiento y estructuras evolutivas, lo que abre infinitas posibilidades de diseño.

Figura 7*Objetivos en el proceso de diseño paramétrico.*

Nota. Proceso de diseño del equipo de arquitectura y exploración de diseño paramétrico y generativo Chido

Studio. Adaptado de “Diseño paramétrico: el gran desafío del siglo XXI” recuperado de

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-35232014000300005&script=sci_arttext.

2.3 Marco Normativo.

El departamento nacional de planeación (DNP) dentro del marco del Plan nacional de infraestructura educativa (PNIE), establece las prioridades del sector educación en el “Plan nacional de desarrollo 2014 – 2018”, donde se declara de importancia estratégica en el documento COMPES 3831, en el cual se especifica cubrir el 60% del déficit de infraestructura educativa, es decir, 51.134 aulas y la estipula como meta al (PNIE) 2018. Del mismo modo se cuantifica el número de aulas a construir departamento y municipio.

Figura 8

Financiación del proyecto de construcción de aulas.



Nota. Elaboración propia.

En consecuencia, ya en la parte del diseño de las aulas educativas se proyecta con base en la norma técnica colombiana NTC 4595, la cual clasifica los diferentes ambientes pedagógicos requeridos por una infraestructura educativa; sin embargo, esta investigación únicamente va ir

centrada en los ambientes tipo (A), los cuales son aulas educativas respectivamente. En la siguiente tabla se caracteriza el ambiente escolar tipo (A), no obstante, se muestran los tipos de aulas y requerimientos de acuerdo al tipo usuario.

Tabla 1

Áreas para ambientes tipo A

Ambiente	Número de alumnos/maestro	Área (m ² /alumno)
Prejardín (3-4 años)	15	2.00
Jardín (4-5 años)	20	2.00
Transición (5-6 años)	30	2.00
Básica y Media (6-16 años)	40	1.65 – 1.80
Especial (opcional)	12	1.85

De la tabla anterior se deduce que para un aula de prejardín se necesita un área de (30m²), para un aula de jardín (40m²), para un aula de transición (60m²), para un aula de básica y media (72m²) y por último para un aula especial (22.2m²); siendo las áreas anteriormente mencionadas como las mínimas. Las áreas incluyen el área de trabajo y deposito correspondiente al (10%), mesas y sillas independientes, área para un tablero y monitor, un área para el escritorio del tutor y un área para un computador, basándose en la NTC 4641. Por lo tanto, para un aula preescolar este espacio es de (3m²), para jardín es de (4m²), para transición es de (6m²), para básica y media es de (7.2m²), y para un ambiente especial es de (2.22m²). Para los ambientes de preescolar, jardín y transición se recomienda un área libre para ocio o actividades no mayor a la mitad del área máxima del ambiente, es decir, que en el orden correspondiente será de (15m²), (20m²), y (30m²).

Para los ambientes sanitarios se deben calcular según los aparatos (sanitario/orinal y lavabo), de tal manera que se recomienda instalar aparatos sanitarios de bajo consumo según la NTC 920-1. Para preescolar, jardín y transición el uso de baños puede ser mixto y a una distancia no mayor de (20m) del puesto más lejano, sin embargo, para básica y media se deben aplicar baterías de baños y vestidores independientes y ubicados a una distancia no mayor a (50m) del puesto más lejano. Se requiere una ducha por cada (30) estudiantes respectivamente.

2.4 Marco Referencial

Para la elección de los referentes se tuvo en cuenta unos aspectos que se nombraran a continuación, que generan una correlación con la investigación ya que son guías del camino a seguir en este campo de exploración en la arquitectura.

Escuela flotante en Makoko

Este prototipo de aula diseñado por la oficina NLÉ Architects para la región de Lagos en Nigeria resolvió problemas por la escasez de suelo. Esta escuela de (220m²) y con (10m) de alto llevo cobertura de educación a estas poblaciones vulnerables gracias a su estructura flotante y su facilidad de transportarse por los cuerpos de agua; brindando un vínculo entre el ecosistema, el usuario y el objeto arquitectónico.

Dentro de sus puntos fuertes esta la utilización de materiales locales y reciclados lo que reduce el costo, gestión, montaje, etc. En acto seguido también está la polifuncionalidad del espacio ofreciendo tres plantas; siendo la primera como espacio de reunión o patio de juegos, la segunda como aula de clase en volumen cerrado y ya como tercera planta un aula al aire

libre. Por último, en la parte sostenible este proyecto se abastece energéticamente de paneles fotovoltaicos, recicla residuos orgánicos y tiene un sistema de recolección de aguas lluvias.

En conclusión, este proyecto como parte conceptual de un espacio arquitectónico flotante de uso educativo es un referente totalmente importante para la propuesta de investigación, puesto que convergen puntos en común como la adaptación de la arquitectura en riberas o lugares acuáticos, la capacidad de moverse de lugar; de la misma manera su respuesta funcional brindando socialmente un aporte significativo.

Aulas flotantes en Sempegua

Se trata de un proyecto de aulas flotantes impulsado por unos estudiantes y financiado por la Universidad EAFIT de Antioquía, la unidad nacional para la gestión del riesgo (UNGRD) y la Unión Europea dentro del programa de las Naciones unidas para el desarrollo. Con la idea de proyectar soluciones habitacionales y/o espaciales flotantes para zonas con alto riesgo de inundación; fue construido en el año (2014) para unos (60) niños de la institución nuestra señora del Carmen; y ubicadas en Chimichagua (Cesar) junto a la ciénaga Zapatosa.

En cuanto al prototipo es una construcción convencional con estructura metálica y materiales prefabricados apoyados sobre una plataforma flotante, la cual es una losa aligerada en concreto. Además de contar con sistemas autosostenibles como un sistema de recolección de aguas lluvias y pozos sépticos integrados a la estructura flotante.

En conclusión, de este proyecto es relevante resaltar que en Colombia ya se ha visto cierto desarrollo y apoyo a la investigación sobre la posibilidad de una buena calidad de vida en

términos holísticos en territorios inundables; por lo tanto, es una estrategia que esta investigación también seguirá y ahondará como alternativa y respuesta de estos territorios al cambio climático, y como referente a instrumentos de planificación adecuados para estos territorios.

El Biblioburro

La historia de dos burros que en sus lomos llevan docenas de libros apilados, movilizándose así por los distintos corregimientos del departamento de Magdalena a donde no ha intervenido el estado ni el privado; de manera que esa baja cobertura institucional deriva en estas ideas de personas que como el profesor Luis Soriano trabajan para la escolarización y la lucha contra el analfabetismo.

En conclusión, la importancia de este proyecto a la investigación es su aporte al concepto de “móvil” y “transportable”; así como también la cobertura, la accesibilidad y asequibilidad que brinda en estos territorios olvidados, veredas y corregimientos donde no llega la cobertura educativa; permitiendo a estos jóvenes una mejora en su calidad de educación.

CAPÍTULO III: Metodología

1. Identificación y Descripción de la Problemática

En esta fase, se realiza un diagnóstico profundo de la situación actual en la región de la Mojana, donde se evidencia un déficit significativo en la infraestructura educativa, exacerbado por la vulnerabilidad a fenómenos naturales como inundaciones. Se recopilan datos a través de

investigaciones de campo, encuestas y entrevistas con la comunidad, docentes y estudiantes. Esto permite tener una visión clara de las necesidades, preocupaciones y aspiraciones de la población afectada, así como entender cómo estas problemáticas afectan el acceso a la educación de calidad.

2. Análisis de Variables y Contexto

Esta etapa implica un estudio detallado de las variables que influyen en el diseño del módulo. Se consideran factores como:

Geográficos: Características del terreno, niveles de inundación, clima y ecosistemas locales.

Socioeconómicos: Nivel de ingresos, acceso a servicios básicos, composición demográfica y cultural de la comunidad.

Educativos: Necesidades pedagógicas, cantidad y distribución de estudiantes, calidad de la educación y recursos disponibles.

El análisis se realiza mediante herramientas como mapas, gráficos y matrices de análisis, que facilitan la visualización de relaciones entre variables y la identificación de prioridades para el diseño.

3. Exploración de Opciones de Diseño

Una vez analizadas las variables, se procede a explorar diversas alternativas de diseño para el módulo educativo. Esta fase puede incluir:

Investigación de precedentes: Estudio de casos similares de aulas flotantes y adaptativas en otras regiones y países, analizando sus enfoques, resultados y lecciones aprendidas.

Generación de ideas: Talleres creativos con arquitectos, ingenieros y miembros de la comunidad para idear soluciones innovadoras que respondan a las necesidades identificadas.

Evaluación de viabilidad: Consideración de aspectos técnicos, económicos y funcionales de las diferentes propuestas para determinar cuáles son las más adecuadas para el contexto específico de la Mojana.

4. Proyección de la Solución

En esta fase se elabora un diseño detallado del módulo educativo. Este diseño debe ser holístico e integrador, contemplando aspectos arquitectónicos, funcionales y estéticos, así como la sostenibilidad ambiental. La proyección se realiza a través de:

Modelado tridimensional: Creación de maquetas físicas o digitales que permitan visualizar el diseño y realizar ajustes según sea necesario.

Especificaciones técnicas: Documentación de los materiales, sistemas constructivos y tecnologías a utilizar, asegurando que sean adecuados para las condiciones del entorno y las necesidades educativas.

Planificación de implementación: Desarrollo de un cronograma y presupuesto estimado para la construcción y puesta en marcha del módulo.

5. Validación y Retroalimentación

Antes de la ejecución del proyecto, es crucial presentar el diseño a la comunidad y a los actores involucrados (autoridades educativas, ONG, etc.) para recibir retroalimentación. Esta validación garantiza que el proyecto esté alineado con las expectativas y necesidades de la

comunidad. Se pueden realizar ajustes basados en las opiniones recibidas, asegurando así un mayor grado de aceptación y compromiso con el proyecto.

6. Implementación y Monitoreo

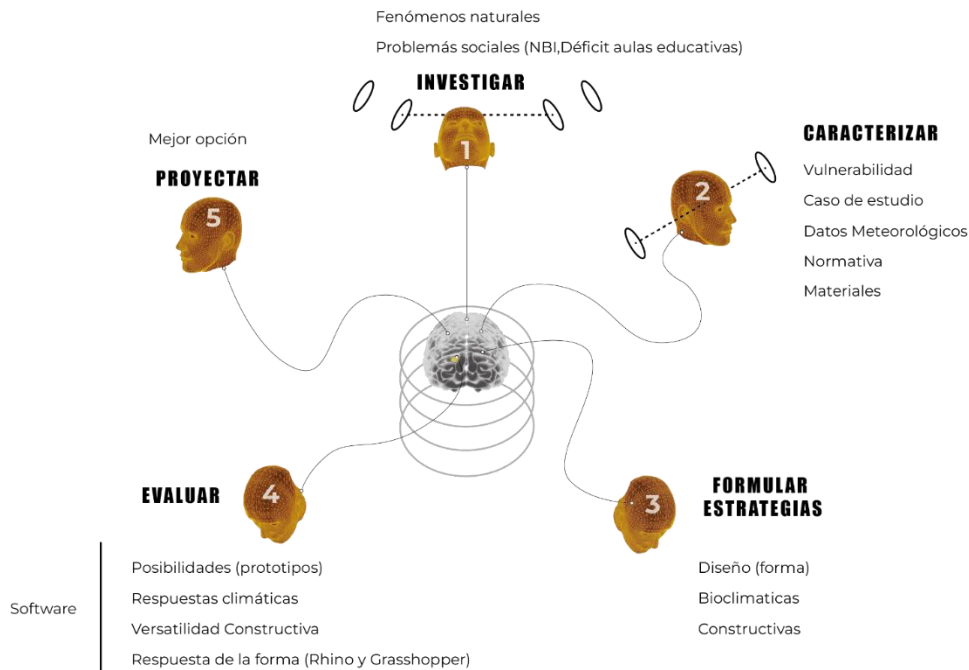
Una vez validada la propuesta, se procede a la construcción del módulo educativo. Durante esta fase, se establece un sistema de monitoreo que permita evaluar la calidad de la construcción y la funcionalidad del espacio, asegurando que cumpla con los estándares de seguridad y confort necesarios para el aprendizaje. Además, se considera la capacitación de la comunidad para la operación y mantenimiento de la infraestructura.

7. Evaluación de Impacto

Finalmente, después de la implementación, se lleva a cabo una evaluación del impacto del módulo en la comunidad y en el ámbito educativo. Se analizan indicadores como la asistencia escolar, el rendimiento académico y la satisfacción de los estudiantes y docentes. Esta evaluación no solo medirá el éxito del proyecto, sino que también proporcionará información valiosa para futuros proyectos y mejoras en la infraestructura educativa.

Figura 9

Estructura metodológica.



Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: Primer objetivo: Caracterizar las distintas variables

4.1 Casos de estudio.

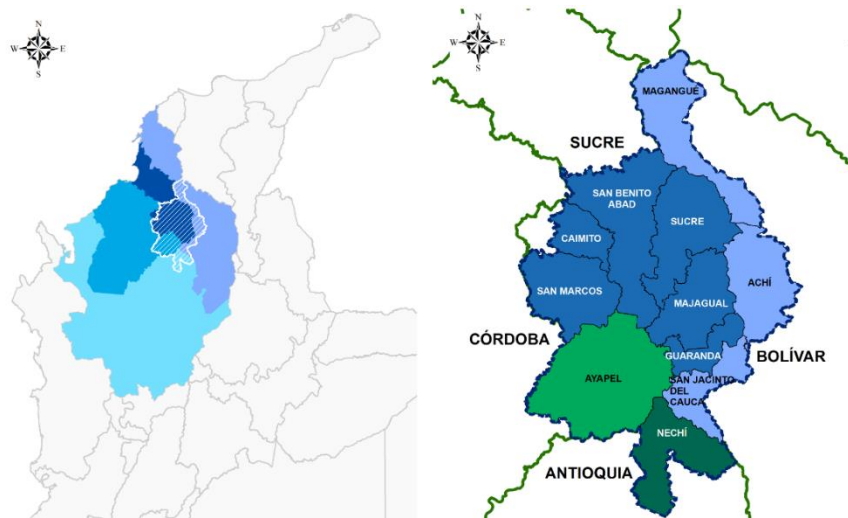
La Mojana es una subregión perteneciente a la Depresión Momposina que se caracteriza por ser un sistema hídrico conformado por ríos, ciénagas, caños ubicados en una vasta planicie que aparte de regular el caudal de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge; también decantan y acumulan los sedimentos debido a la erosión del suelo a causa de las corrientes de los mismos; formando así un delta aluvial importantísimo en el equilibrio ambiental de la región Caribe.

La zona de estudio es la Región de La Mojana, cuyo territorio comprende once (11) municipios de los departamentos de Bolívar, Córdoba y Sucre. Caracterizada por ser un ecosistema de humedales conectados a los caños y los ríos; creando así una red hídrica en una

basta planicie que es periódicamente inundable a causa del cambio climático y el desbordamiento de los caudales de los ríos Cauca, Magdalena y San Jorge.

Figura 10

Localización de la región de La Mojana



Nota. recuperado de <https://mojanaclimayvida.org/donde-trabajamos/>

De manera que podría preguntarse ¿Por qué la elección de esta región?, a lo que se puede responder que es una región de alto riesgo por inundación; además de ser un territorio con una serie de características homogéneas en cuanto al clima, la topografía, el usuario y modelo económico; por lo tanto, que las condiciones anteriormente mencionadas son cruciales a la hora de diseñar un proyecto y sobre todo el de un prototipo que pueda ser replicable y/o de prueba como alternativa a la habitabilidad en estos ecosistemas.

4.2 Clima.

Para comenzar, en lo que se refiere al clima; esta zona se clasifica con un clima cálido

En lo que se refiere al clima; esta zona tiene una temperatura promedio de 28°C y una humedad relativa entre el 78 – 88%. Se clasifica con un clima cálido seco en su gran mayoría exceptuando algunas ciudades con clima cálido húmedo; siendo el clima “cálido seco” con muchas horas expuestas a radiación, con exceso de calor, un aire seco prolongado y un gran contraste entre la temperatura diurna – nocturna. Según Camacol (2015) el clima cálido seco y cálido húmedo se establece en una temperatura mayor que 24°C; sin embargo, la humedad relativa estipulada es menor a 75% para cálido–seco y mayor que 75% para cálido–húmedo.

Tabla 2

Clasificación climática de los casos de estudio

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALTITUD	CLIMA
Bolívar	Magangué	19	Cálido seco
	Achí	25	Cálido húmedo
	San Jacinto del Cauca	237	Cálido húmedo
Sucre	Guarandá	100	Cálido seco
	Majagual	25	Cálido húmedo
	San Marcos	25	Cálido seco
	Sucre	18	Cálido Húmedo
	Caimito	25	Cálido seco
	San Benito Abad	25	Cálido seco
Córdoba	Ayapel	20	Cálido húmedo
Antioquía	Nechí	30	Cálido húmedo

Nota. Adaptado de “anexo–proyecciones–población–municipal_2018–2026” recuperado de

<https://camacol.co/descargable/anexo-1-guia-de-construccion-sostenible-del-08062015-0>.

4.3 Topografía

En 2011, Corredor ha expuesto el argumento:

La topografía de la subregión de La Mojana es plana, con una cota superior hacia el sur, de cerca de 36 metros sobre el nivel del mar (msnm) y una inferior hacia el norte, de cerca de 16 msnm, formando una pendiente imperceptible en una distancia cercana a 115 kilómetros.
(p. 02)

En cuanto al suelo se compone de arcilla y limo.

4.4 Población Objetivo

En cuanto a la población, es importante identificar el número exacto de déficit de aulas educativas por municipio; así como también la caracterización de la población que en este caso son los jóvenes entre 4 a 16 años tal y como se evidencia en la siguiente tabla, para posteriormente tener definido cuantos módulos se requieren y así poder proyectar una cobertura de manera clara y precisa.

Tabla 3

Población objetivo por grupos etarios y déficit de aulas educativas

MUNICIPIO (Déficit aulas)	POBLACIÓN	NIVEL Edad	Pre-Jardín		Jardín	Transición	Básica y media									
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Zambrano (31)	Cabecera Municipal		204	208	210	209	209	208	208	206	207	205	204	204	203	202
	Centros poblados y Rural disperso		26	26	27	25	25	26	23	25	24	22	24	23	23	24
Córdoba (19)	Cabecera Municipal		69	70	70	71	70	71	70	69	69	69	68	67	67	65
	Centros poblados y Rural disperso		243	247	248	246	241	240	235	233	232	229	228	227	227	228
Cicuco (16)	Cabecera Municipal		187	190	196	197	196	198	198	198	197	196	195	190	188	183
	Centros poblados y Rural disperso		122	123	123	121	118	116	114	111	109	107	105	103	102	100
Morales (14)	Cabecera Municipal		158	158	158	156	154	151	149	146	143	141	138	137	134	133
	Centros poblados y Rural disperso		364	370	367	362	355	348	341	334	327	321	318	311	309	306
Ayapel (65)	Cabecera Municipal		490	499	512	516	521	526	530	533	537	539	538	536	533	524
	Centros poblados y Rural disperso		471	477	476	473	464	458	450	442	432	425	414	404	394	382
San Benito Abad (22)	Cabecera Municipal		89	90	92	93	94	95	96	97	98	98	98	99	98	98
	Centros poblados y Rural disperso		438	450	464	468	474	478	482	486	489	490	493	494	494	492
El Banco (84)	Cabecera Municipal		800	808	804	807	809	808	808	807	803	799	795	790	780	770
	Centros poblados y Rural disperso		612	621	639	642	644	644	645	643	640	636	632	624	620	607
San Marcos (83)	Cabecera Municipal		586	596	607	611	617	622	625	629	632	634	635	633	631	625
	Centros poblados y Rural disperso		539	551	562	567	567	567	568	568	568	565	563	559	556	550
Caimito (8)	Cabecera Municipal		53	55	58	61	63	66	69	72	74	75	77	77	78	76
	Centros poblados y Rural disperso		223	227	233	233	234	235	236	237	239	240	242	242	246	249

Nota. Adaptado de “anexo-proyecciones-población-municipal_2018–2026” recuperado de

<https://www.dane.gov.co/>

4.5 Características hidrológicas.

Como parte fundamental de la investigación es pertinente hablar de las características hidrológicas de la región; como el comportamiento del caudal, la velocidad promedio y el perfil topográfico de los ríos y caños. Para posteriormente de un análisis prever los posibles problemas que se pueden presentar como, por ejemplo, la imposibilidad del objeto arquitectónico de transportarse por esta red hídrica a causa del bajo caudal o también debido a

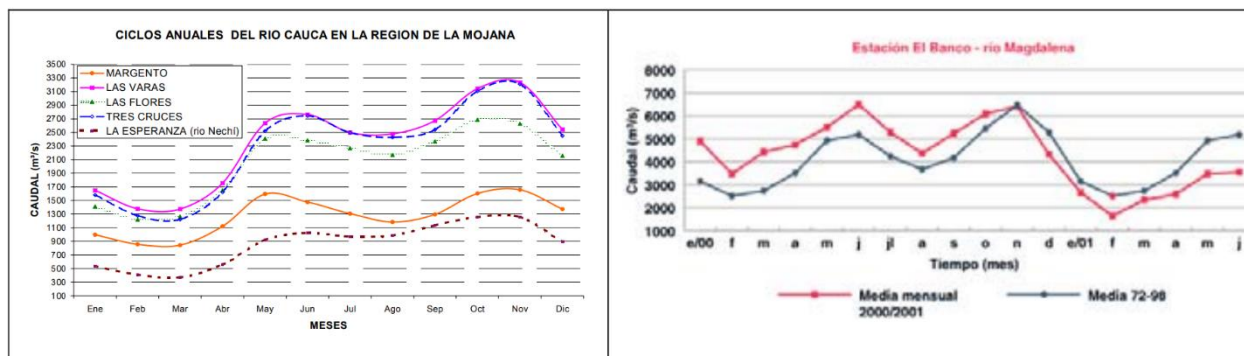
que las dimensiones del equipamiento sobrepasan el área de los cuerpos de agua; por lo tanto, impiden la navegabilidad en los mismos.

Por otra parte, la importancia de caracterizar la velocidad de los cuerpos hídricos para tener en cuenta las diferentes cargas y movimientos a los cuales será sometida la estructura flotante; y así en la parte del diseño tener la dimensión adecuada de “francobordo” que varía según la velocidad de acuerdo a la norma; además que, a la hora de una posible implantación del objeto arquitectónico en estas zonas, se responda a las determinantes de estabilidad y así poder ser funcional.

En cuanto al comportamiento del caudal cabe resaltar que según Posada y Rhenals (2006) los Ríos Cauca y Magdalena al ser cuencas que se originan a una escala mayor a la región de estudio, tienen un ciclo anual bimodal; de manera que las dos estaciones con caudales mínimos se presentan entre enero-marzo y julio-septiembre; mientras el caudal máximo se presenta en octubre-noviembre en el Cauca y noviembre en el Magdalena; en cambio en el Río San Jorge es en diciembre y posteriormente en el mes de enero comienza una recesión hasta marzo.

Figura 11

Pulso de inundación de los ríos Magdalena y Cauca. (El Banco–Magdalena y varias estaciones hidrométricas de la región de La Mojana).



Nota. recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8074>

De acuerdo con la imagen y según Posada y Rhenals (2006) en el Río Cauca, los valores de caudal en el ciclo anual pueden variar entre 500 a 1700 m³/s en los meses de enero–abril, 900 a 2700 m³/s en los meses de mayo–agosto y alcanzan valores entre 900 a 3300 m³/s en los meses de septiembre–diciembre para varias estaciones ubicadas en el área de estudio. Así mismo el Río San Jorge presenta un caudal entre los 20 m³/s a los 620 m³/s; con un caudal medio mensual multianual de 226 m³/s (IDEAM, 2018, como se citó en ANLA, 2019); además el Brazo de Loba en Bolívar tiene un caudal volumétrico promedio de 5410 m³/s (IDEACORANTIOQUIA, 2000, como se citó en MINAMBIENTE, 2002).

Ahondando en el tema se examina el caudal en algunas de las estaciones ubicadas por el DANE como: Tres Cruces en Achí que registra valores del caudal del Río Cauca; en cambio Barbosa, Sitio Nuevo y Magangué del Río Magdalena; mientras que La Raya en San Jacinto Cauca

el Río Caribona. Este estudio abarca un periodo entre 1986–2020, de manera que los resultados arrojados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4

Estadísticos básicos de las estaciones estudiadas

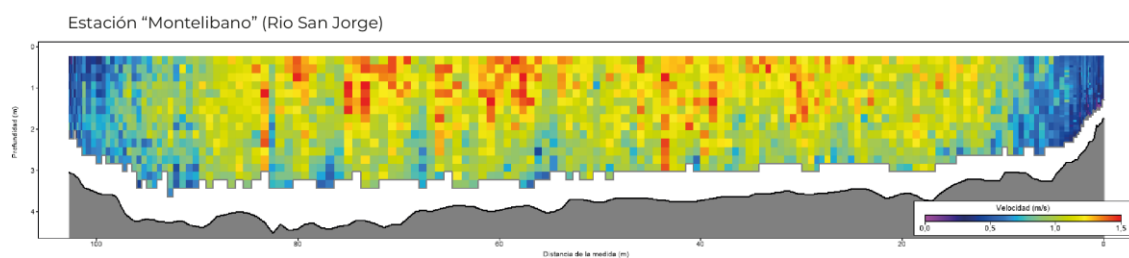
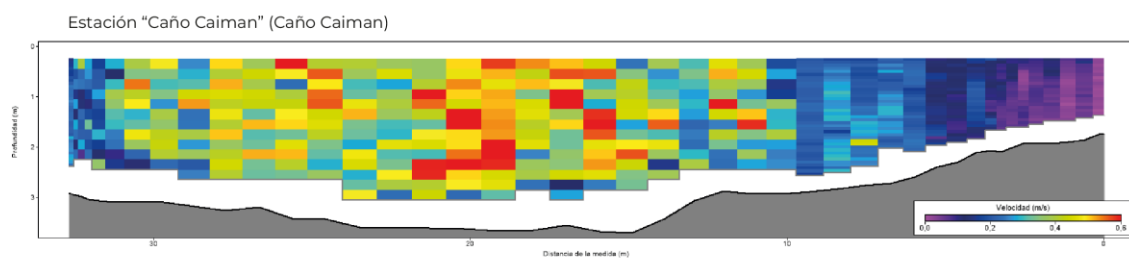
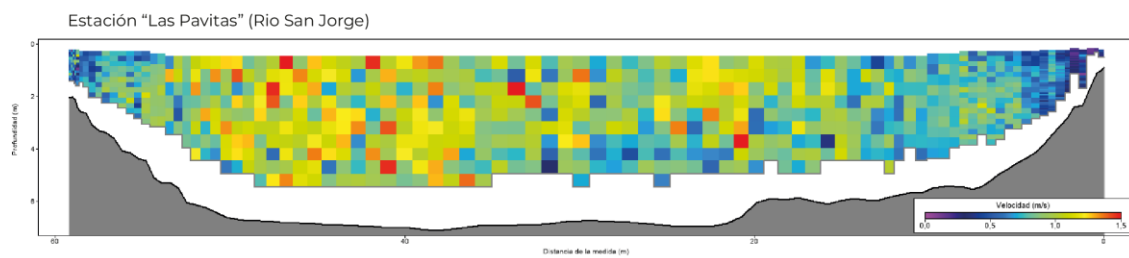
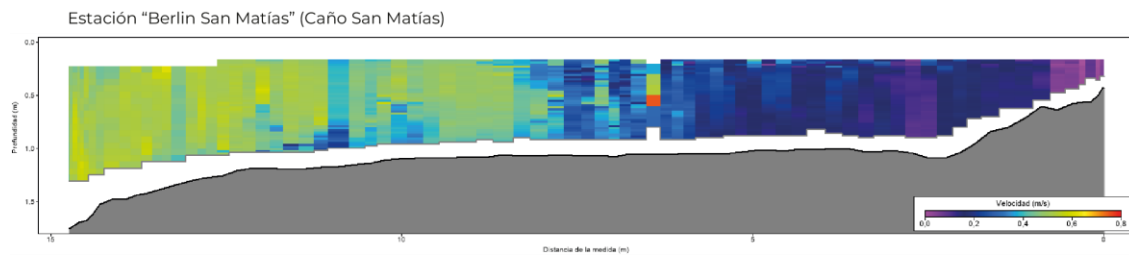
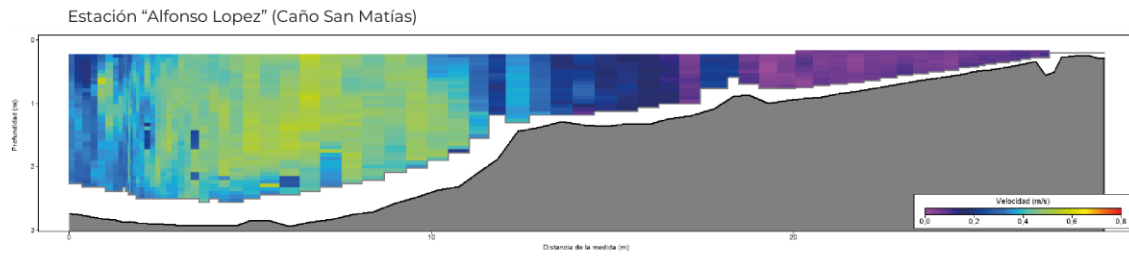
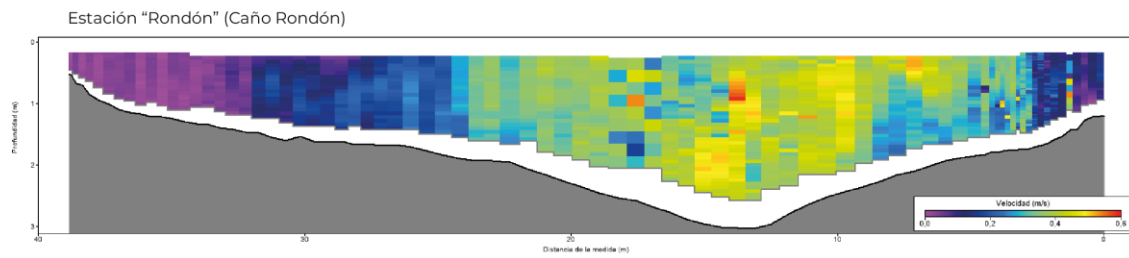
Estación	Q	Q _{max}	Q _{min}	σ	CV	Q _{max} /Q _{min}
	(m ³ s ⁻¹)	(m ³ s ⁻¹)	(m ³ s ⁻¹)	(m ³ s ⁻¹)	(%)	(m ³ s ⁻¹)
Barbosa	4551,282	7811	808,2	1317,151	28,940	9,664
Coyongal	4999,468	8322	1293	1306,090	26,124	6,436
Sitio Nuevo	4889,733	8599	724,5	1509,977	30,880	11,868
Magangué	5302,258	11127	1061	1752,670	33,055	10,487
Tres Cruces	2424,192	5261	14,22	932,956	38,485	369,978
La Raya	307,929	1036	12,6	172,535	56,030	84,365

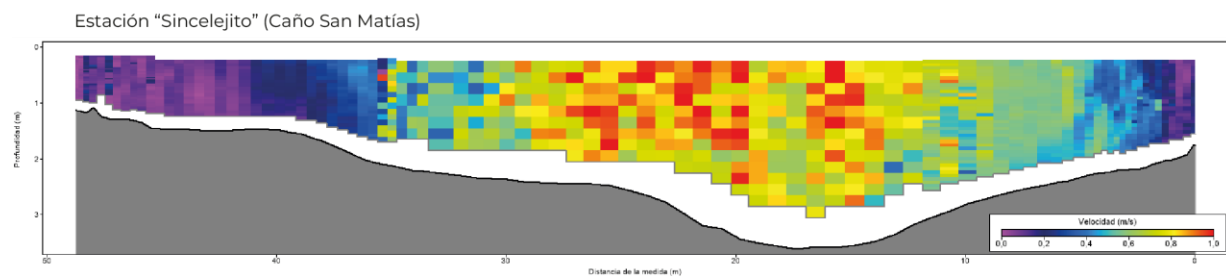
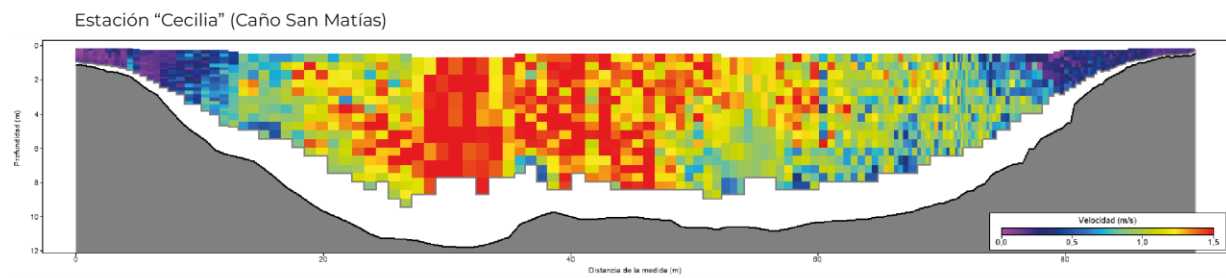
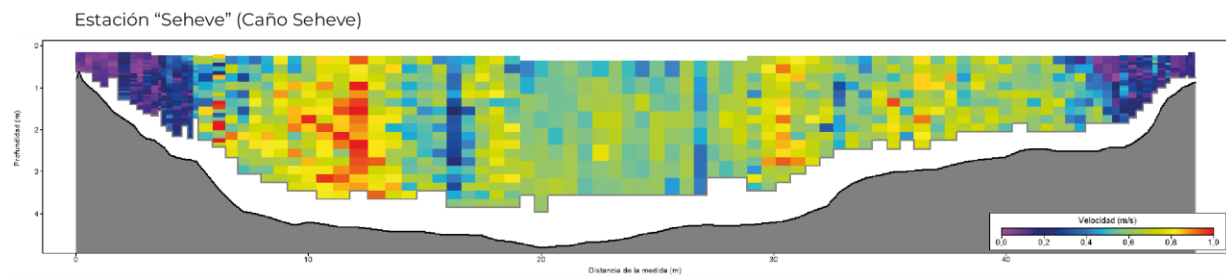
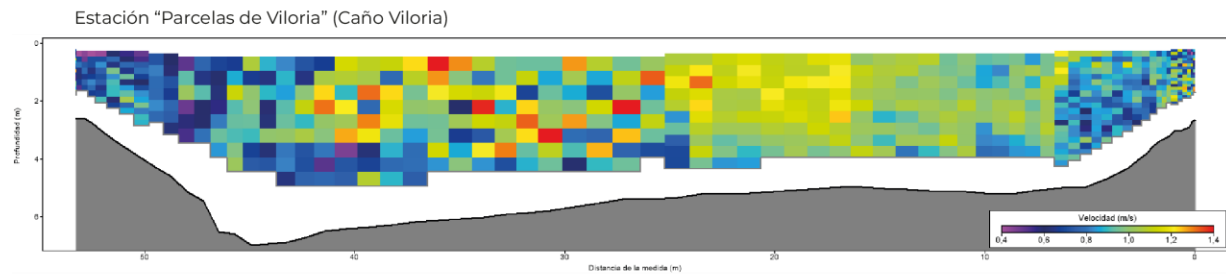
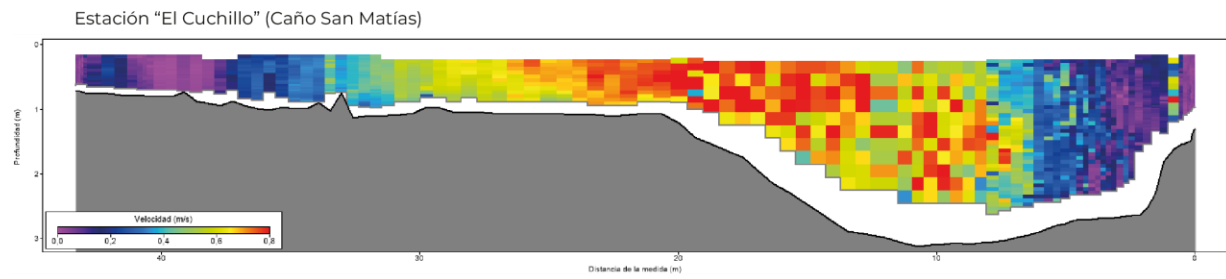
Nota. Caudal medio (Q), caudal máximo (Q_{max}), caudal mínimo (Q_{min}), desviación estándar (σ), coeficiente d variación (CV) y variabilidad (Q_{max}/Q_{min}). Recuperado de “análisis de características hidrogeomorfológicas en la subregión de La Mojana con énfasis en el departamento de Bolívar” recuperado de <http://hdl.handle.net/10584/11463>

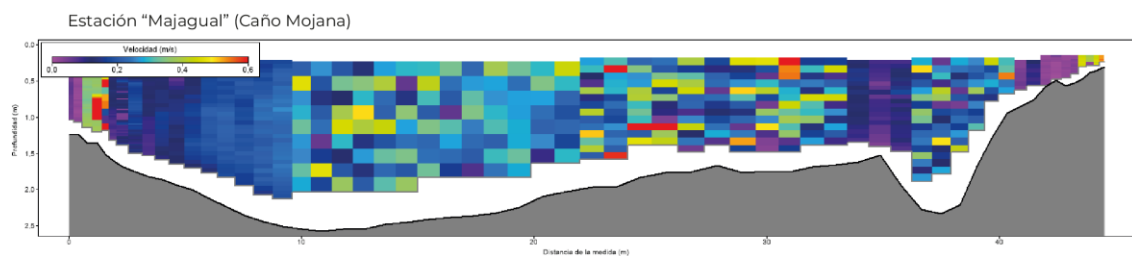
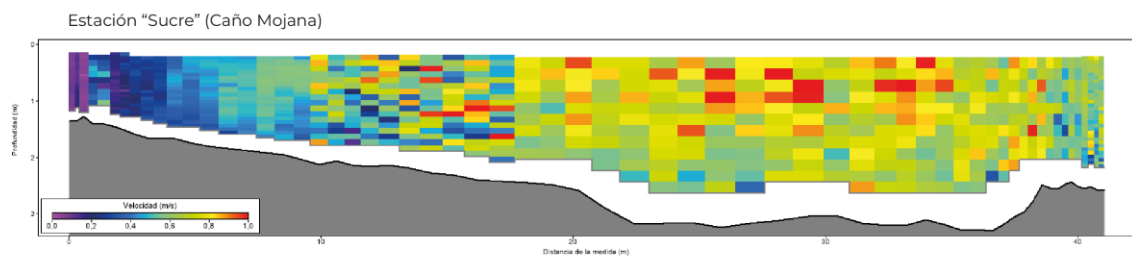
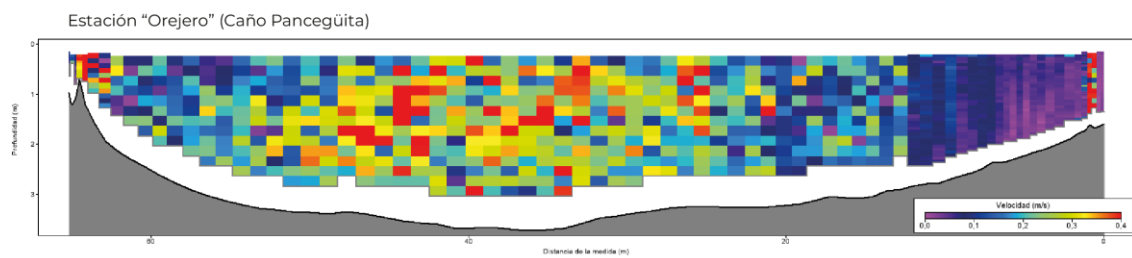
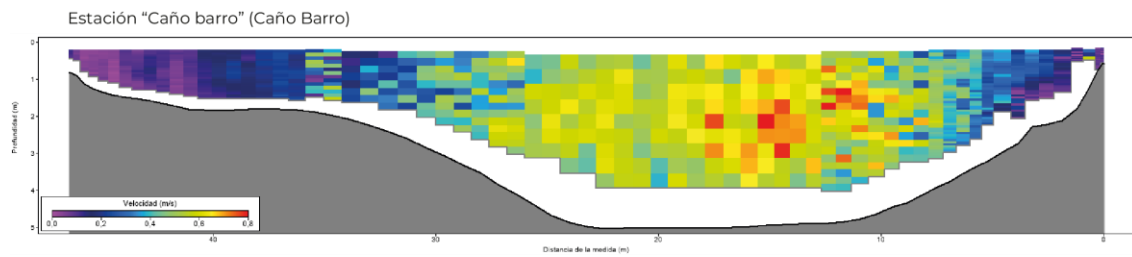
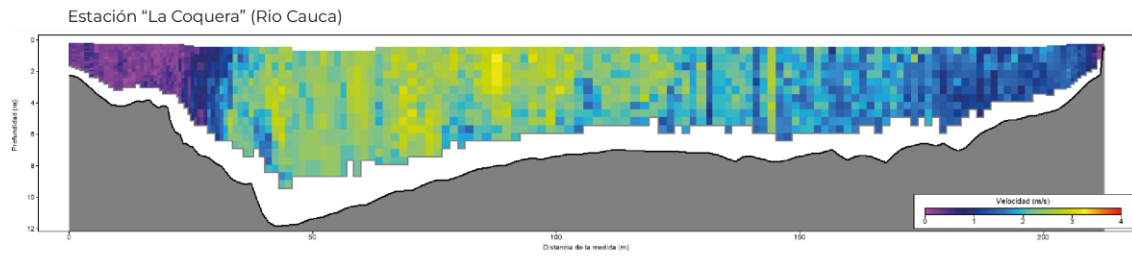
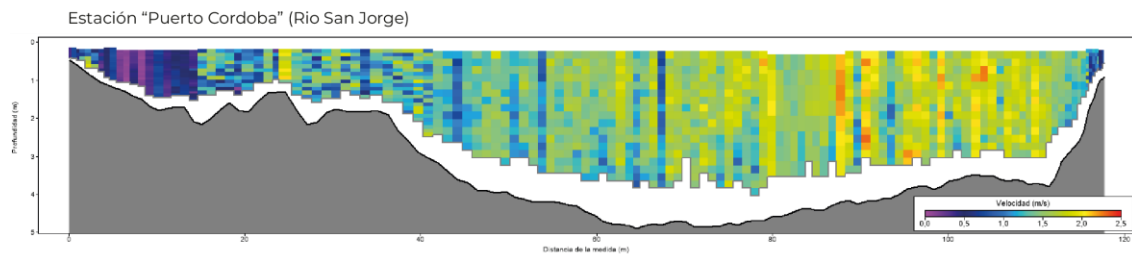
Por último, en cuanto a las velocidades estándar y las dimensiones de algunos cuerpos de agua; se realiza el perfil topográfico transversal de algunos cuerpos hídricos (caños y ríos) y la medición de la velocidad; por medio de un perfilador de corrientes acústico Doppler (ADCP), que es básicamente un equipo portátil que realiza perfiles de velocidad, batimetrías y cálculo de los caudales.

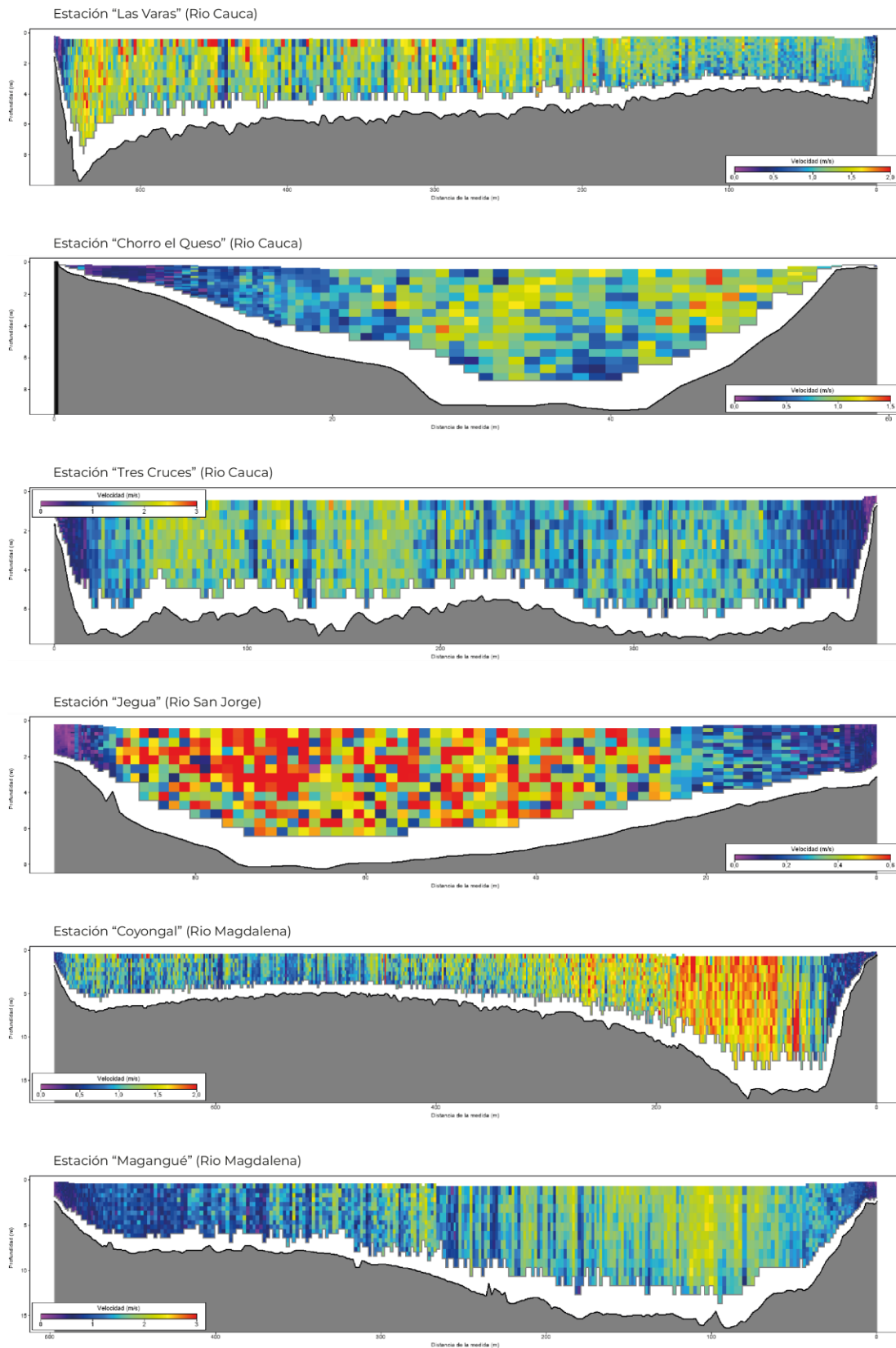
Figura 12

Perfiles topográficos de algunos caños y ríos de la Región de La Mojana.









Nota. recuperado de IDEAM.

En consecuencia, del estudio de los resultados de la velocidad de la corriente, se concluyó que la velocidad de los caños o rompederos como se les denomina técnicamente son mucho menores a la velocidad que se presenta en las corrientes sobre todo de los Ríos Cauca y Magdalena; corroborando lo anteriormente expuesto respecto a que el comportamiento estos Ríos trae consigo una memoria de los cientos de kilómetros que recorren antes de pasar por la zona de estudio; por lo tanto, su relevancia condicionante en diferentes aspectos que afectan el ecosistema.

Ahora veamos que la velocidad máxima de la corriente es de 3 m/s en el Rio Cauca, mientras que el promedio de velocidad en los caños; de manera que las aguas de los rompederos y las ciénagas mantienen una calma casi que permanente, siendo los primeros actores que surgen de los ríos para el control del exceso de agua y los segundos pues al ser un ecosistema de humedales cumplen su función dentro del ciclo del agua básicamente como áreas de almacenamiento del agua para el control del exceso de la misma.

Por lo tanto, para el tema de la implantación o ubicación del proyecto en estas zonas de caños y ciénagas prácticamente no habrá grandes cargas, fuerzas y movimientos a los cuales será sometida la estructura flotante; sin embargo, para la ubicación en las riberas/costas de los ríos si será necesario hacer el ajuste necesario en el diseño de francobordo ya que la corriente en estos tiene mayor velocidad. Cabe aclarar que lo escrito anteriormente obedece plenamente a la respuesta del objeto arquitectónico ante el agua sin tener en cuenta la ayuda de los

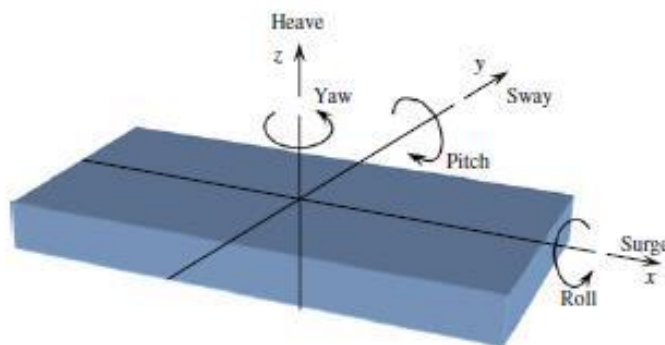
sistemas de amarre y/o anclaje; que obviamente son pertinentes y se especificara el tema en otra parte del texto.

4.6 Análisis del movimiento, estabilidad y fuerzas que afectan las estructuras flotantes.

Las estructuras flotantes son susceptibles a movimientos de traslación en el eje x (hacia delante y hacia atrás), en el eje y (de lado a lado) y en el eje z (arriba y abajo). De manera que los ejes de movimiento a los que será mayormente sometida la estructura flotante serán en el eje (X) y (Y) sobre todo en los ríos; ya que en las ciénagas son cuerpos de agua tranquilos dependiendo la implantación del objeto arquitectónico, obviamente también será sometida en el eje (Z) dependiendo el nivel del agua, pero no es determinante ya que no estará ubicada en el mar donde si afecta demasiado debido al oleaje constante.

Figura 13

Movimientos que afectan las estructuras flotantes.



Nota. recuperado de https://www.academia.edu/44265541/ELECTIVE_REPORT_FLOATING_ARCHITECTURE.

También estas estructuras serán sometidas a movimientos de rotación en torno a la longitud, la transversal y la vertical; sin embargo, para este caso no será tanta la afectación ya que el edificio estará implantado en aguas tranquilas, además de que esto se disminuirá ya que la estructura tiene una geometría en forma de elipse que responde mejor que una geometría cuadrada; y también se disminuirá con una altura respectiva de francobordo según la normativa internacional como aparece en la siguiente tabla.

Tabla 5

Requisitos de francobordo y ángulo de escora según las diferentes directrices

Tab. 1 Freeboard and heel angle requirements according to different guidelines

Title	Region	Min. freeboard, Fb	Max. heel angle	Min. residual freeboard
		[m]	[°]	[m]
Building Code for Float Homes [2]	Alaska, USA	0.36 (14")	4	1/2 Fb
Regulation of the Construction and Maintenance of Floating Homes [7]	California, USA	0.38 (15")	4	1/3 Fb
British Columbia Float Home Standard [1]	British Columbia, Canada	0.40	5	1/2 Fb
Technical Regulation on the Stability, Buoyancy, etc. of Houseboats and Floating Structures [3]	Denmark	0.50	4	1/3 Fb
Queensland Development Code. MP 3.1 Floating Buildings [4]	Queensland, Australia	0.40	–	0.25
NTA 8111 Drijvende bouwwerken [Floating constructions] [11]	Netherlands	0.00 or 0.30	4	0.00 or 0.30
AS 3962-2001 The Australian Standard: Guidelines for Design of Marinas [20]	Australia	–	15	0.05
PN-EN 14504: 2010 Inland navigation vessels – Floating landing stages and floating bridges on inland waters - Requirements, tests [17–	EC	0.03	10	–
Guidelines for Floating Platforms for Yacht Marinas [8]	Poland	0.05	6	–

Nota. recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/344437753_The_Influence_of_the_Cuboid_Float's_Parameters_on_the_Stability_of_a_Floating_Building.

Cabe resaltar que estas directrices en la imagen anterior son referencias confiables ya que son países que en comparación con Colombia llevan una amplia experiencia en cuanto a diseño de estructuras flotantes, urbanizaciones sostenibles en ecosistemas acuáticos,

normativa, métodos y planificaciones muchísimo más estudiadas para dar soluciones en respuesta al cambio climático y hábitats acuáticos.

Por otra parte, en cuanto a la estabilidad de las construcciones flotantes se evalúa si un objeto es seguro cuando este vuelve al equilibrio después de haber sido escorado por las fuerzas externas. De manera que según Karczewski y Piatek (2020) los ángulos de escora inferiores a 6° no se tienen en cuenta ya que vuelven al equilibrio, y por lo general se sitúan en aguas calmas lo que permite tener un francobordo bajo.

Según Karczewski y Piatek (2020) los ángulos de escora están relacionados con la altura metacéntrica definida por la ecuación:
$$GM = \frac{T}{2} + \frac{B^2}{12 \cdot T} - VCG$$
 donde T es el calado, B es la anchura y VCG es la altura vertical del centro de gravedad del objeto; en consecuencia, GM y la estabilidad inicial aumentarán si se aumenta la manga y bajando el centro de gravedad.

En conclusión, el aumento de peso del sistema flotante no mejora la estabilidad significativamente, pero si influye mucho en el francobordo residual; en cambio, aumentar la profundidad del sistema flotante mejora la seguridad y estabilidad; el aumento de la manga disminuye el ángulo de escora, lo que a su vez aumenta el francobordo residual.

4.7 Flotabilidad.

Según el principio de Arquímedes “todo cuerpo sumergido dentro de un fluido experimenta una fuerza ascendente de empuje, que equivale al peso del fluido desalojado por el cuerpo”; por lo tanto, la fuerza de empuje $p \times V \times g$ es igual al peso del líquido desplazado

por el peso sumergido. De manera que, si un objeto es más pesado o denso que el fluido este se hundirá, en cambio si el peso del objeto es menor al fluido este flotará, y por último si el

Figura 14

Análisis de flotabilidad



peso es equivalente al del fluido este no se hundirá ni flotará.

Nota. Elaboración propia.

4.8 Sistemas de amarre.

A pesar de que la propuesta arquitectónica es de que el edificio flotante pueda ser móvil y poderse trasladar, es necesario que cuando este llegue a su destino a las riberas o puertos de las ciudades; se establezca un sistema de amarre o anclaje ya sea al lecho del cuerpo de agua, a un pilote enterrado en el agua, a una argolla de un puerto o pilote a través de unas guayas, o también a través de un sistema de contrapeso conectado con cadena o guayas a una argolla del objeto arquitectónico que no afecta ni perfora el lecho de los cuerpos de agua, aplicando la teoría de la catenaria para las cargas. Siendo este último tal vez el más óptimo al no alterar el ecosistema. Para el tema del pilote también puede funcionar de manera que no se conecte por medio de una cuerda si no que el objeto arquitectónico tenga un elemento externo de conexión

con el pilote, pero que este elemento se introduzca o encaje con la sección del pilote, de manera que solo se pueda mover en el eje vertical (Y).

Obviamente es necesario realizar un estudio pertinente para saber cuántos pilotes se necesitan, que tamaño será la sección del pilote o para el sistema de contrapeso las conexiones de las cuerdas o cadenas resistan los esfuerzos a tracción en este caso. De manera que estos sistemas de amarre sean realmente efectivos anulando las cargas y movimientos sobre todo laterales a las que se somete la construcción flotante. Todo lo anterior para que el edificio pueda ser funcional y seguro.

En consecuencia, es necesario que en los lugares estratégicos sugeridos como pertinentes para la implantación; se ubiquen puntos de anclaje y estos sistemas de amarre para que cuando la construcción flotante llegue a estas ciudades pueda ubicarse sin ningún problema.

Figura 15

Tipos de amarre



Nota. De izquierda a derecha, sistema por medio de pilotes, por medio de pilotes con eje, y sistema de contrapeso. Imagen 1 y 2 propias, imagen 3 recuperado de

https://www.academia.edu/44265541/ELECTIVE_REPORT_FLOATING_ARCHITECTURE

4.9 Caso de estudio específico (Magangué).

El caso de estudio es el municipio de Magangué perteneciente al departamento de Bolívar, ubicado en la subregión de la costa caribe colombiana llamada La Mojana. La cabecera municipal está ubicada geográficamente en las coordenadas (9.24°N, 74.75°O) con una altitud de (20) metros sobre el nivel del mar que colinda con el río Magdalena. Es un municipio establecido con un clima cálido seco debido a que tiene una humedad relativa del (40%) y con una temperatura media de (27°C); lo anterior de acuerdo al documento “anexo No.2 mapa de clasificación del clima en Colombia según la temperatura y la humedad relativa” auspiciado por el Ministerio de vivienda, Camacol y la corporación financiera internacional (2015).

Población objetivo específica.

Como población objetivo se ha seleccionado los grupos etarios entre los 3 a los 16 años, es decir el 30% aproximadamente de los habitantes de Magangué; cuyo en definitiva es identificado como el rango de edad aproximado de las personas dedicadas a estudiar y por lo tanto la población a quien va dirigida el proyecto. En consecuencia, en la siguiente tabla (tabla x) se puede observar tanto a la población perteneciente a las cabeceras municipales como a la de los centros poblados y rural disperso.

Respecto a lo anterior es importante como se sectoriza la población para poder llegar a ser más específico por ejemplo al momento de gestionar los módulos en el territorio para que

exista una buena cobertura de infraestructura educativa; de manera que ayude a que sea un sistema educativo más eficiente además de mejorar la calidad de vida académica de los niños y jóvenes Magueños.

Tabla 6

Población objetivo por grupos etarios en Magangué

MUNICIPIO	POBLACIÓN	NIVEL	Pre-Jardín		Jardín	Transición	Básica y media									
		Edad	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Magangué	Cabecera Municipal		1762	1787	1817	1821	1821	1820	1818	1816	1812	1805	1799	1790	1776	1761
	Centros poblados y Rural disperso		838	862	874	880	883	887	890	890	890	888	885	880	873	863

Nota. Adaptado de “anexo-proyecciones-población-municipal_2018-2026” recuperado de <https://www.dane.gov.co/>.

Datos Bioclimáticos.

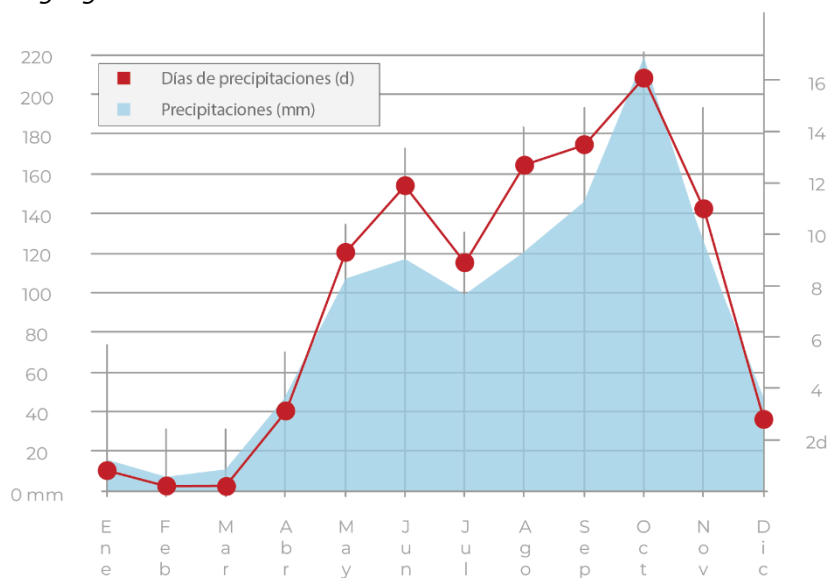
En consecuencia, se contemplan los análisis climáticos que condicionan el municipio de Magangué para su debida interpretación y posteriormente aplicar las estrategias de diseño que más beneficien la proyección arquitectónica; en las cuales será primordial un edificio que tenga una buena planificación para la reducción o aprovechamiento del agua y la energía, de manera que sea lo más sostenible y sustentable posible.

Precipitaciones.

Con una precipitación anual de (1.070 mm) y con un promedio de (89.17 mm); las precipitaciones en Magangué son bajas relativamente, pues llueve siete veces menos en comparación con Quibdó que es la segunda región con más precipitaciones en el mundo. Se puede observar de acuerdo a la (figura x) que son cuatro (4) meses aproximadamente, de enero a abril con una sequía extrema donde la precipitación no supera los (90 mm). En cambio, los meses con mayores precipitaciones son entre agosto a noviembre, siendo octubre el mes con mayor precipitación (220mm).

Figura 16

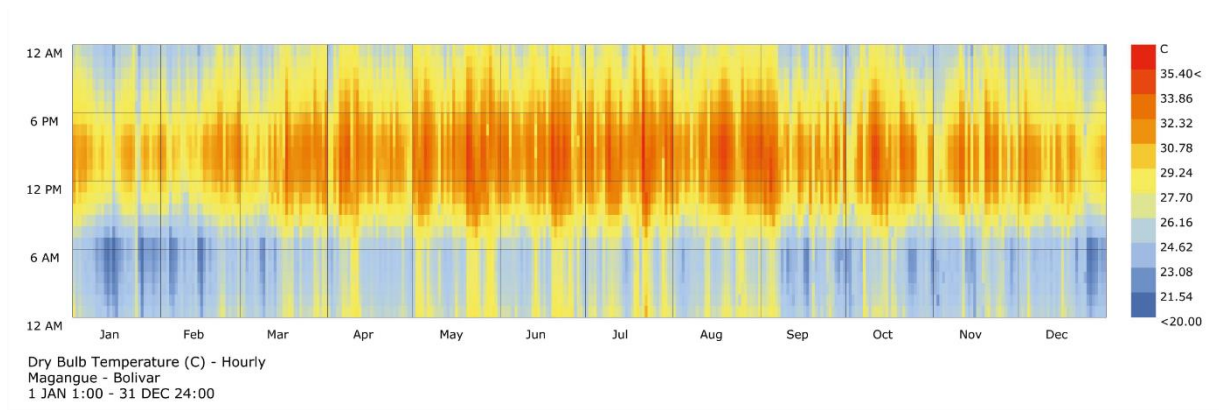
Precipitaciones en Magangué



Nota. Adaptado del software Climate consultant.

Temperatura de bulbo seco.

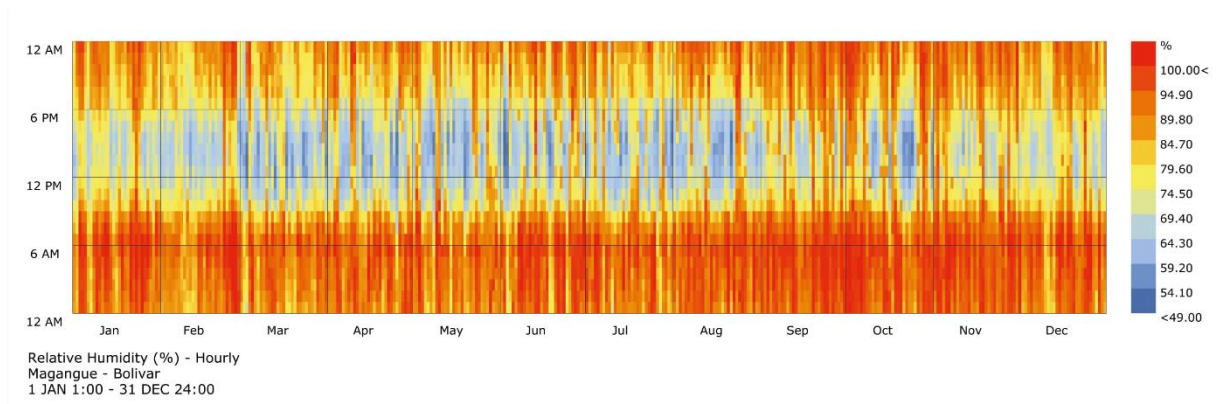
Con una temperatura promedio anual de (27°C), siendo (36°C) el punto más alto y (20°C) el punto más bajo; Magangué es un municipio con una temperatura relativamente alta; no obstante, las mayores temperaturas se comprenden entre las (9:00 h) a las (21:00 h) siendo entre mayo y agosto los meses más críticos.

Figura 17***Temperatura de bulbo seco de Magangué***

Nota. Estos datos se recopilan en un rango de 10 años para una mayor precisión de la temperatura. Recuperado del software Ladybug.

Humedad relativa.

En cuanto a la humedad relativa se puede evidenciar que está por encima del 80% casi la mayor parte del tiempo, pero generalmente de las (0:00 h) a las (9:00 h) y desciende entre el 70% al 53% entre las (9:00 h) hasta las (19:00 h). Se podría decir que es prácticamente un clima cálido semihúmedo. Esta descripción de la humedad relativa se mantiene relativamente en todo el año.

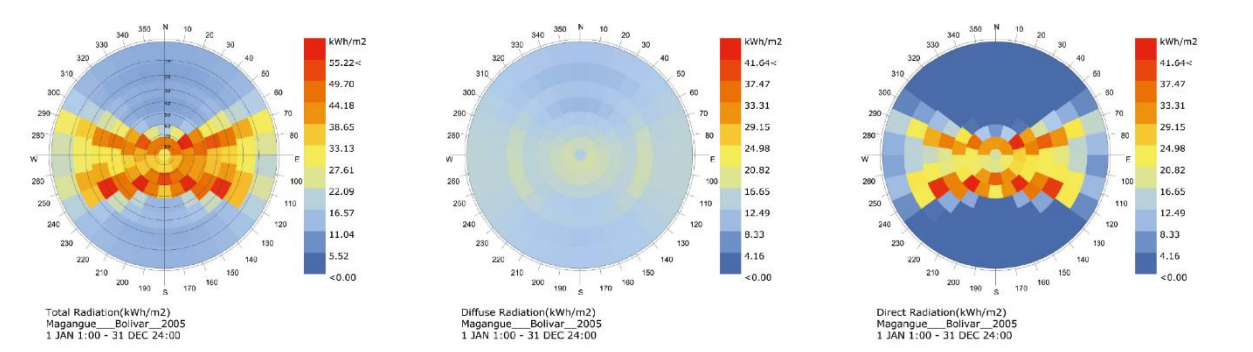
Figura 18*Humedad relativa de Magangué*

Nota. Estos datos se recopilan en un rango de 10 años para una mayor precisión de la temperatura. Tomado del software Ladybug.

Radiación.

Para el tema de la radiación se puede ver en la siguiente imagen que la máxima radiación esta aproximadamente en los 80 kWh/m², sin embargo, mantiene un promedio aproximado entre los 40 kWh/m²; y la dirección en que la radiación llega al lugar viene en predominancia en sentido este - oeste, los picos más altos se dan entre el medio día. Por lo tanto, se puede concluir que la radiación en este lugar tiene un gran potencial para obtener energía limpia a través de paneles solares.

Figura 19*Radiación reflejada en la bóveda celeste*



Nota. Tomado del software Ladybug

Trayectoria solar.

Para el estudio de la trayectoria solar se tomaron en cuenta los fenómenos astronómicos de los equinoccios (marzo y septiembre) y los solsticios (junio y diciembre). Partiendo de que en el periodo de equinoccios el día y la noche tienen la misma duración; mientras que en los solsticios el día o la noche duran más, pues son momentos del año donde el sol se encuentra a mayor o menor altura en la bóveda celeste de acuerdo al hemisferio donde se encuentre. Cabe aclarar que los solsticios en esta región(es) tropical(es) no es muy perceptible este fenómeno; debido a que son latitudes cercanas a la línea ecuatorial.

Figura 20*Equinoccio (marzo) en Magangué*

	{0;0;0}		{0;0;0}
0	13.318915	0	91.86773
1	28.105913	1	94.589649
2	42.826554	2	98.1708
3	57.371297	3	103.991175
4	71.30488	4	117.329697
5	81.036549	5	170.058113
6	73.960667	6	237.408294
7	60.332837	7	254.346988
8	45.856975	8	261.025551
9	31.161769	9	264.918335
10	16.386889	10	267.776351
11	1.584341	11	270.255607

Nota. A la izquierda el cenit y a la derecha el azimut, indicando los angulos con respecto a 12 horas desde las 7:00 h hasta las 18:00 h. Tomado del software Ladybug

Figura 21*Equinoccio (septiembre) en Magangué*

	{0;0;0}		{0;0;0}
0	2.027634	0	89.691576
1	16.831025	1	92.170484
2	31.607367	2	95.031196
3	46.304577	3	98.938258
4	60.781479	4	105.6861
5	74.388448	5	123.098924
6	81.074553	6	192.829082
7	70.982545	7	243.64577
8	56.99106	8	256.457909
9	42.428566	9	262.120712
10	27.700304	10	265.637853
11	12.909827	11	268.332893

Nota. A la izquierda el cenit y a la derecha el azimut, indicando los angulos con respecto a 12 horas desde las 7:00 h hasta las 18:00 h. Tomado del software Ladybug

Figura 22*Solsticio (junio) en Magangué*

	{0;0;0}		{0;0;0}
0	3.468031	0	66.807463
1	17.155037	1	68.192517
2	30.909293	2	68.145594
3	44.568133	3	66.085947
4	57.819511	4	60.127817
5	69.665667	5	43.894901
6	75.802314	6	0.846647
7	69.973265	7	316.914135
8	58.206484	8	300.156841
9	44.976463	9	294.020813
10	31.323943	10	291.881445
11	17.569814	11	291.785883
12	3.87863	12	293.130157

Nota. A la izquierda el cenit y a la derecha el azimut, indicando los angulos con respecto a 13 horas desde las 6:00 h hasta las 18:00 h. Tomado del software Ladybug

Figura 23*Solsticio (diciembre) en Magangué*

	{0;0;0}		{0;0;0}
0	10.454728	0	116.087987
1	23.494113	1	120.668253
2	35.75731	2	127.855151
3	46.544384	3	139.246252
4	54.456796	4	157.048421
5	57.318594	5	181.17896
6	53.903511	6	204.900683
7	45.642342	7	222.038289
8	34.674438	8	232.951597
9	22.317792	9	239.844753
10	9.228057	10	244.236612

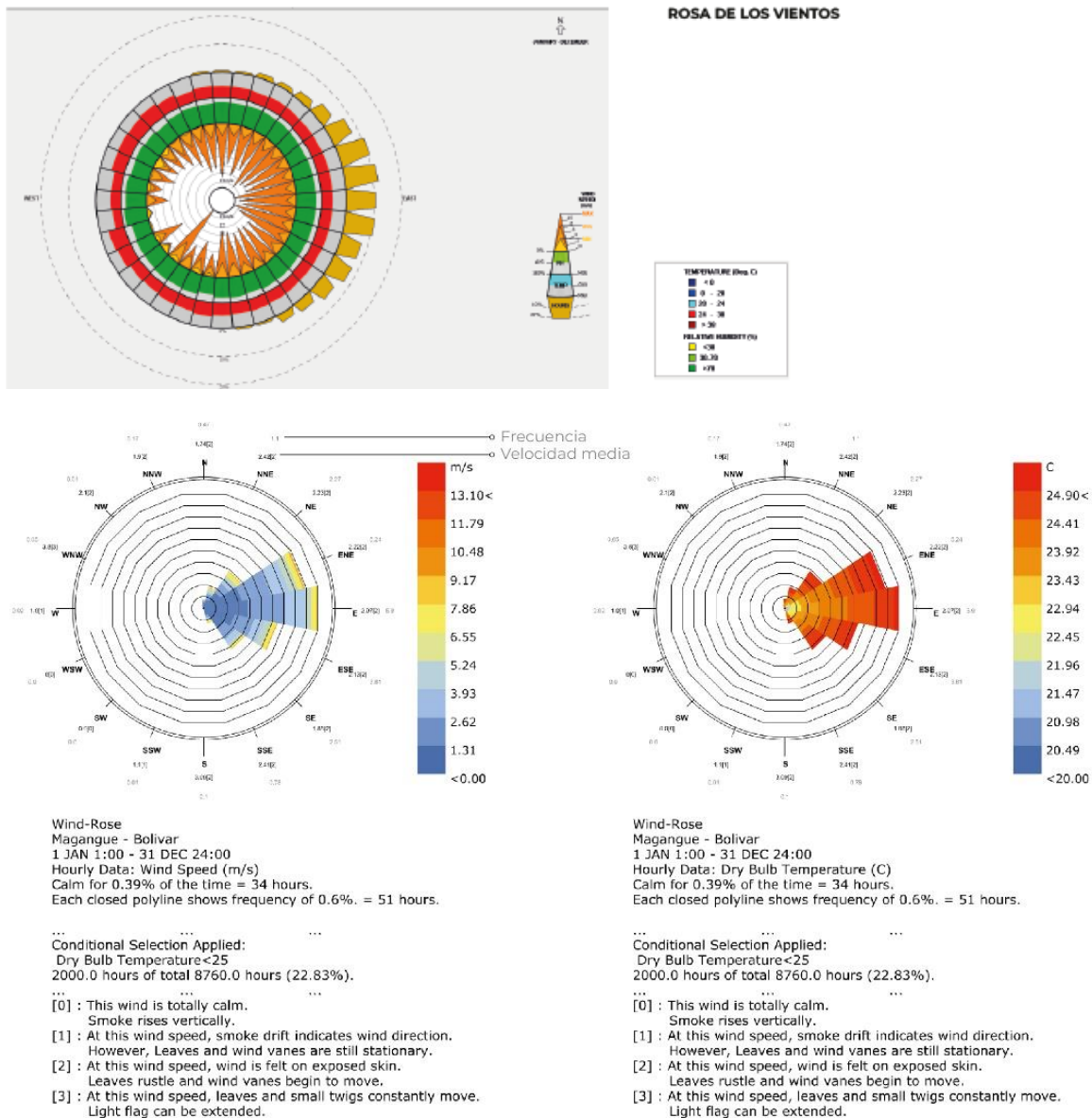
Nota. A la izquierda el cenit y a la derecha el azimut, indicando los angulos con respecto a 11 horas desde las 7:00 h hasta las 16:00 h. Tomado del software Ladybug

Rosa de los vientos.

En cuanto a los vientos, estos son predominantes en sentido este y tienen una velocidad promedio anual de 3 m/s; siendo el pico en 15 m/s, manteniendo un rango entre 1 y 7 m/s.

Figura 24

Rosa de los vientos



4.10 Materiales.

En torno a la escogencia de los materiales de construcción se tuvieron en cuenta múltiples variables aparte de las bondades que se aporta al confort; de manera que, la utilidad, su rapidez de montaje y fabricación, su sostenibilidad y huella de carbono, su prefactibilidad económica, su grado de desperdicio, sus propiedades mecánicas y físicas, sus propiedades aislantes térmicas y acústicas, su respuesta con el entorno medioambiental, su posibilidad de ser reciclado y/o reutilizado, su facilidad de transporte y proveedores cerca al lugar in-situ; más la respuesta a la forma y al sistema estructural que brinda; son algunos ítems que se tomaron en cuenta en la reflexión y posterior elección del mejor material.

Madera.

La madera es un material utilizado en la industria de la construcción milenario, pues su uso data desde las primeras civilizaciones, sin embargo, hace unas décadas hasta la contemporaneidad se ha hecho un redescubrimiento por llamarlo así, gracias a los constantes estudios y cantidad de productos que se pueden desarrollar a partir de esta. Lo anterior ha sido gracias a la mejora de la técnica, el uso de la tecnología que permite a partir de la materia prima sacar un producto más sofisticado que responde a los actuales estándares de calidad y de uso estructural que antes era imposible y limitado.

Por lo tanto, la madera en la actualidad es un material revalorizado con el cual le compite y hasta supera otros materiales, haciendo y cumpliendo lo mismo como por ejemplo el

acero que es un material revolucionario en la industria en la época del modernismo gracias a su posibilidad infinita de formas en relación con la resistencia, la luz que permite, entre otros.

En consecuencia, uno de sus grandes fuertes es que, en comparación con el acero, el concreto, y algunos mampuestos tiene menor huella de carbono y por una amplia diferencia, además de ser un material sostenible y renovable, pues está en la naturaleza, produciendo así un ciclo de vida útil, efectivo e interminable. Otra de sus bondades y no menos importante es su desperdicio nulo, pues el “desperdicio” se puede utilizar en la creación de otros productos también para la construcción como por ejemplo tableros aglomerados; de manera que es un material reciclable y reutilizable con un potencial enorme.

Según Pacini (2019) una viga de acero doble T de 305mm x 165mm tiene un rendimiento semejante al de una viga de madera encolada laminada de pino de 550mm x 135mm; sin embargo, la diferencia radica en que esta necesita seis veces más la cantidad de energía. Así mismo una viga de hormigón armado similar de 400mm x 250mm precisa cinco veces la cantidad de energía. De lo anterior influye en un factor económico como la reducción de costos en proceso de fabricación, además de que estas construcciones en seco se construyen en menor tiempo, siendo la rapidez de montaje otro factor que baja costos.

Respecto al tema de uso, este puede ser variado pues permite desde su uso estructural, paneles de revestimiento y divisorios, carpintería, de acabados y hasta mobiliario; es decir, está presente en prácticamente todo el proceso constructivo demostrando así su versatilidad y utilidad.

Por otra parte, en el tema comercial y de productos existe la madera aserrada cuyas medidas vienen en tamaños estándar, limitando así sus posibilidades constructivas y de diseño puesto que la sección y longitud dependen de la longitud del tronco. Sin embargo, para salir de este condicionamiento nació la madera con aporte de la ingeniería, pues a partir de la madera original se crean varios productos que mejoran sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. Por ende, el abanico de posibilidades se amplía, pudiendo así tener mayores dimensiones y aplicar a formas orgánicas.

Dentro de los productos de madera elaborada para fin estructural se encuentra la madera laminada encolada “glulam”, el SCL “structural composite lumber”, el LVL “Laminated veneer lumber”, el PSL “parallel strand lumber”, el LSL “laminated strand lumber”, el Parallam y el Kertopuu. Continuando para uso y fin de elementos superficiales se encuentra el multilaminado o también llamado contrachapado, los tableros aglomerados, el OSB “oriented strand board”, el MDF o fibromadera y el hardboard.

Otro factor primordial de la madera, es su aislamiento acústico gracias a su estructura porosa, de manera que absorbe las ondas del sonido que se transforman en calor por el rozamiento y así reteniéndolas. No obstante, entre mayor densidad tenga la madera, mayor es su capacidad de aislamiento acústico. En consecuencia, también es reconocido como un aislante térmico gracias a las fibras que la conforman no retiene el calor a diferencia de los metales y la mampostería.

Por último, en el tema de su tratamiento contra el agua y el fuego existen varios productos que ayudan en su lucha contra estos factores de riesgo, convirtiéndola en resistente

o retrasar su descomposición. Los adhesivos utilizados para estos procesos son las resinas urea-formaldehído (UF), la fenol-formaldehído (FF), la melamina-formaldehído (MF), el methileno difenil diisocianato (MDI) o resinas poliuretánicas.

Cartón.

El cartón es un material relativamente nuevo en el campo de la construcción pero que ha causado cierta revolución gracias a la relación precio, resistencia, versatilidad de fabricación y montaje, su posibilidad de reutilización, etc. Además de ser un material ya puesto a prueba en las obras del Arquitecto Guy Rottier con sus proyectos de arquitectura itinerante alrededor de 1960; o también en obras del reconocido Arquitecto Japonés Shigeru Ban, de manera que es una realidad como un material óptimo y fiable en la industria de la construcción.

Por otro lado, ya han salido al mercado cartones ignífugos e hidrófugos, aislantes sonoros, térmicos, etc. Por ejemplo, se aplica capa de poliuretano transparente o una imprimación de parafina sobre la superficie para mejorar su comportamiento ante el agua, la humedad y la intemperie. Así estas empresas han ahondado más en los temas técnicos y propiedades físicas y mecánicas para así mismo ofrecer productos a la vanguardia de la construcción, como por ejemplo los mencionados en la (tabla 7).

Tabla 7

Tipos de cartón y sus características

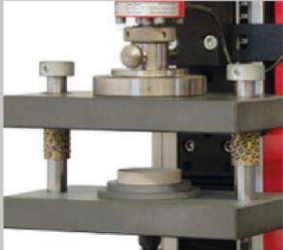
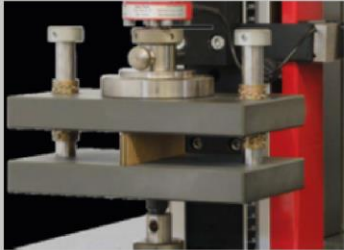
TIPO DE CARTÓN	CARACTERÍSTICAS
Cartón Ondulado	Se compone de: Caras o cubiertas: Tienen resistencia al apilamiento, desgarró, estallido, protección frente al agua. Su gramaje oscila entre 80 y 450 g/m². KRAFT, TEST, BICLASES, ESTUCADOS. Ondulado o tripas: Tiene la función de aportar un grosor y mantenerlo, su forma ondulada mejora la rigidez a flexión, amortigua impactos y hace frente a problemas de aplastamiento. Ofrece resistencia a compresión sobre el canto; siendo esta la fuerza máxima paralela al sentido de los canales, el cual se denomina "resistencia ECT (Edge Crush Test). Los gramajes oscilan entre los 100 y 180 g/m² Existen varias variantes de acuerdo al numero de capas como: Simple cara:  Altura de onda 1,6 - 2,5 mm Resistencia ECT menor que 3 KN/m (Muy baja) Maleabilidad (Muy alta) Doble cara:  Altura de onda 1,8 - 2,7 - 3,5 - 6 mm Resistencia ECT 3 - 8 KN/m (Baja) Maleabilidad (Media alta) Triple ondulado:  Altura de onda 13 - 16 mm Resistencia ECT mayor que 15 KN/m (Alta) Maleabilidad (Nula) solo con papeles Kraft o semiquímicos, tienen una baja absorción de humedad y es empleado para usos específicos.
Cartón Panel de abeja 	Para su fabricación se emplea papel 100% reciclado, que se compone de dos coberturas de cartón de alto gramaje y una capa inferior en forma de nido de abeja, a lo que esta estructura tiene mayor resistencia. Las coberturas suelen ser de papel Kraft compuesto de un tipo de pasta química especial con un gramaje de 400 g/m² y la capa intermedia en papel semiquímico con un gramaje de 140 g/m². Además su resistencia a la compresión estática es de 3,8 kg/m² aproximadamente.
Cartón Compacto 	Su fabricación se lleva a cabo a partir del pegado sucesivo de capas de papel; y se produce de forma tubular y en planchas. Este suele componerse de papel reciclado; sin embargo las cubiertas emplean papel Kraft que aporta buenas propiedades mecánicas a tracción, alargamiento y rotura. Su resistencia a la compresión es alta, garantizando valores superiores a 8 KN/m dependiendo el aumento del grosor y gramaje, mayor sera su resistencia.

A propósito, cabe resaltar que el cartón en la construcción ha sido utilizado más que todo para recubrimiento por medio de paneles y su buena respuesta termoacústica, también han sido utilizados como contrapisos por su buena respuesta a los impactos; y continuando su uso en cielos rasos, muros divisorios, etc. Sin embargo, su uso más relevante es como protagonista en la estructura porticada con tubos de cartón haciendo de vigas y columnas; o también en una estructura articulada son tubos de cartón haciendo de barras o riostras conectado a unos nodos por medio de unas uniones específicas.

En consecuencia, para su uso garantizado en la construcción, este material debe ser sometido a una serie de pruebas y test de resistencia que cumplan con los requisitos de calidad como se pueden ver en la (tabla 8)

Tabla 8

Tipos de Test para el cartón y sus características

PRUEBA O TEST	CARACTERÍSTICAS
Resistencia de aplastamiento en plano CMT (Corrugating Medium Test)	Se obtiene comprobando la resistencia al aplastamiento en plano de diez canales de un tipo de onda y papel específico. Se expresa en Newtons (N) 
Resistencia a compresión sobre el canto del papel	Se determina a partir del ensayo a compresión en anillo RTC (Ring Crush Test) y el ensayo de compresión ECT de cantos (Edge Crush Test). Se expresa en Newtons (N) o en Kilo-newton por metro (KN/m)  
Resistencia de estallido	Capacidad de resistir una presión local ejercida de manera progresiva y se expresa en Kilo-pascal (Kpa) o Kilo Newton por metro (KN/m). El índice de estallido o Mullen es la relación entre el gramaje del papel y la resistencia de estallido, que se expresa en Kpa/g/m² y sus valores comprendidos entre 1,0 y 5,0.
Resistencia al plegado	Capacidad del papel de soportar un número de plegados consecutivos en la misma zona sin romperse y se mide en número de doble pliegues que resiste antes de romperse
Resistencia al desgarro	Capacidad del papel de ser rasgado, suele utilizarse el método Elmendorf, que se utiliza un dinamómetro que deja caer peso por gravedad al papel y así comprobar si lo rasga.

ETFE (Etileno-TetraFluoroEtileno).

Es un material copolímero fluorado transparente y traslucido que ha sido acogido por los arquitectos desde hace más o menos veinte (20) años en construcciones como material de recubrimiento en reemplazo y/o alternativa al vidrio. Este material tuvo su origen en 1970 por

la empresa Dupont como aislante en la industria aeronáutica; tiempo después el ingeniero Stefan Lehnert estudio su potencial para nuevos usos y campos como el de la construcción.

Ahondando en sus propiedades como material, se destaca su transparencia y permeabilidad del 94% al 97%, su transmisión de radiación ultravioleta entre el 83% y 88%. Tambien su alta resistencia a la intemperie, al impacto y a la temperatura entre -50°C hasta 150°C . En la siguiente tabla se muestra algunos valores frente a diferentes esfuerzos y cargas a lo que está sometido la estructura.

Tabla 9

Características físicas y valores medios en láminas de 90 a 150 μm

Características		Unidad	Valor	Método de ensayo, observaciones
Densidad		g/cm ³	1.75 $\pm$ 0,05	DIN 53 479 a 23°C
Resistencia al desgarro	long	N/mm ²	40-50 40-50	DIN 53 455, test probeta 5, 23°C tiras de lámina de 15 x 170 mm.
Alargamiento al desgarro	long transv	%	300-400 300-400	longitud de sujeción 40mm. velocidad de verificación
Esfuerzo en el límite convencional de elasticidad	long transv	N/mm ²	20-30 20-30	100 mm/min
Alargamiento en el límite convencional de elasticidad	long transv	%	15-20 15-20	
Temperatura de rotura en frío	long transv	°C	-180 -180	DIN 53 372.
Resistencia al desgarro ya iniciado con incisión trap-ezoidal	long transv	N/mm ²	400-500 400-500	DIN 58 363, 23°C

Nota. Recuperado de <https://www.arquitectil.net/material-etfe/m2>

Otra propiedad es su anti adherencia como de disolventes y químicos, su difícil combustibilidad clasificado como B1 según la DIN 4102 por el instituto de técnicas de construcción de Berlín. También se encuentra su fácil limpieza puesto que la misma lluvia se encarga de eso. Ya entrando en sus ventajas se encuentra su buena resistencia mecánica, su

impermeabilidad, mínimo mantenimiento, posibilidad de coloración; además se evidencia su bajo peso de aproximadamente 175g/m^2 y en comparación con el vidrio cien veces menos, también mayor coeficiente de transmisión de luz, mejor aislante, mayor campo de acción en reciclaje y menor energía embebida en su fabricación.

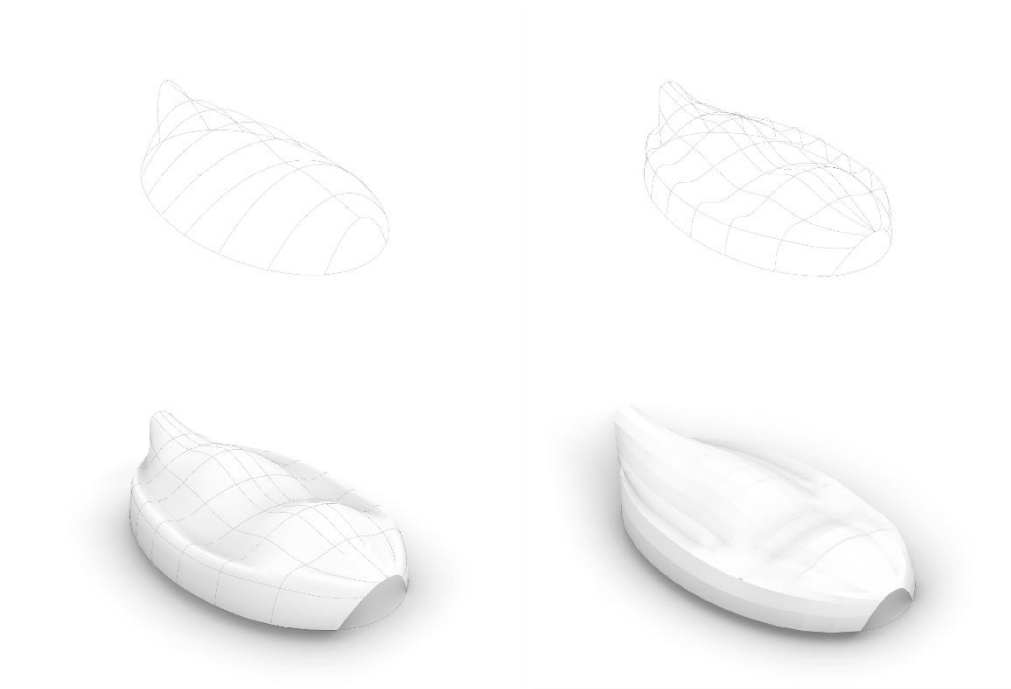
CAPÍTULO V: Segundo objetivo Formulación de estrategias

5.1 Forma.

Para la forma del edificio se eligió la analogía de la ballena jorobada debido a las migraciones que hacen por la costa pacífica colombiana, de manera que, aunque la zona de estudio es en la región caribe, la función del edificio es que pueda trasladarse de un lugar a otro como un objeto itinerante por medio de la red hídrica de la mojana además de acoger la forma de un animal que vive en ecosistemas acuáticos; por lo tanto, es una perfecta analogía entre el animal y el concepto del objeto arquitectónico.

Figura 25

Proceso de diseño

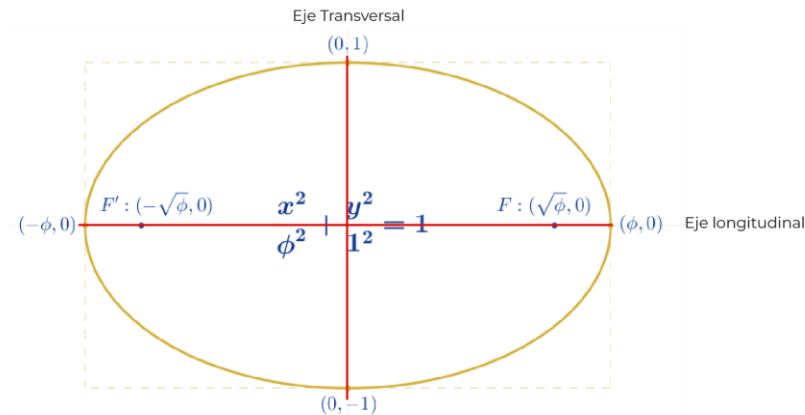


Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, y no menos importante el diseño está contemplado bajo los conceptos de la geometría sagrada; de manera que las medidas y formas geométricas están correlacionadas con la proporción aurea derivada en este caso de la serie de Fibonacci y la serie de Lucas como referentes importantes en este tema. En consecuencia, la base es una elipse de oro ya que está contenida dentro del rectángulo de oro como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 26

Base o contrapiso del proyecto



Nota. En el eje transversal tiene una medida de 21m y en el eje longitudinal una medida de 34m, siendo los números anteriores pertenecientes a la serie de Fibonacci. Elaboración propia.

Ahondando en el tema se escogió la elipse como la figura geométrica más cercana al círculo, indicando la representación de la elipse como los ciclos de la vida, el uróboros y el eterno retorno, todo en la naturaleza nos muestra que la vida es un ciclo, todo va y vuelve, como es arriba es abajo, la representación del origen y la unidad que lo contiene todo. De manera que para el diseño del objeto arquitectónico no es la excepción a las leyes que rigen el universo, siendo la función de este módulo aulas educativas, un lugar de comunión e intercambio de ideas, siendo esta etapa estudiantil un ciclo más, la ascensión y la monada.

Continuando con el concepto, este proyecto tiene 10 aberturas y/o ventanas para el ingreso de la luz, representando así a los diez iniciados según el libro de los grandes iniciados por edouard Schure, siendo estos Rama, Krishna, Hermes Trimegisto, Moises, Orfeo, Pitagoras, Platón, Zaratrusta, Budha y por último el que para mí personalmente es el señor de señores, el alfa y el omega, el primero y el último, el todo, Jesucristo a quien se le da la posición de la única abertura que está arriba en la cubierta representando la relación directa entre Dios y los

hombres, representando como la luz proveniente del cielo da vida y sentido a la tierra; además como la luz es el punto de referencia y ubicación en el espacio a lo largo de la historia.

De manera que el proyecto al ser un aula educativa, un espacio de enseñanza y que, por medio de la educación, el altruismo y la filantropía; estos jóvenes serán iluminados y podrán comenzar el camino de la iniciación, el despertar para que a posteriori puedan devolver lo aprendido.

5.2 Estructura.

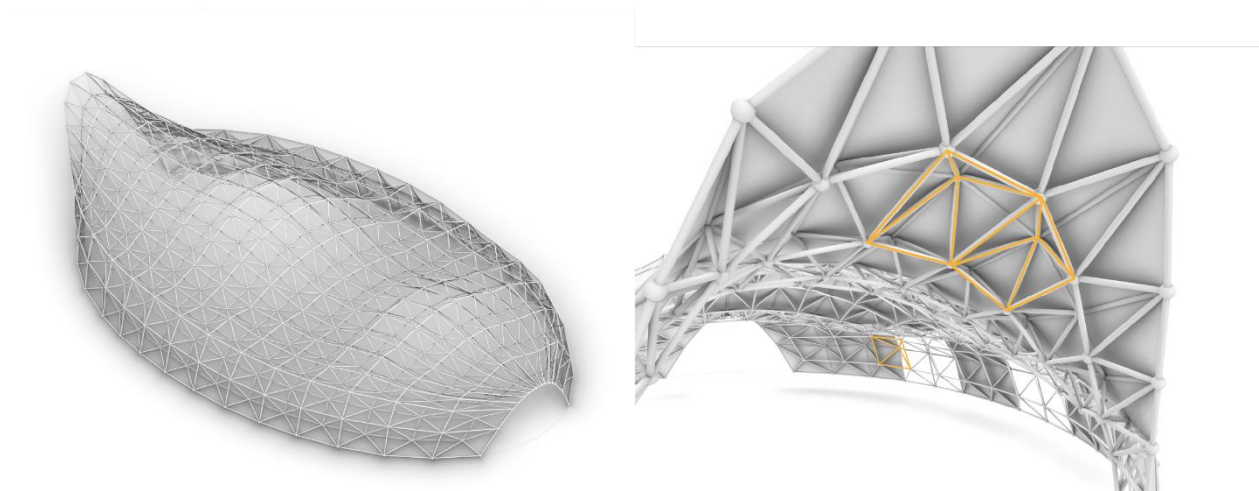
Para la estructura se eligió el sistema de mallas espaciales que es una estructura tridimensional óptima para cubrir grandes luces como debe cumplir de acuerdo al diseño contemplado; este tipo de estructuras son bastante livianas con respecto a todos los sistemas constructivos ya que al componerse por partes como las barras y los nodos divide las cargas en pequeñas cargas, además de que gestiona las cargas en las tres dimensiones por lo tanto la convierte en una estructura totalmente liviana, eficiente en cuanto a cargas, relación material – desperdicio, posibilidad de recambio en partes puntuales sin alterar la estructura de manera que su vida útil es superior a otros sistemas constructivos. También da la posibilidad de poder desarmarse y construirse en otro lugar abriendo un campo de posibilidades que no ofrecen otros sistemas y por lo tanto cumpliendo con conceptos de la flexibilidad y prefabricación en la arquitectura.

Existen muchas formas de diseñar este tipo de estructuras articuladas tridimensionales y muchas figuras geométricas que se pueden conformar, de manera que en este caso puntual y

siguiendo con el tema de la geometría sagrada esta malla espacial propuesta está conformada por tetraedros que es uno de los cinco solidos platónicos que surgen del cubo de metatrón, siendo el tetraedro (cuatro lados regulares) una pirámide y la elección de esta porque se conforman triángulos, siendo así el primer polígono estable y la única geometría que no sufre deformación.

Figura 27

Sistema estructural del proyecto



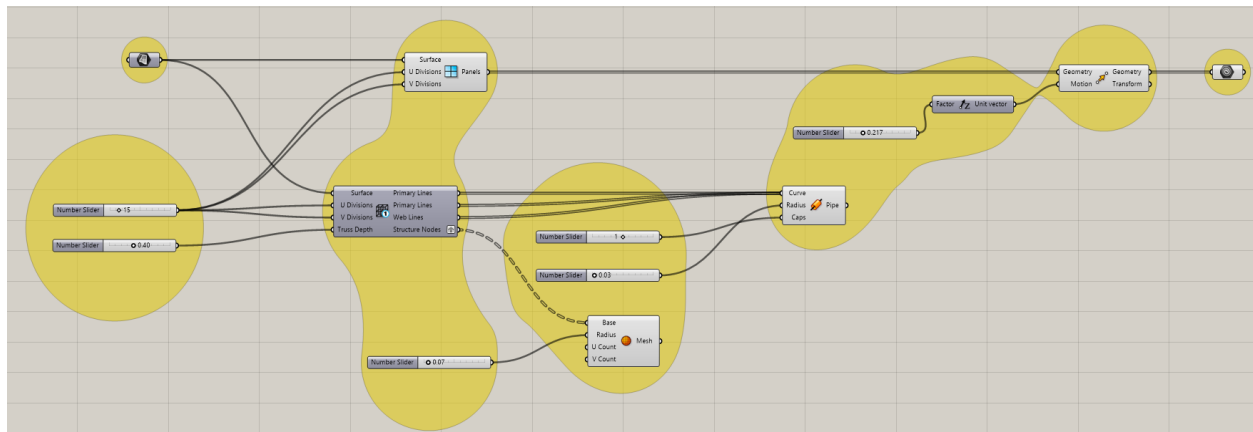
Nota. A la izquierda se puede ver el sistema estructural de la malla espacial y a la derecha en color amarillo la formación de los tetraedros dentro de la estructura. Elaboración propia.

Para la obtención de la estructura y los paneles se utilizó el diseño paramétrico como el método para llegar a la proyección de la forma cumpliendo así con una de las teorías aplicables en este proyecto; promoviendo así un camino en el cual incursionar y una cercanía con la visión a dónde va el mundo en el tema del diseño y la industria de la construcción, y los lineamientos del nuevo orden mundial en cuanto a temas tecnológicos como ejes transversales que se

relaciona con todas las ciencias. Por lo tanto, un nuevo paradigma de cómo crear arquitectura, de manera que en la siguiente imagen se muestra el proceso o mejor dicho el algoritmo para llegar a la forma.

Figura 28

Algoritmo matemático para llegar a la forma de la estructura y panelización.



Nota. Algoritmo realizado a través del software Rhinoceros – Grasshopper. Elaboración propia.

5.3 Estrategias bioclimáticas.

Los criterios de diseño se basan en el análisis bioclimático y por lo tanto se proyectan las siguientes estrategias:

- Ubicación de ventanas y/o aberturas en el costado este-oeste de la edificación para una ventilación cruzada natural.
- Una altura considerable del edificio para una constante renovación del aire y obtener un lugar fresco.
- Sombre amiento horizontal en el costado este-oeste de la edificación por medio de aleros para la protección solar y evitar la ganancia de calor.

- Iluminación natural cenital debido a que es la mejor opción de iluminación para un espacio de uso educativo al no interferir visualmente con las actividades curriculares.
- Aislar térmicamente el edificio por medio de una cámara de aire o una piel para crear un microclima y aislar el calor de la edificación (análisis de rentabilidad para su aplicación).
- Fachada con pequeñas aberturas en el costado este-oeste de la edificación para la dispersión del aire en protección como medida a la velocidad considerable del viento.
- Implementar colores claros o pastel en el edificio debido a que son los que menos ganancia térmica tienen.
- Elección de la madera como material protagonista gracias a ser un material ecológico y sostenible por su respuesta constructiva a la forma, por su uso local predominante y debido a su capacidad como aislante térmico.
- Proyección para la captación de aguas lluvias por medio de una cubierta adecuada y captación de energía por medio de paneles solares.
- Implementación abanicos eléctricos en ciertas horas al año donde no es posible conseguir confort por medio de la aplicación de estrategias pasivas.

5.4 Sostenibilidad

El desarrollo sostenible es un concepto que se aplicó por primera vez en 1987 en el

Informe Brundtland. Refiere a la búsqueda de un avance social y económico que asegure a los seres humanos una vida sana y productiva, pero que no comprometa la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades. A partir de la importancia mundial de los recursos naturales y de la necesidad de su uso racional bajo los principios de Daly, la sostenibilidad busca un desarrollo social que contribuya a mejorar la calidad de vida, salud, educación y cultura de todas las personas.

En su esencia, la sostenibilidad ambiental es la práctica de usar nuestros recursos de una manera que proteja y preserve el ecosistema terrestre para las generaciones futuras.

Es la preservación de la biodiversidad, la protección de los hábitats naturales y la reducción de la contaminación y el cambio climático.

Por otra parte, para la construcción del objeto arquitectónico los materiales como la madera y cartón son renovables y ambientalmente sustentables a comparación de otros sistemas tradicionales, además de la compra de estos materiales en plantaciones certificadas de la región caribe.

Por otra parte, para la construcción del módulo, se prevé el uso de materiales maderables de la región, con el uso de madera de entidades certificadas con plantaciones reguladas en la región caribe, esto anterior minimiza el costo de transporte de la materia prima al lugar de construcción. También el uso de estos materiales como madera y la posibilidad del cartón son materiales con un costo muchísimo menor al uso de la construcción tradicional.

La sostenibilidad social se refiere a la capacidad de una sociedad para sostenerse a sí

misma a través del tiempo y el espacio, es la práctica de mantener un entorno social equitativo y justo, donde cada individuo puede vivir con dignidad, disfrutando de los derechos fundamentales y la oportunidad de desarrollo personal.

Este proyecto puede aportar en cuanto a la igualdad en el tema de educación ayudando con la proyección de aulas educativas que respondan a las problemáticas de la zona, ayudando así a una equidad y calidad de infraestructura y educación.

5.5 Sustentabilidad

La sustentabilidad, en áreas como la economía y la ecología, es la capacidad de algo para sostenerse a lo largo del tiempo sin agotar sus recursos o perjudicar el medio ambiente. La sustentabilidad se puede lograr en el proyecto a través de la proyección de paneles solares para sustentarse energéticamente, de manera que habrá que estudiar la incidencia solar en la zona. Por otra parte, se busca proyectar un sistema de recolección de aguas lluvias para la sustentabilidad de agua para el consumo y uso de aparatos sanitarios.

En conclusión, estas actividades minimizan el uso de recursos naturales. También se puede reducir los gastos a través del óptimo diseño del espacio arquitectónico, como por ejemplo la buena iluminación a través de la ubicación correcta de las ventanas para no tener que compensar económicamente esa falta con una iluminación artificial. Por otra parte, en el tema de confort térmico puede ser sustentable de manera que en el diseño se contemple un espacio con buena renovación de aire y óptimos materiales que tengan buena aislación térmica. Lo

anterior se proyecta para no tener gastos innecesarios en la aplicación de sistemas hvac para mantener el confort.

5.6 Eficiencia energética

Uno de los ítems para edificaciones sostenibles es la eficiencia energética, de manera que existen medidas de eficiencia energética pasivas y activas. Teniendo en cuenta que la zona de estudio tiene un tipo de clima cálido seco la ganancia de calor no es una opción; por lo tanto, como medidas de eficiencia energética pasivas se utilizara la madera como material de recubrimiento, ya que una de sus grandes virtudes es el aislamiento térmico necesario en este caso. Otra estrategia a aplicar es ubicar la parte de mayor longitud del edificio en sentido norte – sur para que la radiación solo afecte en las fachadas más cortas.

Como otra medida se utilizarán aleros (elementos de sombra horizontal) en las fachadas norte –sur para reducir la radiación ya que son vanos sin cerramiento. Continuando con las medidas también se contará con el valor U del vidrio o ETFE (etileno – tetra fluoro etileno), el valor U del muro y el valor U de la cubierta para que la transferencia de calor sea la más mínima posible; cabe resaltar que entre más bajo sea el valor U mayor es su propiedad aislante. Por otra parte, también se utilizará la reflectividad en los techos y muros, en este caso por medio del color blanco. Como ultima estrategia de medida pasiva se utilizará la ventilación natural para la renovación del aire necesaria en el tipo de clima cálido.

Ahora para las medidas de eficiencia energética activa se utilizará en cuanto al tema de iluminación la densidad de potencia de luz, ya que entre más bajo el LPD más eficiente el

edificio. En cuanto al sistema de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) se utilizarán abanicos y/o ventiladores Big ass fans o VFD – UMA como un aparato más eficiente respecto a otros sistemas mecánicos.

5.7 Eficiencia del agua

Como medidas a tomar para la eficiencia del agua se utilizarán aparatos de bajo flujo para la grifería y doble flujo para las duchas e inodoros, también se utilizará la recolección y reutilización de aguas lluvias para la demanda de los baños, duchas y mínimo consumo vital de agua ya que al ser un objeto arquitectónico transportable es fundamental contar con esta medida.

CAPÍTULO VI: Análisis y discusión de resultados

6.1 Análisis y Discusión de Resultados

Para el Análisis y Discusión de Resultados en este proyecto de aulas flotantes, el análisis se enfoca en evaluar tanto los aspectos arquitectónicos como el impacto educativo y comunitario. A continuación, se presentan los principales hallazgos y descubrimientos obtenidos.

Reducción de Interrupciones Académicas

Las aulas flotantes han demostrado una alta efectividad en la reducción de interrupciones causadas por inundaciones. A través de la infraestructura adaptativa, los estudiantes pueden continuar con sus actividades escolares incluso en temporadas de fuertes lluvias y aumento de nivel del agua. Este hallazgo muestra que el diseño flotante puede ser una solución viable y

eficaz en entornos vulnerables, lo que podría reflejarse en un mayor nivel de asistencia y un mejor rendimiento académico.

Optimización del Material y Reducción de Costos

Los resultados indican que el diseño basado en geometrías estructurales permite la reducción de peso en los componentes de las aulas, lo que, a su vez, disminuye la cantidad de material utilizado sin comprometer la estabilidad. En la tabla 1 se detalla una comparación de costos de materiales entre aulas convencionales y aulas flotantes, reflejando una disminución significativa en los costos y un menor impacto ambiental.

Impacto en el Bienestar y Comodidad Estudiantil

La infraestructura optimizada en términos de espacio y confort ha tenido un impacto positivo en el bienestar de los estudiantes. Los datos recogidos a través de encuestas a alumnos y docentes revelan que la estructura permite una mayor ventilación y luminosidad, mejorando la calidad del ambiente de aprendizaje. Este hallazgo subraya que el diseño arquitectónico no solo resuelve problemas estructurales, sino que también contribuye al confort y la salud de los ocupantes.

Resiliencia Comunitaria y Sostenibilidad

Los resultados evidencian que el proyecto no solo beneficia la infraestructura educativa, sino que fortalece la resiliencia comunitaria. Las aulas flotantes han sido integradas de manera armónica al entorno, demostrando una coexistencia con el ecosistema acuático sin afectar el ambiente natural. Este aspecto ha sido bien recibido por la comunidad, la cual percibe las aulas como un refuerzo a su identidad y cultura. La implementación de esta tecnología en otros

proyectos comunitarios también muestra potencial para incrementar la autosuficiencia y sostenibilidad.

Factibilidad de Escalabilidad del Proyecto

Los hallazgos sugieren que el modelo de aulas flotantes puede ser replicado en otras áreas vulnerables del país. La efectividad de este diseño en la región de la Mojana indica que el modelo es factible para su aplicación en otros contextos similares de la región Caribe y otras zonas inundables. Esto podría incentivar la creación de programas de infraestructura flotante en todo el país, siendo un proyecto replicable y escalable.

Conclusiones y Recomendaciones

- **Acceso continuo a la educación en zonas vulnerables:** Al implementar aulas flotantes que se adaptan a las condiciones de inundación, el proyecto asegura la continuidad de las actividades académicas en comunidades donde la infraestructura convencional es insuficiente. Esto permite a los estudiantes de primaria y secundaria acceder a una educación de calidad sin interrupciones, favoreciendo una mayor equidad en el aprendizaje.

- **Optimización y sostenibilidad estructural:** La dependencia de la geometría para la estabilidad de las aulas flotantes permite reducir el peso de los materiales y optimizar su uso, promoviendo la sostenibilidad en la construcción. Esta arquitectura responde a los retos del entorno, minimizando el impacto ambiental y adaptándose a los cambios naturales sin necesidad de reconstrucciones constantes, lo que garantiza una infraestructura duradera y ecológica para las comunidades.

- **Resiliencia comunitaria y adaptación al entorno:** Este tipo de infraestructura fortalece la resiliencia de las comunidades, demostrando que es posible convivir con un entorno propenso a inundaciones sin comprometer el acceso a servicios esenciales. Además, crea en los estudiantes y sus familias una conciencia de adaptación y sostenibilidad, aumentando la capacidad de la comunidad para hacer frente a los desafíos ambientales.

- **Impacto en el desarrollo académico y bienestar estudiantil:** Al reducir las interrupciones causadas por fenómenos naturales, el proyecto fomenta una continuidad en el aprendizaje, lo que se traduce en mejoras en el rendimiento académico. El diseño de estas aulas, enfocado en el confort y la funcionalidad, también crea un entorno de aprendizaje óptimo que contribuye al bienestar, la concentración y el desarrollo integral de los estudiantes.

- **Modelo educativo replicable y escalable:** Este proyecto piloto tiene el potencial de ser un referente para zonas con condiciones geográficas y climáticas similares, permitiendo la réplica de estas infraestructuras educativas en otras comunidades vulnerables. Su éxito podría impulsar políticas de construcción adaptativa y sostenible en el ámbito educativo, mejorando el acceso a la educación en zonas afectadas por el cambio climático.

- **Inspiración para futuras generaciones:** Al estudiar en un entorno que incorpora principios de sostenibilidad y adaptación al entorno, los estudiantes desarrollan una mentalidad innovadora y una conciencia ambiental. Esta experiencia fomenta habilidades para la resolución de problemas y genera un compromiso hacia la sostenibilidad, inspirando a las próximas generaciones a valorar y aplicar soluciones arquitectónicas adaptativas en su contexto.

Lista de Referencia o Bibliografía

- Campos, A., Holm-Nielsen, N., Díaz, C. Diana, M., Rubiano, V., Carlos, R., Costa, P., Ramírez, F. y Eric Dickson. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia* [Archivo PDF]. <https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/handle/20.500.11762/18426>
- Pinto, B. (2019). *Arquitectura y diseño flexible una revisión para una construcción más sostenible* [tesis de doctorado, Universidad politécnica de Catalunya].
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/176433>
- Lumainsky, N. (2014) *Prefabricación madera* [Tesis de pregrado, Universidad Torcuato di tella].
<https://repositorio.utdt.edu/handle/20.500.13098/1571>
- Navarrete, S. (2012). *Diseño paramétrico el gran desafío del siglo XXI* [Archivo PDF].
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5232287>
- Copien, J. (1998). *A pattern definition – Software patterns* [Archivo PDF].
<http://hillside.net/patterns/definition.html>
- Posada Garcia, L. y Rhenals Garrido, R. L. (2006). *Controles fluviales del Rio Cauca en la región de La Mojana*. Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8074?show=full>
- Cerro, V. (2022). *Análisis de características hidromorfológicas en la subregión de la mojana con énfasis en el departamento de Bolívar*. Universidad del Norte.
<https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/11463#page=1>

Pacini, J., Wainstein, G y Iriso, A. (2019). *Estructuras de madera, diseño, calculo y construcción*.

Editorial nobuko.