



Vigilada Mineducación



**SYSTEMIC PERSPECTIVES ON LOW-CARBON CITIES IN COLOMBIA- AN
INTEGRATED URBAN MODELING APPROACH FOR POLICY AND REGULATORY
ANALYSIS (UK PACT) FASE 2**

**(CIUDADES CON BAJAS EMISIONES DE CARBONO EN COLOMBIA UN ENFOQUE DE
MODELAJE URBANO INTEGRADO PARA EL ANÁLISIS DE POLÍTICAS)**

DOCUMENTO FINAL DE PROYECTO

BARRANQUILLA, COLOMBIA

FEBRERO DE 2021

CCS-017-20

1 INTRODUCCIÓN

La Universidad de los Andes ha solicitado a la Universidad del Norte, a través del Centro de Estudios Urbano Regionales - URBANUM y el Instituto de Estudios Hidráulicos y Ambientales -IDEHA, su participación en la Fase 2 del Proyecto denominado: *Systemic perspectives on low-carbon cities in Colombia- An integrated urban modeling approach for policy and regulatory análisis*, financiado con recursos del UKPACT Colombia, una alianza estratégica entre el Gobierno del Reino Unido y el Gobierno de Colombia para trabajar juntos en contra del cambio climático y en favor del crecimiento sostenible.

La Fase 1 del proyecto consistió en la evaluación, desde una óptica sectorial, de desarrollos urbanos nuevos o existentes a partir de consideraciones de sostenibilidad y resiliencia. Para ello, un equipo interdisciplinar de profesores e investigadores de la Universidad de los Andes elaboró una metodología de análisis y una caja de herramientas para apoyar el desarrollo urbano sostenible. El equipo tomó en consideración seis Sectores necesarios para un análisis de este tipo: *i.)* ecosistemas urbanos; *ii.)* manejo integrado del agua; *iii.)* suministro y uso de energía, *iv.)* gestión integrada de residuos; *v.)* movilidad sostenible y; *vi.)* edificaciones e infraestructura urbana; e implementó la metodología desarrollada a partir de la medición individual de Indicadores incorporados en las Variables de cada Sector.

La metodología fue aplicada en dos casos de estudio: el primero, *Ciudad Verde*, un barrio ubicado en el municipio de Soacha (Cundinamarca), al norte del casco urbano fronterizo con la localidad bogotana de Bosa, constituido como macroproyecto de vivienda para estratos 1, 2, 3, 4 y 5, en el que se construyeron 51,616 Unidades residenciales para albergar una población estimada de 159,686 Habitantes. El segundo, *Lagos de Torca*, un desarrollo urbano en la ciudad de Bogotá de 1,801 Hectáreas, en el que se proyectan 121,937 Unidades residenciales para 352,642 Habitantes proyectados, aún en etapa de diseño e inicio de construcción.

Para acometer el análisis, cada sector definió sus objetivos de desarrollo, identificó la línea base, diseñó y evaluó acciones para avanzar hacia escenarios de mejora de la calidad de vida, con menor huella de carbono, mayor resiliencia al cambio climático y condiciones aptas de habitabilidad.

Para la Fase 2 del Proyecto se cursó invitación a varias Universidades del país (Universidad del Norte en Barranquilla, Universidad Nacional en Manizales y una universidad de Villavicencio),

con la intención de analizar sectores incorporados en la metodología a partir de la elaboración de un estudio de caso en cada uno de los escenarios seleccionados, con la intención de retroalimentar la metodología, los análisis y consideraciones propuestas en la primera fase.

Además de lo anterior, para la Fase 2 se pidió a las Universidades invitadas a obtener resultados enfocados en sus campos de experticia, en particular, para la Universidad del Norte, los de Ecología Urbana y Manejo Integrado del Agua.

En atención a la amable invitación cursada, la Universidad del Norte aceptó ser parte de la Fase 2 de esta importante iniciativa, de allí la redacción de este documento, el cual da cuenta de los resultados, conclusiones y recomendaciones construidas como resultados del estudio de caso elaborado y ejecutado.

2 OBJETIVO DE ESTE DOCUMENTO

Este documento tiene como objetivo presentar las conclusiones, resultados y recomendaciones construidas como resultado de la ejecución del Estudio de Caso desarrollado por la Universidad del Norte en el área de influencia de la Ciénaga de Mallorquín, más concretamente, en el Barrio (Corregimiento) Eduardo Santos – La Playa, perteneciente al Distrito de Barranquilla. Como productos específicos resultantes de este trabajo se encuentran:

1. Un apartado que contiene el análisis sobre la disponibilidad de información de las variables requeridas por la metodología a evaluar y las variables necesarias para el estudio de caso, permitiendo identificar brechas de información que deban ser cubiertas con miras a una futura aplicación de la metodología;
2. Una estimación de indicadores para el componente de gestión integral del agua y ecología urbana contenidos en la metodología a evaluar que cuenten con información secundaria disponible;
3. Un apartado que contiene el análisis cualitativo con criterio experto del nivel de aplicabilidad y pertinencia de las variables de los componentes de gestión integral del agua y ecología urbana de la metodología a evaluar, en relación con las variables relevantes y necesarias identificadas por el equipo de trabajo Uninorte para el caso de estudio, reconociendo fortalezas y debilidades para la mejora de la metodología;

4. Un documento con los resultados del Taller Virtual de socialización de presentación de la metodología y los resultados de los proyectos a los tomadores de decisión a nivel regional.

3 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO DE CASO

3.1. EL DISTRITO ESPECIAL, INDUSTRIAL Y PORTUARIO DE BARRANQUILLA

El Distrito Especial, Industrial y Portuario de Barranquilla es la capital del departamento del Atlántico, ubicado en el vértice nororiental del departamento, sobre la orilla occidental del río Magdalena, a 7,5 km de su desembocadura sobre el mar Caribe. Además del Río Magdalena, la ciudad está bañada al Norte, precisamente, por la Ciénaga de Mallorquín y por el Mar Atlántico.

Barranquilla es considerada la ciudad más importante del Caribe colombiano con una población, según el Censo de 2018, de 1.206.319 habitantes y representa un aporte a la producción de bienes y servicios, siendo el principal centro económico de la Región Caribe de Colombia, dada su actividad comercial, de servicios e industrial.

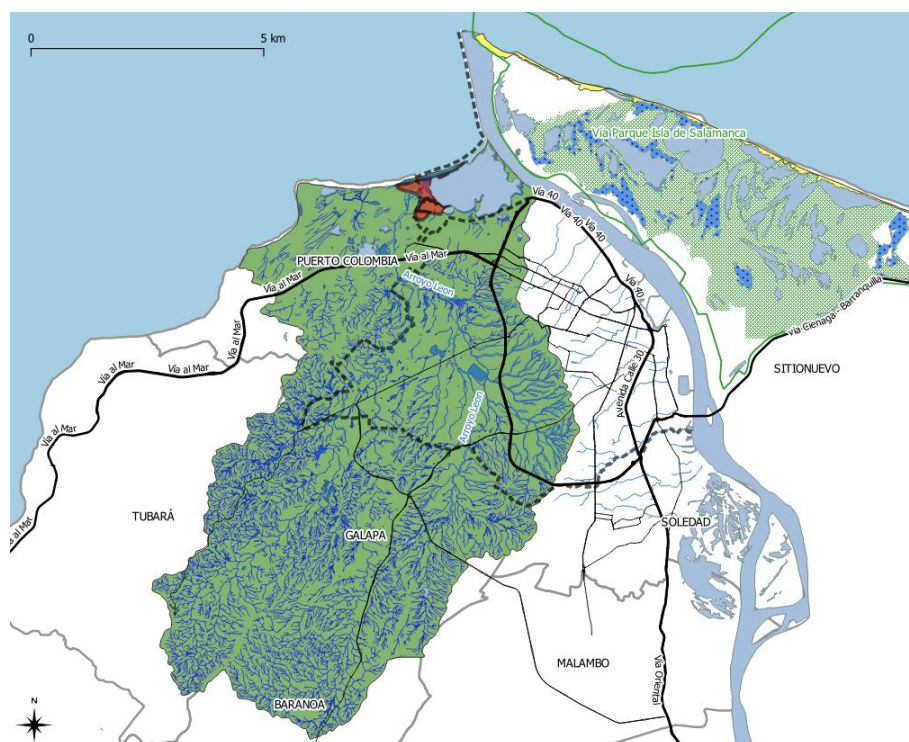
3.2. LA CIÉNAGA DE MALLORQUÍN: ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL DEL DISTRITO DE BARRANQUILLA

La Ciénaga de Mallorquín se encuentra ubicada en el extremo norte de la ciudad de Barranquilla, sobre la margen izquierda de la desembocadura del río Magdalena (Bocas de Ceniza), hace parte de la cuenca del río Magdalena y del Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena - Ciénaga Grande de Santa Marta, un sistema estuarino costero con 20 lagunas de salinidad variable, con varios ríos que atraviesan el área y extensas zonas de manglares. El sitio es importante por su ecosistema de manglares, que es el más grande de la costa caribeña de Colombia, también sirve como hábitat y lugar de reproducción invernal para varias especies de aves, tiene al menos dos especies de aves endémicas y también es un lugar de desove para muchas especies de peces.

Los centros urbanos de Barranquilla y Puerto Colombia se encuentran junto a la ciénaga, particularmente los barrios Eduardo Santos-La Playa y Las Flores (pertenecientes a Barranquilla), ubicados en los costados suroriente y suroccidente de esta.

En la Ciénaga Mallorquín confluyen aguas de la propia cuenca de la ciénaga, del río Magdalena y del Mar Caribe. La cuenca de la ciénaga drena aproximadamente 296 km² (incluyendo la misma ciénaga que tiene 7 km²) en los territorios de los municipios de Barranquilla, Puerto Colombia, Tubará, Baranoa, Galapa, Malambo y Soledad.

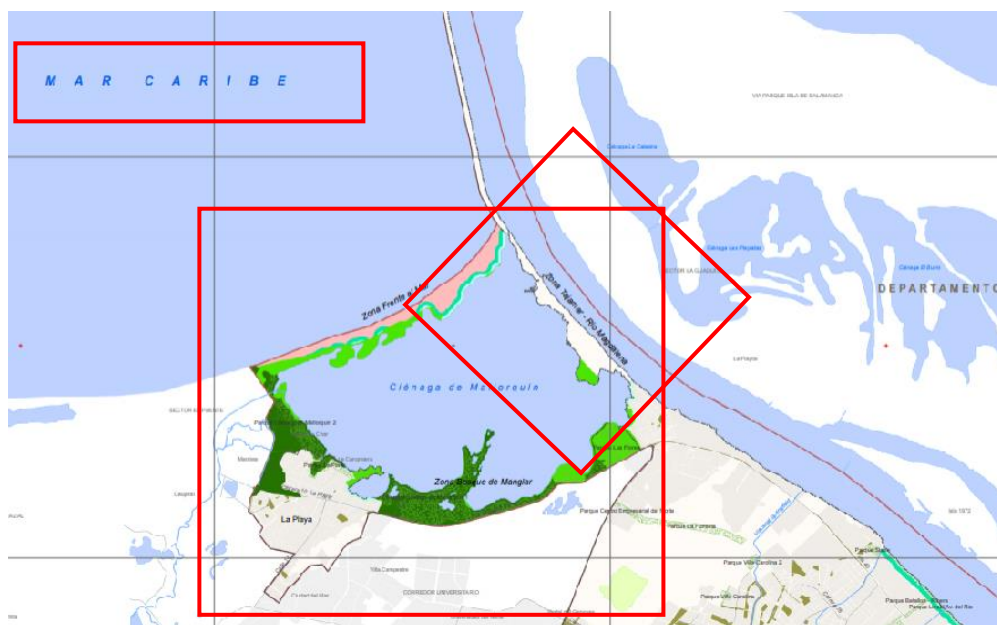
Imagen 1. Cuenca de la Ciénaga de Mallorquín



Fuente: Corporación Autónoma Regional del Atlántico-CRA, 2015, OSM 2020, Polígono propuesto por la Universidad del Norte (en rojo)

Alrededor de 30.000 habitantes de La Playa dependen económicamente de recursos pesqueros, agrícolas y madereros de la Ciénaga, lo cual ha generado una fuerte tendencia a la invasión sobre sus orillas, en términos de construcción de viviendas informales, puertos para embarcaciones pequeñas y demás infraestructuras construidas principalmente con basuras y arenas. Además, estos asentamientos son, en su gran mayoría, invasiones que no poseen infraestructura de servicios, particularmente de saneamiento básico (acueducto y alcantarillado) por lo que se produce un vertimiento constante de aguas servidas, lo cual aumenta los niveles de contaminación de la Ciénaga.

Imagen 2. Ciénaga de Mallorquín



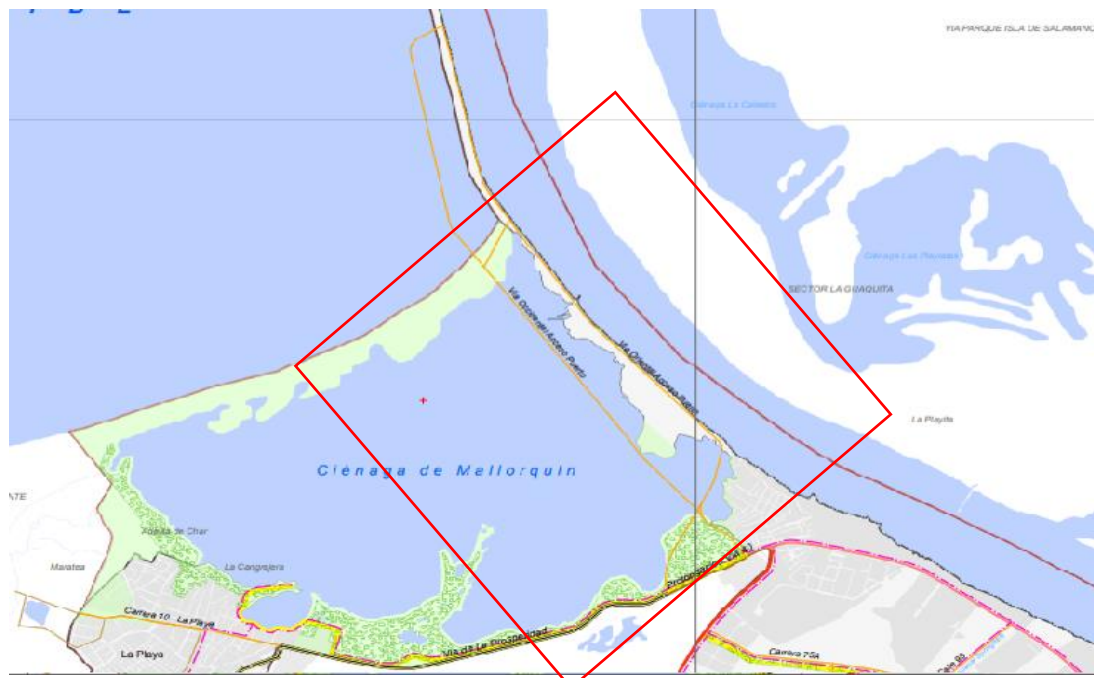
Fuente: Tomado del Plan de Ordenamiento Territorial de Barranquilla – Decreto 0212 de 2014. Plano G6:
Estructura Ecológica Principal

En 1935 se construyeron en la Ciénaga de Mallorquín tajamares que cambiaron su comportamiento al de laguna costera (humedal). Al ser un ecosistema de manglar, playas arenosas y fondos lodosos, brinda servicios ecosistémicos de aprovisionamiento a través de recursos hidrobiológicos (como peces, cangrejos, ostras, chipi chipi y caracol), de regulación mediante las funciones ecológicas de los manglares y servicios culturales asociados a los modos de vida de los pescadores y al disfrute estético de la Ciénaga, entre otros. Actualmente el espejo de agua cubre una extensión de unos 6,95 km² y profundidad promedio de un metro.

A pesar de su importancia ecosistémica, paisajística, de sumidero y de regulación climática, se encuentra en una zona en la que se proyectan y adelantan proyectos urbanísticos y de infraestructura. La Ciénaga se encuentra en la conurbación Barranquilla – Puerto Colombia en donde hay dos visiones encontradas y antagónicas en relación el desarrollo de la zona, pero que mantienen en común una intervención, por distintas vías:

Barranquilla ha pensado, por una parte, en la recuperación del ecosistema para promover el ecoturismo o algún tipo de desarrollo con restricciones (todo esto al interior de importantes visiones de desarrollo urbano sostenible como: Diamante Caribe y Santanderes, Ciudades Sostenibles y Competitivas y, más recientemente, Barranquilla como Biodiversidad), pero, al mismo tiempo mantiene la posibilidad de construir obras de infraestructura vial, como la que conectaría la ciudad con el Proyecto del Súper Puerto de Aguas Profundas, ubicado sobre el tajamar nororiental, ya en el mar caribe. Además de proyectos de interés nacional (PINES)

Imagen 3. Vía a súper puerto sobre la Ciénaga de Mallorquín



La situación se hace más complicada si, además, se suman los asentamientos precarios ubicados sobre la Ciénaga, los cuales, fueron consecuencia de invasiones y procesos de fraccionamiento público de los años setenta del siglo pasado. Lo anterior ha dado como

consecuencia la ubicación de viviendas palafíticas en la Ciénaga que carecen de las mínimas condiciones para su habitabilidad y, por supuesto, la vida.

Fotografía 1. Viviendas sobre la Ciénaga de Mallorquín



Fuente: Tomado del archivo de fotos de la Investigación sobre la precariedad en el Barrio Las Flores de Barranquilla. 2018 (Velásquez – Briceño)

Como se mencionó, los centros urbanos de Barranquilla y Puerto Colombia se encuentran junto a la ciénaga, en particular, el Corregimiento de La Playa¹ y el barrio Las Flores (pertenecientes a Barranquilla), los cuales, están ubicados en su costado suroriente y suroccidente.

¹ A pesar de que el Corregimiento La Playa está en suelo del Municipio de Puerto Colombia, se encuentra cobijado por la figura del Centro Poblado (art. 31 Ley 388 de 1997) como suelo urbano del Distrito de Barranquilla. Esta exótica situación se originó como consecuencia de la indefinición de los límites del Distrito de Barranquilla, situación que lleva ya 27 años, cuando el municipio de Barranquilla fue erigido en Distrito Especial, Industrial y Portuario. Lo más curioso de todo es que Barranquilla y Puerto Colombia hacen parte de la misma Área Metropolitana (de Barranquilla), el primero como municipio núcleo y el segundo como municipio satélite del área y, aún así, no han podido fijar sus límites, lo cual da a entender que mucha coordinación en relación con su desarrollo territorial, no hay.

Fotografía 2. Embarcaderos artesanales sobre la Ciénaga de Mallorquín



Fuente: Tomado del archivo de fotos de la Investigación sobre la precariedad en el Barrio Las Flores de Barranquilla. 2018 (Velásquez – Briceño)

Fotografía 3. Viviendas sobre la Ciénaga



Fuente: Tomado del archivo de fotos de la Investigación sobre la precariedad en el Barrio Las Flores de Barranquilla. 2018 (Velásquez – Briceño)

Fotografía 4. Viviendas en frente de la Ciénaga



Fuente: Tomado del archivo de fotos de la Investigación sobre la precariedad en el Barrio Las Flores de Barranquilla. 2018 (Velásquez – Briceño)

Recientemente se ha venido reflexionando sobre las alternativas para la restauración y conservación de este ecosistema al tiempo que se puedan ofrecer fórmulas para la generación de ingresos a las familias que dependen de este ecosistema, por ejemplo, a través de proyectos sostenibles de turismo y recreación. Dos de esos proyectos propuestos son el “ecoparque Ciénaga de Mallorquín” y el “tren turístico Las Flores –Bocas de Ceniza” que conectaría a la ciudad con la ciénaga y con la Playa de Puerto Mocho, ubicada en el tamar occidental de la ciudad en la desembocadura del Río Magdalena.

Como se ve, muchas cosas se proyectan en la zona de influencia de la Ciénaga, no solo al interior del ecosistema, sino también en las zonas contiguas y aledañas, muchas de ellas, además, con fines o propósitos contradictorios o que implican esfuerzos en sentidos contrarios.

3.3. EL CORREGIMIENTO (BARRIO) EDUARDO SANTOS – LA PLAYA Y LA CIUDELA ADELITA DE CHAR

El Corregimiento (Barrio) Eduardo Santos - La Playa se encuentra situado a 7 km al noroccidente del Distrito de Barranquilla, edificado sobre un terreno plano, de condición variable y fangosa, el cual limita al norte con la Ciénaga de Mallorquín, al sur con canteras

para la extracción de material de construcción (El Triunfo y Montes Densos), al oeste con el kilómetro 7 de la antigua Vía al Mar (donde hoy se encuentra el Corredor Universitario) y al este, con socavones generados por las explotaciones de cantera que se han dado en la zona.

La Playa fue, en origen, un corregimiento perteneciente al municipio de Puerto Colombia, cuyos antecedentes se remontan a principios del siglo XX llamándose originalmente "La Playa" y cambiando, posteriormente a Eduardo Santos, en honor al expresidente del mismo nombre que visitó la zona.

De acuerdo con Rengifo (2005), en la década de los cincuenta aumentó la migración a las ciudades debido a la intensificación de los conflictos partidistas (liberales y conservadores) que se disputaban el poder. A lo anterior, se le sumaron los problemas de violencia y falta de oportunidades en las zonas rurales, apareciendo diversos grupos guerrilleros, inicialmente, en zonas montañosas y apartadas y luego en distintos rincones del país, lo cual acentuó el desplazamiento hacia las ciudades.

Precisamente, el Barrio La Playa es consecuencia del poblamiento de centenas de personas desplazadas quienes ocuparon con invasiones y asentamientos precarios, gran parte de su extensión. Desde los 70 del siglo las olas migratorias fueron conformando un asentamiento en el que se combinan, hasta hoy, zonas formales junto a construcciones con materiales de todo tipo.

Fue a través de la modificación de la Constitución de 1991, por medio del Acto Legislativo 01 de 1993, que La Playa pasó de ser parte del municipio de Puerto Colombia a convertirse en corregimiento del Distrito Especial Industrial y Portuario de Barranquilla.

Tradicional e históricamente, los habitantes de La Playa se dedicaron a la pesca, agricultura minoritaria y corte de leña, actividades que hoy se siguen realizando, pero con una notoria merma en su productividad. De manera principal, la población del barrio está dedicada al comercio, debido a la conformación de una zona económica semiformal en la cual destacan la compraventa de productos manufacturados, ropa y comida.

En parte la merma de las actividades tradicionales vino como consecuencia de distintos proyectos urbanísticos llevados a cabo en la zona, ya que, a pesar de ser un corregimiento y, por tanto, suelo rural del distrito de Barranquilla, su clasificación como Centro Poblado, de

conformidad con la ley 388 de 1997², permite adelantar las actuaciones de urbanización y construcción en su interior.

Uno de los proyectos realizados, la Urbanización Adelita de Char (**Imagen 4**, **Imagen 5**), cuenta hoy con cinco etapas proyectadas. Para realizar este proyecto se intervino un importante tramo del Arroyo León, con lo que se hizo perder fluidez el agua y oxigenación provocando, junto al dragado de la Ciénaga de Mallorquín realizado para el proyecto de un Superpuerto de Aguas Profundas en el tajamar occidental del canal de acceso a Barranquilla, una mortandad de peces y animales locales, y acelerando la deforestación de manglares que ya venía avanzada debido a la inadecuada actividad humana y destruyendo casi por completo el turismo y la pesca en la zona.

Imagen 4. Urbanización Adelita de Char



Fuente: Google Earth, (s.f.-a) 2020

La ciudadela Adelita de Char está edificada en un terreno plano y cenagoso cerca de la Ciénaga de Mallorquín y la desembocadura del Río Magdalena. Es una microciudad de 5.000 unidades de vivienda, de las cuales 1.300 casas están terminadas y de éstas 700 están habitadas, está

² Art. 31 Ley 388 de 1997

dividida en cinco etapas, constituidas por manzanas rectangulares, el entorno construido es de alta densidad, con edificios en bloque con altura promedio de 5 metros.

Imagen 5. Urbanización Adelita de Char



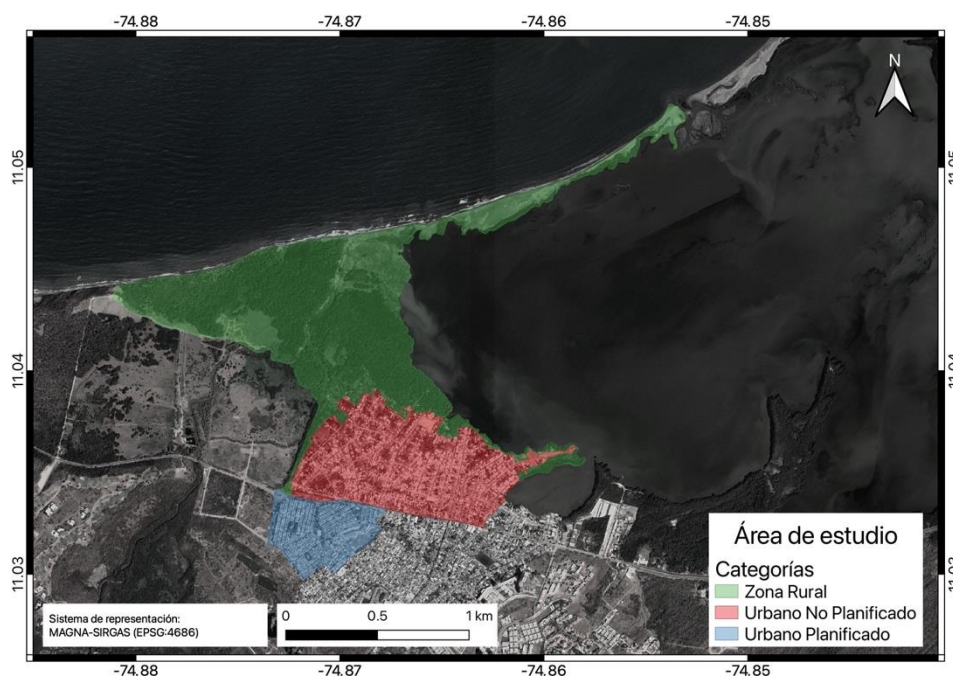
Fuente: Google Earth (s.f.-b). 2020

La primera etapa de esta urbanización está conformada en la zona tradicional del barrio, por 17 manzanas rectangulares de aproximadamente 82 m. de largo por 19 de ancho, con andenes de 1.4 m. y zonas de antejardín de 1.2 m; cada manzana contiene 28 viviendas pareadas. La etapa 1 está limitada por dos vías importantes, ejes viales caracterizados por un bajo tráfico vehicular y constante a lo largo del día. El sector cuenta con una superficie altamente pavimentada y poco arborizada con topografía de muy baja pendiente. Las zonas circundantes, son espacios densamente construidos con viviendas de uno y dos pisos, los cuales fueron obtenidos y urbanizados por invasión, sin licencias y, por tanto, sin planificación, ni desarrollo previo.

La zona seleccionada para realizar la modelación con base en la metodología realizada por Uniandes es, precisamente, un polígono que cobija parte de la zona formal de la Urbanización Adelita de Char con asentamientos informales, sin planificación, ni formalización, contiguo a la Ciénaga de Mallorquín al interior del Corregimiento (Barrio) Eduardo Santos -La Playa

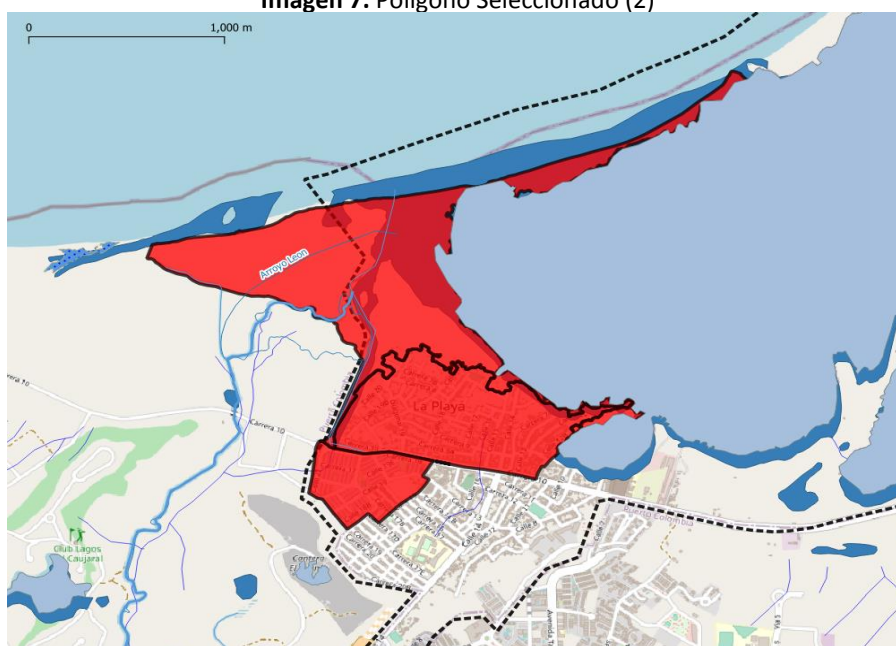
(Imagen 3 y 4). El Polígono seleccionado corresponde a un territorio de 193.9 ha., de las cuales 19.7 ha (10% de la zona de estudio) han tenido un desarrollo urbano planificado, 58.7 ha (30% de la zona de estudio) tuvieron desarrollo urbano no planificado, y 115.6 ha (60%) corresponden a zona rural (Tabla 1).

Imagen 6. Polígono Seleccionado (1)



Fuente: elaboración propia, 2021 con base en Google Earths.

Imagen 7. Polígono Seleccionado (2)



Fuente: elaboración propia, 2021 con base en Open Street Map y Google Earth (s.f.-d)

Tabla 1. Descripción del área de estudio: población y extensión

Zona	Población (número de habitantes)	Área (m ²)	Área (Ha)
Urbana no planificada	14 835	586 608	58,7
Urbana planificada	8 174	196 962	19,7
Zona rural	0	1 155 561	115,6
TOTAL	23 009	1 939 131	193,9

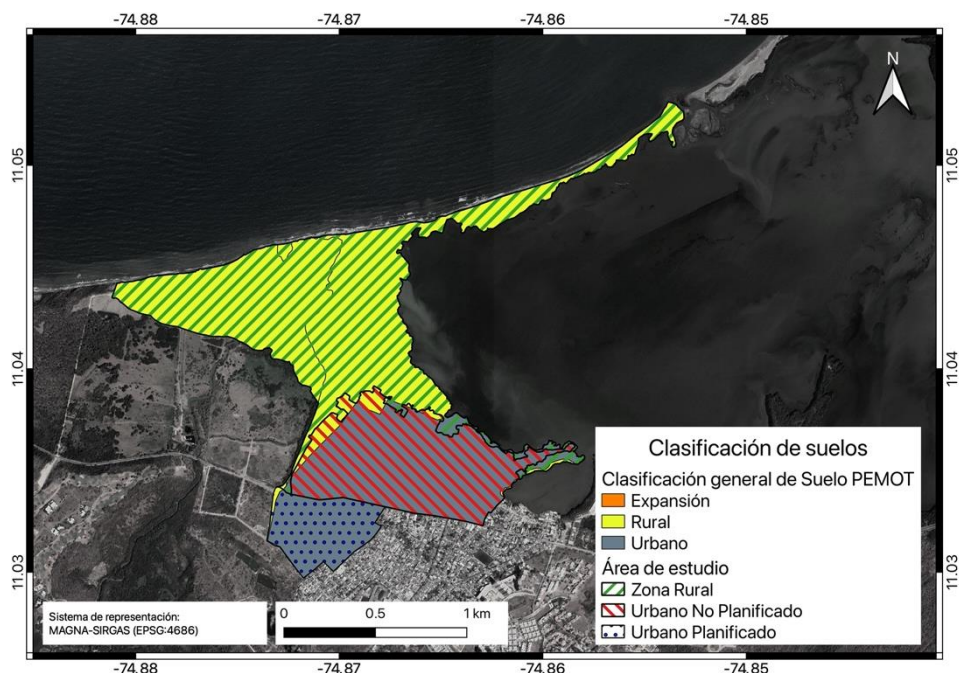
Fuente: elaboración propia, 2021

Tanto la Ciénaga de Mallorquín como las urbanizaciones colindantes mantienen una dinámica compleja dada por el crecimiento de la ciudad y las transformaciones costeras. Al contrastar el desarrollo urbano que se ha dado en el área de estudio con la zonificación de suelos se evidencia que el desarrollo urbano no planificado se ha expandido sobre el suelo rural ocasionando una zona de conflicto del uso del suelo (Imagen 5) y de continuar podría poner en riesgo la integridad ecológica del área rural en donde predominan ecosistemas estratégicos como los manglares. Sumado a lo anterior, el litoral de la Ciénaga es altamente dinámico y ha sufrido un proceso de erosión, en donde la barra litoral, que configura el límite norte de la Ciénaga, se ha desplazado en dirección sur a una tasa de 0,14 metros/año entre 1973 y 2016 (Rivillas-Ospina et al 2018)³, cambiando la extensión de la Ciénaga y con esto cambiando la extensión y ubicación de las áreas de manglar, cuerpo de agua y otras coberturas asociadas (Imagen 6). De hecho, entre los años 2004 y 2019, el espejo de agua perdió 172 hectáreas debido a la dinámica costera y los manglares perdieron 6,7 hectáreas por el crecimiento urbano (Rojas et al 2020)⁴.

³ Rivillas-Ospina, G.D., G. Ruiz-Martínez, R. Silva, E. Mendoza, C. Pacheco, G. Acuña, J. Rueda, A. Felix, J. Pérez, and C. Pinilla. 2018. Physical and morphological changes to wetlands induced by coastal structures. In: C.W. Finkl and C. Makowski (eds.). *Coastal Wetlands: Alteration and Remediation*. Springer, Cham, Switzerland. pp. 275-315

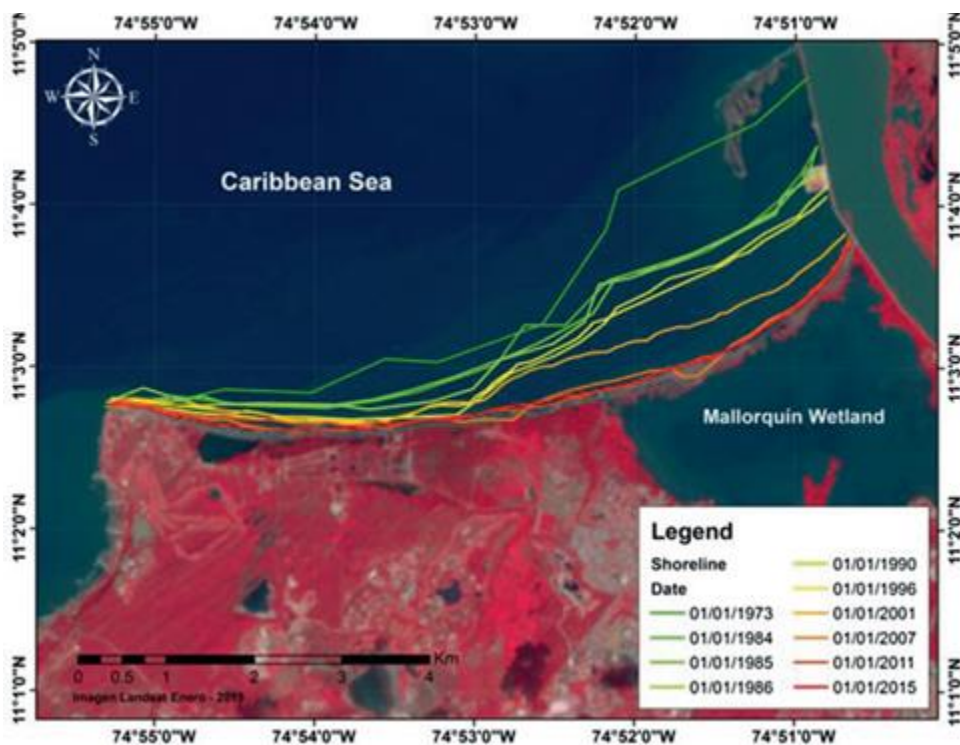
⁴ Rojas C., Aldana-Domínguez J., Munizaga J., Moschella, P., Martínez C., and Stamm C. 2020. Urban Wetland Trends in Three Latin American Cities during the Latest Decades (2002-2019): Concón (Chile), Barranquilla (Colombia), and Lima (Peru). *Wetlands, Science and Practice* 37(4): 283-293 ISSN: 1943-6254

Imagen 8. Clasificación general de suelos en el área de estudio



Fuente: Plan estratégico metropolitano de ordenamiento territorial de Barranquilla (PEMOT), y elaboración propia, 2021 con base en Google Earth(s.f.-E)

Imagen 9. Cambios temporales de la ubicación de la barra de la Ciénaga de Mallorquín entre los años 1973 (línea verde oscuro) y 2016 (línea roja)



Fuente: Rivillas-Ospina et al 2018

4 ANÁLISIS SOBRE FUENTES DE INFORMACIÓN DISPONIBLES Y POR LEVANTAR

4.1. PARA EL COMPONENTE DE ECOLOGÍA URBANA

De acuerdo con los documentos preparados para desarrollar el modelo, en el Componente de *Ecología Urbana* se estimaron ocho indicadores, así como sus respectivas fuentes de información. En ese sentido, en este acápite No. 4 se presenta el análisis sobre las fuentes de información disponibles y por levantar para el análisis de este componente al interior del modelo urbano integrado diseñado, tomando en consideración el caso de análisis en la ciudad de Barranquilla.

Es de resaltar que esta evaluación de las fuentes de información se proyecta como un indicador adicional de la sostenibilidad de la ciudad, toda vez que el modelo propuesto es sensible a la calidad de datos que sean usados, y que una ciudad que cuenta con una infraestructura de datos adecuada, con información de calidad y accesibles para su uso, es una ciudad que se encuentra mejor preparada para la planeación hacia una sostenible y resiliente.

4.1.1. Ciudad con espacio público verde: Se refiere a la disponibilidad específica de área verde pública, como elemento estructural de la ecología urbana y para el desarrollo de actividades recreativas, deportivas, de integración social entre otras, que contribuyen a una mejor calidad de vida y salud de la población. Para la medición de esta subcategoría se estimó el indicador:

- i.) *Área verde pública por habitante:* Este indicador busca realizar un diagnóstico del espacio público verde disponible para cada habitante independiente de su categoría. Las fuentes de información propuestas para la medición de este indicador son: a.) POT de Barranquilla; b.) Imágenes de satélite disponibles en Google Earth, c.) Geoportal DANE.

Las áreas verdes públicas incluyen: los parques, plazoletas y zonas verdes, las áreas verdes asociadas al sistema vial y los espacios públicos no regularizados.

Los **parques, plazoletas y zonas verdes** se establecieron a partir de lo establecido en el Plan de Ordenamiento Territorial- POT de Barranquilla. El plano “U-05 Sistema de Espacio Público” establece los parques, plazoletas, plazas y zonas verdes en formato pdf. Aquí se incluyen las

áreas verdes del sistema vial. Esta información está disponible en la página web de la Alcaldía de Barranquilla. Al estar el pdf la información, es necesario dibujar nuevamente los polígonos para ser utilizados en un sistema de información geográfico. Para establecer las áreas de los **espacios públicos no regularizados** (áreas públicas sin un uso particular o un uso establecido en el POT) fue necesario dibujarlas a partir de imágenes de satélite disponibles en Google Earth. Una vez se tienen todas las áreas se suman para establecer el **total de las áreas verdes públicas**.

Para establecer la población se consultó el Geoportal del DANE que es una fuente de información abierta al público a través de internet. La consulta se realizó dibujando el polígono del área de estudio y se obtuvieron los datos correspondientes al número de habitantes censados en 2018.

La información para establecer este indicador una parte es pública y accesible, pero requiere de un procesamiento adicional para poderla analizar en un sistema de información geográfica. Otra parte de la información fue necesario levantarla en este proyecto (Tabla 2)

Tabla 2. Fuentes de información y accesibilidad para la estimación de las variables e indicadores del componente de Ecología Urbana⁵.

Componente	Nombre del indicador	Nombre de la variable	Información base accesible	Información en formato que requiere procesamiento	Información con costo	Información no existente y requiere de levantamiento
Ecología urbana	Área verde pública por habitante	Área verde pública: parques, plazas y zonas verdes. Incluye las áreas verdes asociadas al sistema vial		POT		
		Espacios públicos no regularizado				Producido por el proyecto
		Número de habitantes	DANE			
	Área verde protegida	Áreas protegidas			POMCA	
		Área verde total		POT	POMCA	Producido por el proyecto
	Área espacios públicos infraestructura verde por habitante	Área verde asociada al sistema vial		POT		Producido por el proyecto
		Área verde pública		POT		Producido por el proyecto
		Número de habitantes	DANE			
	Área espacios verdes privados	Áreas verdes privadas				Producido por el proyecto
		Área verde urbana total		POT		Producido por el proyecto
	Accesibilidad social	Parques zonales		POT		
	Índice de Naturalidad	Área espacios públicos infraestructura verde		POT		Producido por el proyecto
		Áreas duras				Producido por el proyecto
	Conectividad Ecológica	Áreas naturales y seminaturales	IGAC			Producido por el proyecto
	Captura de carbono	Áreas de manglar				Producido por el proyecto
		Arbolado urbano				Producido por el proyecto

Fuente: elaboración propia, 2021

4.1.2. *Ciudad con estructura ecológica principal:* Hace referencia a la existencia de espacio verde público correspondiente a las áreas protegidas urbanas u otros elementos de la estructura ecológica principal. Comprende las áreas que mantienen un alto nivel de naturalidad por su forma, topografía y biodiversidad, o con alto potencial para la restauración ecológica. Estas áreas cumplen una función ecológica vital y única que generalmente trasciende el ámbito municipal; no son reemplazables ni reubicables y su

⁵ Los colores tipo semáforo muestran en verde claro la información pública totalmente accesible, en verde oscuro la información disponible pero que requiere un procesamiento adicional, en amarillo la información que está accesible, pero con costo económico y en rojo la información que requiere ser levantada por el proyecto.

previsión es de carácter obligatorio. Para la medición de esta subcategoría se estimó el indicador:

- ii.) *Área verde protegida*: el indicador busca determinar la relación entre la disponibilidad de áreas verdes protegidas con el total de áreas verdes. Las fuentes de información propuestas para este propósito son: a.) POMCA de la Ciénaga de Mallorquín; b.) POT de Barranquilla, c.) Imágenes de satélite disponibles en Google Earth.

Para la construcción de este indicador se consideraron las áreas establecidas en la zonificación ambiental del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Ciénaga de Mallorquín (POMCA), específicamente las establecidas en el ajuste realizado en 2015. Las áreas de protección establecidas en el POMCA incluidas en la zona de estudio son:

- Zonas de preservación de Manglar
- Zonas de recuperación de ecosistemas estratégicos
- Zonas de recuperación de Manglar tipo I
- Zonas de recuperación de Manglar tipo II

La cartografía a escala 1:25000 no es de acceso libre y la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA) mediante la resolución 0366 de 2019 establece el cobro por el acceso a esta información. Así que su accesibilidad está limitada por el costo.

El Área verde total se estableció como la sumatoria del Área verde pública (calculada en el indicador 1) + Áreas verdes privadas + Áreas verdes protegidas + Áreas verdes con cobertura boscosa identificada en el proyecto.

Las Áreas verdes privadas y las áreas verdes con cobertura boscosa (las cuales corresponden a las áreas cubiertas de manglar) se dibujaron a partir de imágenes de satélite disponibles en Google Earth.

La información para establecer este indicador una parte es pública y accesible, pero requiere de un procesamiento adicional para poderla analizar en un sistema de información geográfica (POT), otra parte de la información requiere ser comprada (POMCA) y otra requirió se levantarla en este proyecto (Tabla 2)

4.1.3. *Ciudad con estructura ecológica integral (áreas verdes diferenciadas y complementarias)* Se refiere al reconocimiento de contar con áreas verdes con diversas características y funcionalidad, las cuales complementan las áreas protegidas y estructuran y garantizan la funcionalidad social y ecológica del sistema de áreas verdes públicas urbanas. Comprende diferenciadamente la disponibilidad de espacios de la infraestructura verde urbana generados en el proceso de desarrollo urbano. Para la medición de esta subcategoría se estimaron dos indicadores:

- i. *Área espacios públicos infraestructura verde por habitante:* el cual busca realizar un diagnóstico del espacio verde de infraestructura pública disponible para cada habitante. Las fuentes de información propuestas para este indicador son: a.) Plan de Ordenamiento Territorial de Barranquilla-POT; b.) Imágenes de satélite de Google Earth; c.) DANE

Para medir este indicador se utilizaron las variables medidas anteriormente y de forma adicional se calcularon las áreas verdes asociadas al sistema vial. Se tomaron como base las Zonas verdes del “Plano U5” correspondiente al Sistema de Espacio Público del POT de Barranquilla, las cuales no están categorizadas. Por esta razón, se extrajeron las zonas asociadas al sistema vial y se le restaron las áreas de las vías. Las áreas verdes asociadas al sistema vial se corroboraron utilizando imágenes de satélite disponibles en Google Earth.

Para establecer la población se consultó el Geoportal del DANE que es una fuente de información abierta al público a través de internet. La consulta se realizó dibujando el polígono del área de estudio y se obtuvieron los datos correspondientes al número de habitantes censados en 2018 (Tabla 2)

- ii. *Área espacios verdes privados:* busca aproximarse a la oferta de funciones ecológicas prestadas por los espacios verdes privados y a la cantidad de éstos respecto con la población del área de análisis. Se enfoca más a una disponibilidad de espacios complementarios donde se pueden llevar a cabo medidas de renaturalización y conectividad. Las fuentes de información propuestas para este indicador son: a.) Imágenes satelitales disponibles en Google Earth.

Para estimar este indicador no se encontró información oficial y accesible sobre las áreas verdes privadas. Por esta razón se dibujaron los polígonos de áreas verdes utilizando

imágenes de satélite disponibles en Google Earth y se realizó una salida de campo para corroborar el uso privado de estos espacios verdes.

Se calculó el porcentaje de las áreas verdes privadas respecto al total de las áreas verdes urbanas. Estas últimas corresponden a la sumatoria de Parques, plazoletas y zonas verdes establecidas en el POT de Barranquilla, los espacios públicos no regularizados y las áreas verdes asociadas al sistema vial, cuyas fuentes de información se comentaron en los anteriores indicadores (Tabla 2).

4.1.4. *Ciudad con funcionalidad social y ecológica:* Se refiere no solo la cantidad sino la calidad de los diversos espacios verdes urbanos, calidad relacionada con su accesibilidad social, su conectividad ecológica y su índice de naturalidad. La calidad social se aborda en función de la accesibilidad de las personas a los diversos tipos de áreas, en tanto que la funcionalidad ecológica en función de los niveles de conectividad ecológica determinados por la dimensión y por coberturas vegetales de las áreas verdes. Para la medición de esta subcategoría se estimaron tres indicadores:

i.) *Accesibilidad Social:* este indicador propone identificar si la ubicación de los espacios verdes garantiza la accesibilidad de manera equitativa de la población a parques zonales y metropolitanos. La información propuesta para medir este indicador fue: a.) POT de Barranquilla

En la definición del indicador solo se incluyen las áreas verdes correspondientes a los Parques zonales. La fuente de información de los parques zonales fue el POT de Barranquilla y la verificación en campo. Con base en estos parques se construyeron los buffers de 100 y 300 metros. La accesibilidad de la información del POT ya fue comentada (Tabla 2).

ii.) *Índice de Naturalidad:* Establecer el porcentaje de áreas duras dentro de las áreas verdes para determinar el porcentaje que puede tener cobertura vegetal. Las fuentes de información propuestas para este indicador fueron: a.) POT de Barranquilla; b.) Imágenes de satélite disponibles en Google Earth.

Las fuentes de información para estimar este indicador son las mismas que para el espacio público con infraestructura verde (POT de Barranquilla e imágenes satelitales). Las áreas duras fueron interpretadas a partir de las imágenes satelitales disponibles en Google Earth (Tabla 1)

- iii.) *Conectividad Ecológica*: busca Identificar las franjas de conectividad y su intensidad para orientar medidas de recuperación y mejoramiento. Las fuentes de información propuestas para este indicador son: a.) Cartografía base nacional (IGAC); b.) Imágenes de satélite disponibles en Google Earth.

Cartografía base nacional (IGAC) ⁶ correspondiente a la hidrología y cuerpos de agua, esta información es de acceso libre. Adicionalmente, se realizó una interpretación visual a partir de imágenes de satélite disponibles en Google Earth para identificar las áreas con alta cobertura natural y seminatural en los alrededores del área de estudio (Tabla 2).

- 4.1.5. *Ciudad social y ecológicamente funcional y resiliente*: Se refiere a la capacidad de las diversas categorías de áreas verdes para ofrecer servicios ecosistémicos asociados con la mitigación y adaptación al cambio climático, como lo son la captura de CO₂ y regulación del clima local en la planeación y toma de decisiones. Para la medición de esta subcategoría se estimó el indicador:

- i.) *Captura de carbono*: Este indicador pretende visibilizar e incluir como factor determinante en la toma de decisiones el servicio ecosistémico de captura de carbono. Las fuentes de información propuestas para este indicador fueron: a.) Cartografía e información desarrolladores de proyectos y entidades oficiales; b.) Imágenes satelitales; c.) Información del IPCC; d.) Estudios locales

⁶ Sistema de Información Geográfica para la planeación y el Ordenamiento Territorial (igac.gov.co)

4.2. PARA EL COMPONENTE DE MANEJO INTEGRAL DEL AGUA

De acuerdo con los documentos preparados para desarrollar el modelo, para el Componente de *Manejo Integral del Agua* se identificaron seis variables con sus indicadores, así como sus respectivas fuentes de información. En ese sentido, en este acápite No. 4 se presenta el análisis sobre las fuentes de información disponibles y por levantar para el análisis de este componente al interior del modelo urbano integrado diseñado, tomando en consideración el caso de análisis en la ciudad de Barranquilla. La accesibilidad y las fuentes de información necesarias para este componente se encuentran resumidas en la Tabla 3:

Tabla 3. Fuentes de información y accesibilidad para la estimación de las variables e indicadores del componente de Manejo Integral Del Agua

Componente	Nombre del indicador	Nombre de la variable	Información base accesible	Información base en formato que requiere	Información con costo	Información no existente y requiere de levantamiento
Sector agua	Cumplimiento de la calidad requerida del	Calidad y número de muestras de agua		Triple A S.A.		
	Asequibilidad al servicio de agua potable y alcantarillado	Ingreso por hogar				Producido por el
		Gastos esenciales				Producido por el
	Continuidad del servicio de agua	Tarifa del acueducto y alcantarillado	Triple A S.A.			
		Índice de Continuidad	Sistema Único de Información de Servicios Públicos			
	Cobertura del servicio de alcantarillado sanitario	Análisis de las pérdidas de agua en sistemas de	Sistema Único de Información de Servicios Públicos			
		Unidades de viviendas conectadas al sistema de alcantarillado				Producido por el proyecto
	Cobertura del servicio de alcantarillado pluvial	Unidades de vivienda en el área				Producido por el proyecto
		Área urbanizada cuya escorrentía es manejada por un sistema de drenaje				Información no existente
	Confiabilidad del sistema de drenaje	Fallas en el sistema de drenaje				Información no existente
		Información de las estructuras de				Información no existente
	Calidad del cuerpo de agua receptor	Parámetros para el cálculo del Índice de Calidad del Agua en corrientes		INVEMAR (REDCAM), Corporación Autónoma Regional del Atlántico y la		
	Agua residual tratada al nivel de calidad requerido					Producido por el proyecto
	Morbilidad y Mortalidad por enfermedades de origen hídrico	Población del caso estudio		DANE y POT		
		Población de Barranquilla	DANE			
		Área del polígono de caso estudio				Producido por el proyecto
		Área de Barranquilla	POT			
		Tasas de mortalidad		DANE y Ministerio de salud		
		Tasas de morbilidad		Ministerio de salud		
	Vulnerabilidad costera	Topografía de la zona costera			IGAC	Producido por el proyecto
		Tasa de erosión				Producido por el proyecto
		Presencia de dunas				Producido por el proyecto
		Presencia de estructuras de				Producido por el proyecto
		Tipo de cobertura de	IGAC			Producido por el proyecto

Fuente: Elaboración propia, 2021

4.1.6. La primera variable comprende el *suministro de agua a la población*: a fin de asegurar un acceso adecuado y efectivo al servicio de provisión de agua potable. Para esta variable fueron propuestos dos indicadores:

- i. *Cumplimiento de la calidad requerida del agua*, el cual pretende cuantificar el cumplimiento de la calidad requerida del agua según el uso. Las fuentes de información para la construcción del indicador fueron: a.) Calidad de las muestras de agua potable: Empresa de Servicios Públicos de Agua (TRIPLE AAA) y, b.) Calidad del agua lluvia aprovechada y/o agua gris tratada: Reporte de muestreos de agua sobre *Índice de riesgo para la calidad del agua potable (IRCA)*: Sistema Único de Información (SUI).
- ii. *Asequibilidad al servicio de agua potable y alcantarillado*, cuyo objetivo es establecer si existen limitaciones en el acceso al servicio de agua potable y alcantarillado debido a sus costos. Las fuentes de información para este indicador fueron: a.) Ingreso por hogar: Encuesta a los habitantes, encuesta multipropósito del DANE o encuesta nacional de hogares del DANE; b.) Gastos esenciales por hogar: Encuesta a los habitantes o encuesta multipropósito del DANE; y, c.) Tarifa del acueducto y alcantarillado: Empresa de Servicios Públicos de Agua Potable

Para Estimar este indicador se tomaron como fuentes *Calidad de las muestras de agua potable*: Empresa de Servicios Públicos de Agua y el *Índice de riesgo para la calidad del agua potable (IRCA)*: Sistema Único de Información (SUI), *Ingresos y gastos esenciales por hogar*: Encuesta a los habitantes, encuesta multipropósito del DANE o encuesta nacional de hogares del DANE, *Tarifa del acueducto y alcantarillado*: Empresa de Servicios Públicos de Agua Potable *Investigaciones previas*: Measuring Household Affordability for Water and Sewer Utilities por Manuel Teodoro (2018)

4.1.7. *cobertura del sistema de alcantarillado sanitario*: en esta variable se consideró la cobertura del servicio de alcantarillado sanitario como el indicador relevante, a fin de cuantificar el porcentaje de la población con acceso a este servicio. En virtud de lo anterior, el indicador es:

- i.) *Cobertura del servicio de alcantarillado sanitario*, el cual pretende cuantificar el porcentaje de la población con acceso al servicio de alcantarillado sanitario con el fin de establecer si existe un déficit en la prestación del servicio. Las fuentes de información para este propósito son: a.) Unidades de viviendas

conectadas al sistema de alcantarillado: Empresa de Servicios Públicos de Agua y Alcantarillado y; b.) Unidades de vivienda en el área: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) o Departamento de Planeación de la ciudad.

4.1.8. *cobertura del sistema de drenaje pluvial*: a fin de verificar si la zona cuenta con un sistema de alcantarillado pluvial que permita el drenaje de las escorrentías pluviales. Para el cálculo de esta variable se construyeron dos indicadores:

i.) *Cobertura del servicio de alcantarillado pluvial*: el cual busca cuantificar el porcentaje del área en la que la escorrentía generada es manejada mediante sistemas de drenaje convencionales para establecer si existe déficit en la infraestructura; evalúa la cobertura del servicio de alcantarillado pluvial en las zonas urbanas. Las fuentes de información para este indicador fueron: a.) Área urbanizada cuya escorrentía es manejada por un sistema de drenaje: Empresa de Servicios Públicos de Agua y Alcantarillado y; b.) Área urbanizada total: Departamento de Planeación de la ciudad;

ii.) *Confiabilidad del sistema de drenaje*: El cual pretende cuantificar el desempeño del sistema de drenaje en términos de su confiabilidad. Así pues, representa la cantidad de tiempo en la que el sistema permanece en un estado satisfactorio (i.e., no hay sobrecarga en las estructuras) considerando un horizonte de tiempo definido. Para la construcción de este indicador se usaron dos fuentes de información: a.) Fallas en el sistema de drenaje: Empresa de Servicios Públicos de Agua o modelos hidráulicos y; b.) Información de las estructuras de drenaje convencional y no convencional: Empresa de Servicios Públicos de Agua.

- Para Estimar este indicador se tomaron como fuentes *Índice de Continuidad por municipio*: Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI), *Fallas en el sistema de drenaje*: Empresa de Servicios Públicos de Agua o modelos hidráulicos, *Información de las estructuras de drenaje convencional y no convencional*: Empresa de Servicios Públicos de Agua

4.1.9. *calidad de los cuerpos de agua receptores*, en esta variable se reconoce el deterioro de la calidad de los cuerpos de agua receptores, por lo que se tiene un enfoque en la recuperación y protección de dichos cuerpos hídricos. Dos indicadores fueron propuestos para medirla:

- i.) *Calidad del cuerpo de agua receptor*: cuyo objetivo identificar problemas de contaminación del agua en el cuerpo de agua receptor, con el fin de establecer limitaciones del uso del mismo aguas abajo de las descargas y responsabilidades de diferentes actores su protección y conservación. La fuente de información para este indicador es: a.) Parámetros de calidad del agua: Redes de monitoreo de calidad del agua del IDEAM, Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) o campañas de muestreo propias.
- ii.) *Agua residual tratada al nivel de calidad requerido*: Cuyo objetivo es estimar el porcentaje de agua residual que es tratada por procesos físicos, químicos y biológicos adecuados. Las fuentes de información para estimar este indicador son: a.) Volumen de agua residual tratada: Autoridad Ambiental Regional, Empresa de Servicios Públicos de Agua u otro operador; b.) el Coeficiente de retorno: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable (RAS); c.) el Consumo de agua: Empresa de Servicios Públicos de Agua.

Para Estimar este indicador se tomaron como fuentes: *Redes de monitoreo de calidad del agua del IDEAM y las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), (INVEMAR)* informes anuales, y Protocolo Indicador Calidad de Agua (ICAMPFF). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas, así mismo el Volumen de agua residual tratada, proveniente de la Autoridad Ambiental Regional, Empresa de Servicios Públicos de Agua u otro operador, El Coeficiente de retorno, a partir del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable (RAS) y El Consumo de agua suministrado por la Empresa de Servicios Públicos de Agua. Sin embargo, el hecho que la zona bajo estudio presenta varios sectores subnormales y no conectados a la red de acueducto y alcantarillado de la empresa Triple A, supuso una barrera para el cálculo del mismo.

4.1.10. *ciclo del agua para la conservación del recurso hídrico*, con la intención de reconocer la limitación en su disponibilidad, cuyo enfoque se centra en la gestión de la demanda de agua y en la asimilación de la contaminación por

parte de los cuerpos de agua receptores. Cinco indicadores fueron establecidos para la medición de esta variable:

- i.) *Razón entre el porcentaje de escorrentía descargada antes y después de la urbanización:* cuyo objetivo es evaluar el manejo de la escorrentía a partir de la atenuación de esta mediante la infiltración y el aprovechamiento de agua lluvia. Las fuentes de información para la medición de este indicador fueron:
 - a.) Volumen total de agua vertida: Empresa de Servicios Públicos de Agua o modelos hidrológicos;
 - b.) Precipitación: Estaciones meteorológicas de la empresa de Servicios Públicos de Agua o del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y;
 - c.) Coeficientes de escorrentía: Imágenes satelitales e información geográfica del Departamento de Planeación de la ciudad o del Instituto Geográfico Agustín Codazzi
- ii.) *Consumo promedio de agua potable por habitante:* el cual mide la eficiencia en el uso del agua potable en zonas residenciales para identificar si se requiere la implementación de acciones guiadas hacia el uso sostenible del recurso hídrico. Las fuentes de información para la medición de este indicador son:
 - a.) Volumen de agua potable consumida: Empresa de Servicios Públicos de Agua;
 - b.) Número de suscriptores: Empresa de Servicios Públicos de Agua y;
 - c.) Personas por hogar: Encuesta a los habitantes o encuesta multipropósito del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) o Departamento de Planeación de la ciudad;
- iii.) *Agua aprovechada y reutilizada a nivel residencial:* el cual evalúa el uso de fuentes alternas de agua para establecer la eficiencia en el uso del recurso. Las fuentes de información propuestas para medir este indicador fueron:
 - a.) Volumen de agua aprovechada y reutilizada: Encuesta a los habitantes o Empresa de Servicios Públicos de Agua y;
 - b.) Volumen de agua potable consumida: Encuesta a los habitantes o Empresa de Servicios Públicos de Agua;
- iv.) *Emisiones de CO₂-eq por la gestión del agua urbana:* A partir del cual cuantificar las toneladas de CO₂-eq emitidas por la gestión del agua urbana con el fin de identificar si es necesaria la implementación de estrategias para la reducción de dichas emisiones. Las fuentes de información propuestas para

medir este indicador son: a.) Volumen de agua potable consumida: Empresa de Servicios Públicos de Agua; b.) Factores de emisión: Literatura; c.) Factores de consumo de energía o combustible: Literatura; d.) Habitantes del proyecto de vivienda: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) o Departamento de Planeación de la ciudad;

v.) *Índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento* *Objetivo:* el cual permite identificar el grado de fragilidad del sistema hídrico para cumplir con la demanda hídrica para el abastecimiento del agua. Las fuentes de información propuestas para medir este indicador fueron: a.) Demanda hídrica: Empresa de Servicios Públicos de Agua; b.) Oferta hídrica: Estaciones meteorológicas de la empresa de Servicios Públicos de Agua, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) o de la corporación autónoma regional y; c.) Caudales medios diarios: Estaciones limnimétricas o limnigráficas de la empresa de Servicios Públicos de Agua, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) o de la corporación autónoma regional.

4.1.11. *ciudad sensible al agua*, involucra la construcción de infraestructura urbana adaptativa y multifuncional, que refuerza los comportamientos sensibles al agua como respuesta al cambio climático. Para la medición de esta variable fueron construidos dos indicadores:

i.) *Conciencia pública:* el cual pretende cuantificar la conciencia pública cuantificada como la responsabilidad que sienten los habitantes por participar en la toma de decisiones locales sobre el agua y en la conservación del recurso. La fuente de información para este indicador fue una encuesta a los habitantes;

ii.) *Uso multifuncional de la infraestructura verde para el manejo de la escorrentía:* pretende evaluar la integración de la infraestructura verde empleada para el manejo de la escorrentía en otros usos para establecer si el uso multifuncional en estas áreas es alto, medio o bajo. Las fuentes de información propuestas para la construcción de este indicador fueron: a.) Características de los SUDS: Entidad responsable de los SUDS; b.) Uso de los SUDS (visitas): Encuestas a la población y; c.) Características del espacio público: Departamento de planeación de la ciudad.

- Para la estimación de este indicador se utilizaron las siguientes fuentes *Elevación Topográfica*: Topografía satelital; Advanced Land Observation Satellite (ALOS), *Cobertura de dunas*: Imágenes satelitales; SENTINEL 2, DigitalGlobe®, World Imagery Basemap feature (ArcGIS 10.1) , *Línea de costa cubierta por estructuras artificiales de protección costera*: Imágenes satelitales; SENTINEL 2, DigitalGlobe®, World Imagery Basemap feature (ArcGIS 10.1), así mismo *Respecto a la conciencia pública* y la información disponible para el cálculo de los indicadores propuestos en la etapa 6, se tiene que no existe registro de en la zona del caso de estudio. Para este ítem en particular no fue posible llevar a cabo como se indica en la metodología planteada la visita de campo, debido a las condiciones en que nos encontramos por la contingencia asociada a la Covid-19, que limita las actividades de este tipo. Así mismo, estudios previos y visitas de reconocimiento en campo llevado a cabo por nuestro equipo de investigación en el marco de otros proyectos nos permite indicar que el indicador *Uso multifuncional de la infraestructura verde para el manejo de la escorrentía, no aplica* dada la ausencia de sistemas de drenaje sostenible en la zona de estudio.

5 ESTIMACIÓN DE INDICADORES PARA LOS COMPONENTES DEL MODELO EN EL ESTUDIO DE CASO

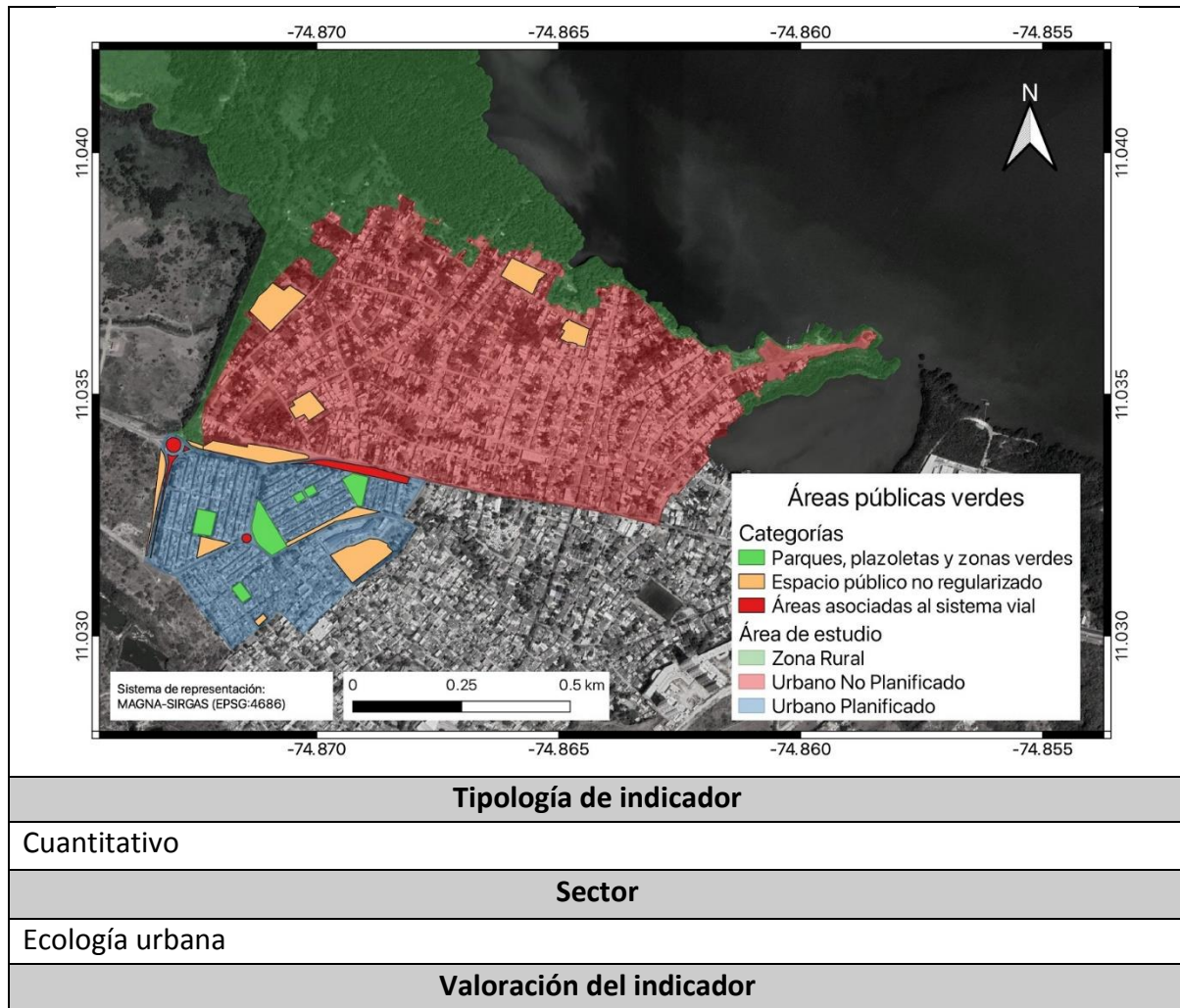
En este quinto acápite del informe se presenta la estimación de los indicadores que contaron con información secundaria, así como otros indicadores propuestos, sobre los cuales la Universidad tuviese información para ser modelados. Los resultados obtenidos son los siguientes:

5.1. COMPONENTE DE ECOLOGÍA URBANA

En relación con el componente de Ecología Urbana, los siguientes indicadores fueron modelados de forma independiente para cada una de las zonas de estudio (Urbano planificado, Urbano no planificado, Zona rural) y de forma global; así mismo, para algunos indicadores se realizaron las estimaciones teniendo en cuenta tanto de forma separada como unificada, cada una de las variables que componen la formulación del indicador.

CIUDAD CON ESPACIO PÚBLICO VERDE

Nombre de indicador
Área verde pública por habitante.
Objetivo
Este indicador busca realizar un diagnóstico del espacio público verde disponible para cada habitante independientemente de su categoría. Sirve como una aproximación de la disponibilidad de área verde en los desarrollos urbanos.
Descripción
Mide la disponibilidad de espacio público verde en metros cuadrados por cada habitante en el área de análisis.
Fuentes de información
• <i>Plan de Ordenamiento Territorial de Barranquilla-POT</i> • <i>Imágenes de satélite de Google Earth</i> • <i>DANE</i>
Método de medición/estimación
Las áreas verdes públicas incluyen: los parques, plazoletas y zonas verdes, las áreas verdes asociadas al sistema vial y los espacios públicos no regularizados. El indicador Área verde pública por habitante se calculó para zona tipo de zona analizada en este estudio (Urbano no planificado, Urbano planificado, Zona rural y el total del área de estudio). Así mismo, el indicador se calculó de forma secuencial: primero teniendo en cuenta las áreas de parques, plazoletas y zonas verdes establecidas en el POT, luego sumando las áreas verdes asociadas al sistema vial y finalmente sumando las áreas de los espacios públicos no regularizados, los cuales no tienen un uso particular establecido en el POT.
Formulación
<i>(Área de parques, plazoletas, zonas verdes + Área verdes de sistema vial + Espacio público no regularizado) / número de habitantes</i>
Unidad de medida
Metro cuadrado por habitante (m ² /habitante)
Representación Gráfica



Zonas		Parques, plazoletas y zonas verdes (A)	Áreas verdes públicas/habitante (m²/habitante)	
Urbano No Planificado		0	0	
Urbano Planificado		12.617	1,5	
Zona Rural		0	0	
TOTAL		12.617	0,55	
Zonas		Áreas verdes asociadas al Sistema vial (B)	A+B	Áreas verdes públicas/habitante (m²/habitante)
Urbano No Planificado		0	0	0
Urbano Planificado		6.088	18.705	2,3
Zona Rural			0	0
TOTAL		6.088	18.705	0,81
Zonas		Espacio público no regularizado (C)	Total Áreas verdes públicas (A+B+C)	Áreas verdes públicas/habitante (m²/habitante)
Urbano No Planificado		24.133	24.133	1,6
Urbano Planificado		14.505	33.209	4,1
Zona Rural		314	314	0
TOTAL		38.952	57.656	2,5

Valoración	Rango m ² /Habitante	Criterio
Muy Malo	<0,9	Experto
Malo	[1 - 3]	Experto
Normal	[2,9 - 6]	Experto
Bueno	[5,9 - 9]	Experto
Muy bueno	>9	Decreto 1504 de 1998

De forma general, la zona urbana no planificada presenta los menores valores del indicador debido no solo a la mayor cantidad de habitantes de la zona respecto al área planificada, sino también a la carencia de parques, plazoletas y zonas verdes.

El indicador fue calculado progresivamente primero teniendo en cuenta los parques, plazoletas y zonas verdes al ser los espacios con mayor vocación social y ecológica por presentar la mayor cobertura vegetal; posteriormente fue incluidas las áreas verdes asociadas al sistema vial; y por último incluyendo los espacios públicos no regularizados.

Los resultados muestran que a medida que se incluyen los diferentes tipos de zonas verdes, el indicador va mejorando, pero nunca llegan al valor propuesto por el artículo 14 del decreto 1504 de 1998 que establece como espacio público verde efectivo mínimo 9 m²/habitante. Cuando el indicador se calcula teniendo en cuenta solamente los Parques, plazoletas y zonas verdes establecidas en el POT, únicamente la zona urbana planificada cuenta con áreas verdes públicas y su valor es tan solo 1,5 m²/habitante. Al adicionar las áreas verdes asociadas al sistema vial, el indicador aumenta a 2,3 m²/habitante. Es de resaltar que la zona no planificada no cuenta con ningún área verde planificada. Cuando se consideran los espacios públicos no regularizados, el indicador para la zona urbana planificada mejora a 4,1 m²/habitante y para la zona urbana no planificada llega a ser 1,6 m²/habitante.

Los espacios públicos no regularizados en la zona de estudio son áreas que no tienen un uso particular establecido y por lo general no tienen árboles ni una cobertura vegetal desarrollada. En la zona urbana no planificada algunos son utilizados como zonas recreativas donde la comunidad juega fútbol y hace deporte. Estos espacios no regularizados se proyectan como la oportunidad de mejora de la cantidad del espacio público verde para los habitantes en caso de ser regularizados como parques, y de esta manera mejorar el indicador tanto en la zona urbana no planificada como la planificada ya que actualmente corresponden a cerca del 50% de espacio verde público. Sin embargo, en cuanto a la calidad del espacio público verde es de resaltar que los espacios públicos no regularizados carecen de cobertura arbórea y por lo tanto su funcionalidad ecológica es limitada. En el escenario de mejora, deberían ser intervenidos para procesos de siembra de especies de árboles nativos.

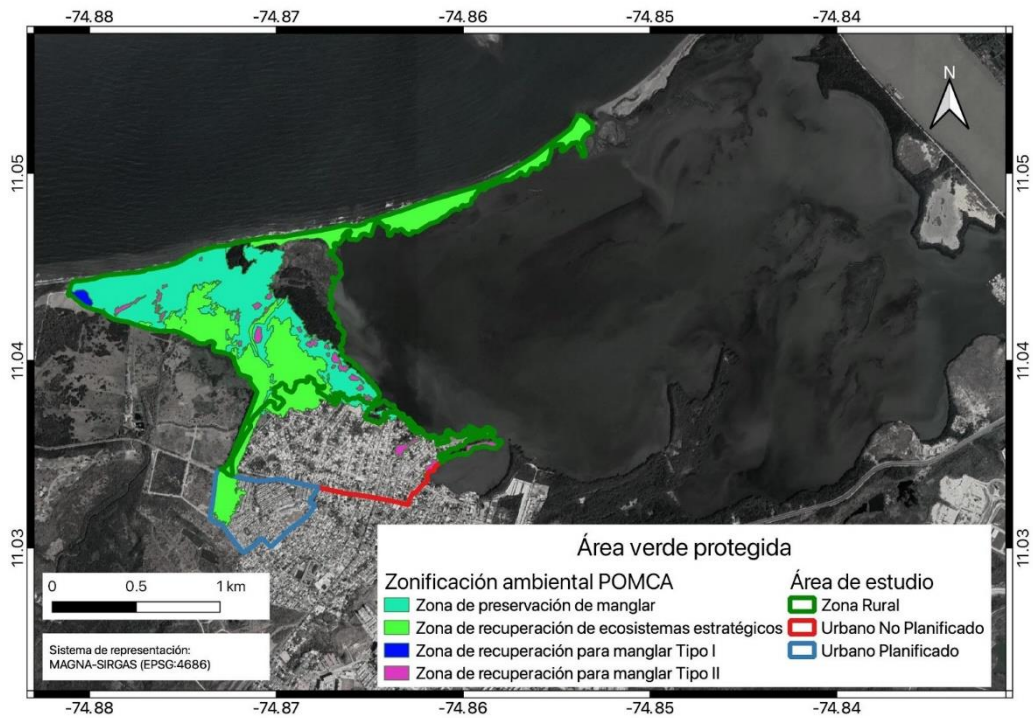
Fotografía 5. Ejemplo de espacio público no regularizado en la zona urbana no planificada



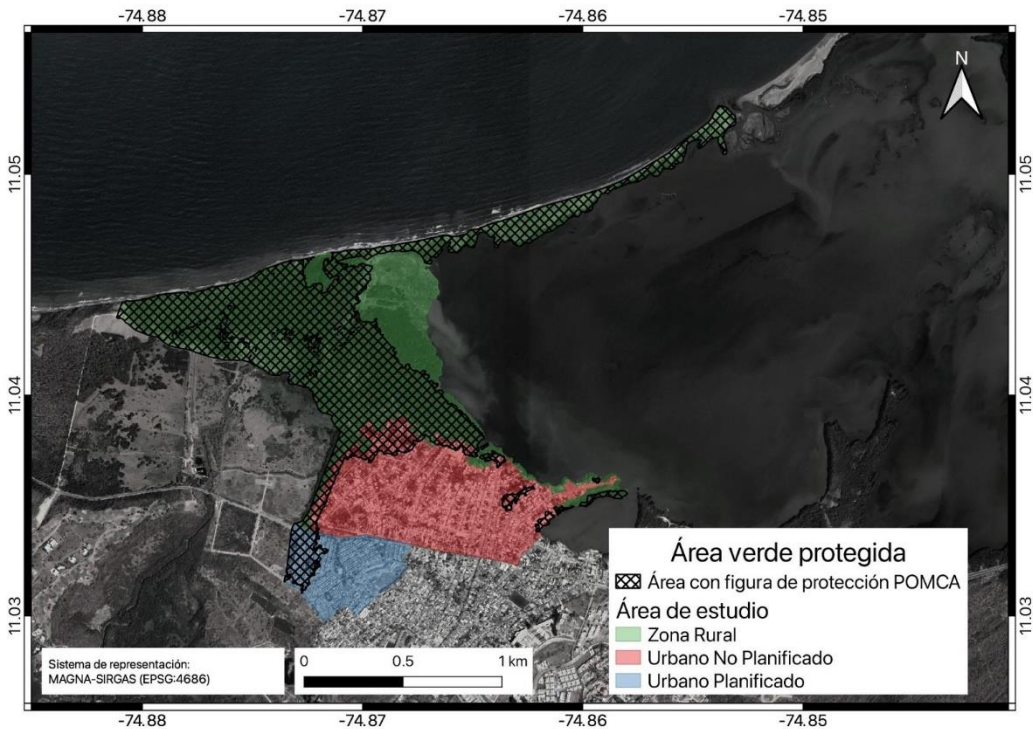
Fuente: tomada por el equipo de trabajo, 2021

CIUDAD CON ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL

Nombre de indicador
Área verde protegida.
Objetivo
Este indicador busca determinar la relación entre la disponibilidad de áreas verdes protegidas con respecto al total de áreas verdes.
Descripción
Establece la relación entre el área protegida con el total de área verde.
Fuentes de información
- Plan de Ordenamiento y Manejo de la Ciénaga de Mallorquín (POMCA) - Plan de Ordenamiento Territorial de Barranquilla-POT - Imágenes de satélite disponibles en Google Earth
Método de medición/estimación
Para la construcción de este indicador se consideraron como Áreas verdes protegidas las zonas establecidas en la zonificación ambiental del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Ciénaga de Mallorquín (POMCA), específicamente las establecidas en el ajuste realizado en 2015. Las áreas de protección establecidas en el POMCA y que se localizan en la zona de estudio son: zonas de preservación de Manglar; zonas de recuperación de ecosistemas estratégicos; zonas de recuperación de Manglar tipo I y II. Para estimar el indicador se realizó una sumatoria de estas áreas y se dividió por el área verde total. El Área verde total es la sumatoria de: Área verde pública (calculada en el indicador 1) + Áreas verdes privadas + Áreas verdes protegidas + Áreas verdes con cobertura boscosa identificada en el proyecto.
Formulación
$\frac{\text{Área verde protegida}}{\text{Área verde total}}$
Unidad de medida
(m ² /m ²) x 100
Representación Gráfica



Área verde protegida por categorías establecidas en la zonificación ambiental del POMCA



Área verde protegida sumando las categorías establecidas en la zonificación ambiental del POMCA

Tipología de indicador

Cuantitativo

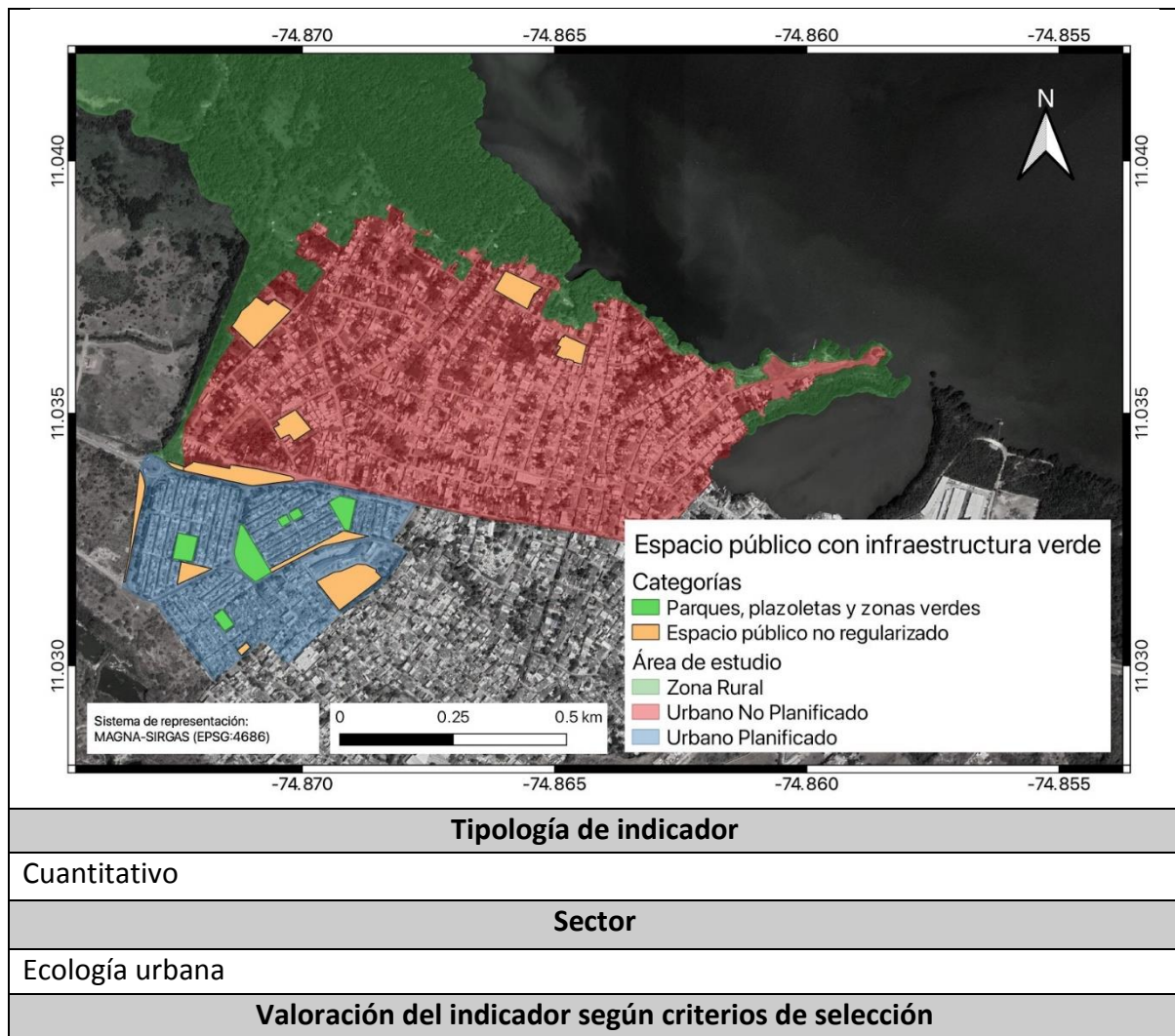
Sector					
Ecología urbana					
Valoración del indicador según criterios de selección					
	Escenario actual			Escenario si se cumpliera la norma	
Zonas	Área verde protegida (m ²)	Área verde total (m ²)	Indicador Área verde protegida	Área verde protegida POMCA en área de estudio (m ²)	Indicador Área verde protegida
Urbano No Planificado	0	156.150	0%	81.745	52,4%
Urbano Planificado	0	65.757	0%	40.049	60,9%
Zona rural	912.947	1.063.640	85,8%	912.947	85,8%
TOTAL	912.947	1.285.547	71,0%	1.034.742	80,5%

Para este indicador se contempló la condición actual (escenario actual) en el que, a pesar de haber una delimitación de áreas con alguna figura de protección según el POMCA, en la zona urbana planificada y no planificada no se encuentran áreas públicas verdes efectivamente protegidas. Únicamente en la zona rural, se encontró que el 85,8% corresponde a áreas que se encuentran con alguna categoría protección contemplada en el POMCA de la Ciénaga de Mallorquín. Al espacializar las áreas protegidas de este instrumento de planificación se encontró que, tanto en el área urbana planificada como no planificada, la ciudad ha crecido sobre suelo protegido. Es decir que no se ha respetado la zonificación ambiental de la Ciénaga, constituyéndose un conflicto por el crecimiento urbano sobre áreas importantes para la protección y recuperación de los ecosistemas estratégicos.

Además de la expansión urbana sobre áreas con alguna figura de protección, del total del área pública verde, el 52,4% debería estar protegido en la zona urbana no planificada, y el 60,9% en la zona urbana planificada. Esto se puede interpretar como la opción de mejora a la que se podría llegar si la norma se cumpliera y si se establecieran estrategias o bien de reubicación de viviendas o estrategias de preservación y mejora de calidad ambiental de otras áreas verdes o espacios públicos no regularizados dentro de las áreas urbanas como una posible compensación.

5.1.1 CIUDAD CON ESTRUCTURA ECOLÓGICA INTEGRAL

Nombre de indicador
Área espacios públicos infraestructura verde por habitante
Objetivo
Este indicador busca realizar un diagnóstico del espacio verde de infraestructura pública disponible para cada habitante.
Descripción
Mide la disponibilidad de los espacios verdes públicos socialmente funcionales en el área de estudio diferentes a áreas verdes protegidas y áreas verdes asociadas al sistema vial.
Fuentes de información
- Plan de Ordenamiento Territorial-POT - Imágenes de satélite de Google Earth - DANE
Método de medición/estimación
El indicador Área espacios públicos infraestructura verde por habitante se calculó para cada tipo de zona analizada en este estudio (Urbano no planificado, Urbano planificado, Zona rural y el total del área de estudio). Las Área espacios públicos con infraestructura verde están constituidas por Parques, plazoletas y zonas verdes establecidas en el POT y los espacios públicos no regularizados. Es decir que este indicador es igual al indicador de Áreas verdes públicas calculado anteriormente menos las áreas verdes asociadas al sistema vial. Esta diferencia se debe a que las áreas verdes asociadas al sistema vial no son consideradas como áreas diseñadas para el uso recreativo y disfrute de la población. El indicador se calculó de forma secuencial: primero teniendo en cuenta las áreas de parques, plazoletas y zonas verdes establecidas en el POT y luego sumando las áreas de los espacios públicos no regularizados, los cuales no tienen un uso particular establecido en el POT. En ambos casos, las áreas se dividieron por la población.
Formulación
Área espacios públicos infraestructura verde por habitante: (Parques, plazoletas y zonas verdes + espacios públicos no regularizados) / habitante
Unidad de medida
Metro cuadrado por habitante (m ² /habitante)
Representación Gráfica



Zonas	Parques, plazoletas y zonas verdes (A)	Área espacios públicos con infraestructura verde/habitante (m ² /habitante)
Urbano No Planificado	0	0
Urbano Planificado	12.617	1,5
Zona Rural	0	0
TOTAL	12.617	0,55

Zonas	Espacio público no regularizado (C)	Total Áreas espacios públicos con infraestructura verde (A+C)	Área espacios públicos con infraestructura verde/habitante (m ² /habitante)
Urbano No Planificado	24.133	24.133	1,6
Urbano Planificado	14.505	27.121	3,3
Zona Rural	314	314	0
TOTAL	38.952	51.568	2,2

Valoración	Rango m ² /Habitante	Criterio
Muy Malo	<0,9	Experto
Malo	[1 - 3]	Experto
Normal	[2,9 - 6]	Experto
Bueno	[5,9 - 9]	Experto
Muy bueno	>9	Decreto 1504 de 1998

El indicador de Área espacios públicos infraestructura verde por habitante cuando es estimado utilizando únicamente las áreas de Parques, plazoletas y zonas verdes establecidas en el POT es de 1,5 m²/habitante para la zona urbana planificada y 0 m²/habitante en la zona urbana no planificada. Valores muy inferiores al establecido como mínimo en el decreto 1504 de 1998.

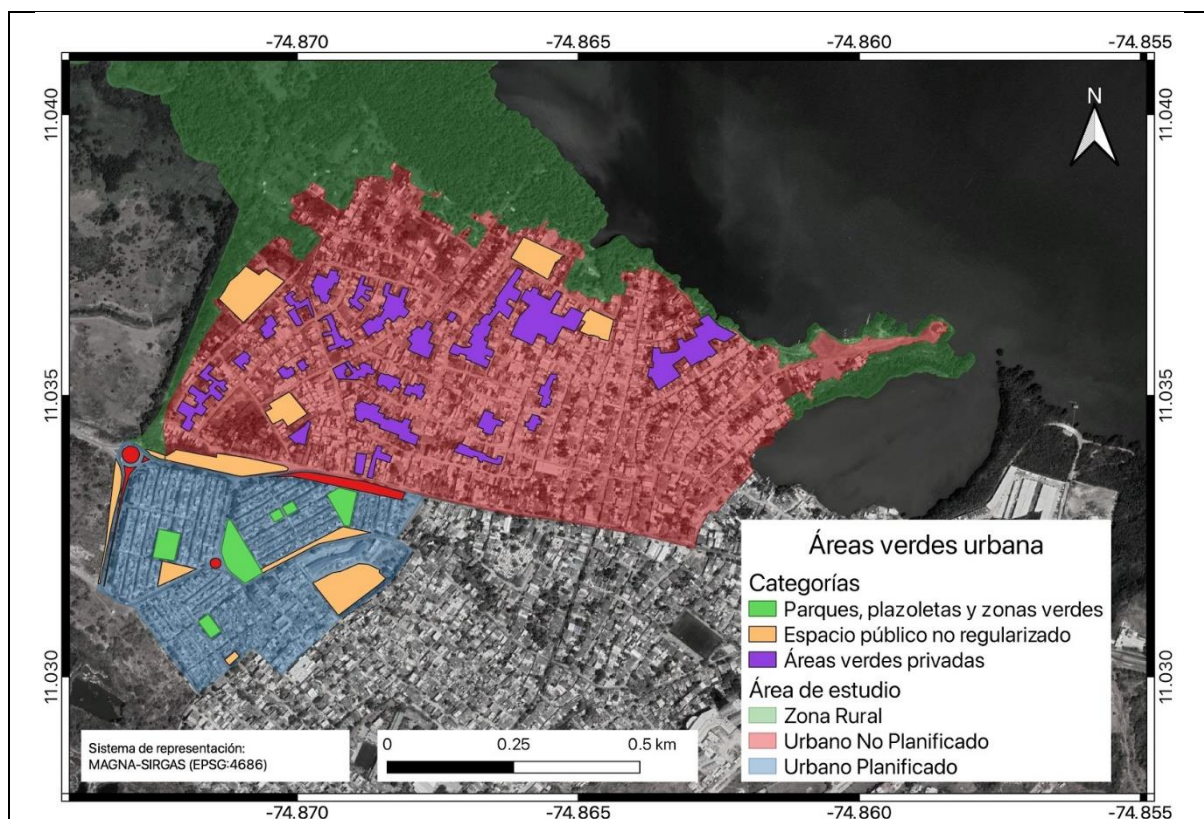
Cuando se tiene en cuenta además el espacio público no regularizado, el indicador aumenta a 3,3 m²/habitante en la zona urbana planificada y 1,6 m²/habitante en la zona urbana no planificada, evidenciando la importancia de estos espacios como oportunidad de mejora en el establecimiento formal de espacio público verde para el disfrute de la población.

Sin embargo, aunque estos espacios no regularizados se regularizaran y re-naturalizaran (por ejemplo, con la siembra de especies nativas) para transformarse en espacio público con

infraestructura verde, no serían suficientes para llegar al valor mínimo sugerido de 9 m²/habitante. Haciendo necesario considerar adicionalmente otras alternativas, como puede ser reglamentar dentro de las áreas de protección usos compatibles con la conservación y que permitan el disfrute social de las áreas protegidas, sin poner en peligro la integridad ecológica.

CIUDAD CON FUNCIONALIDAD SOCIAL Y ECOLÓGICA

Nombre de indicador
Área de espacios verdes privados.
Objetivo
Este indicador busca aproximarse a la oferta de funciones ecológicas prestadas por los espacios verdes privados y a la cantidad de éstos respecto a la totalidad del área verde urbana. Se enfoca más a una disponibilidad de espacios complementarios donde se pueden llevar a cabo medidas de renaturalización y conectividad.
Descripción
Mide la disponibilidad de espacios verdes privados complementarios a la función ecológica en el área de estudio que al ser privados no se toman en cuenta en los análisis de disponibilidad pública.
Fuentes de información
- <i>Imágenes de satélite de Google Earth</i> - <i>Plan de Ordenamiento Territorial-POT</i>
Método de medición/estimación
Se identificaron las áreas verdes privadas utilizando imágenes de satélite disponibles en Google Earth y se realizó una salida de campo para corroborar el uso privado de estos espacios verdes. Se dibujaron los polígonos en un SIG y se calcularon las áreas en m ² .
Formulación
Este indicador no tiene formulación específica.
Unidad de medida
Metros cuadrados (m ²)
Representación Gráfica



Tipología de indicador

Cuantitativo

Sector

Ecología urbana

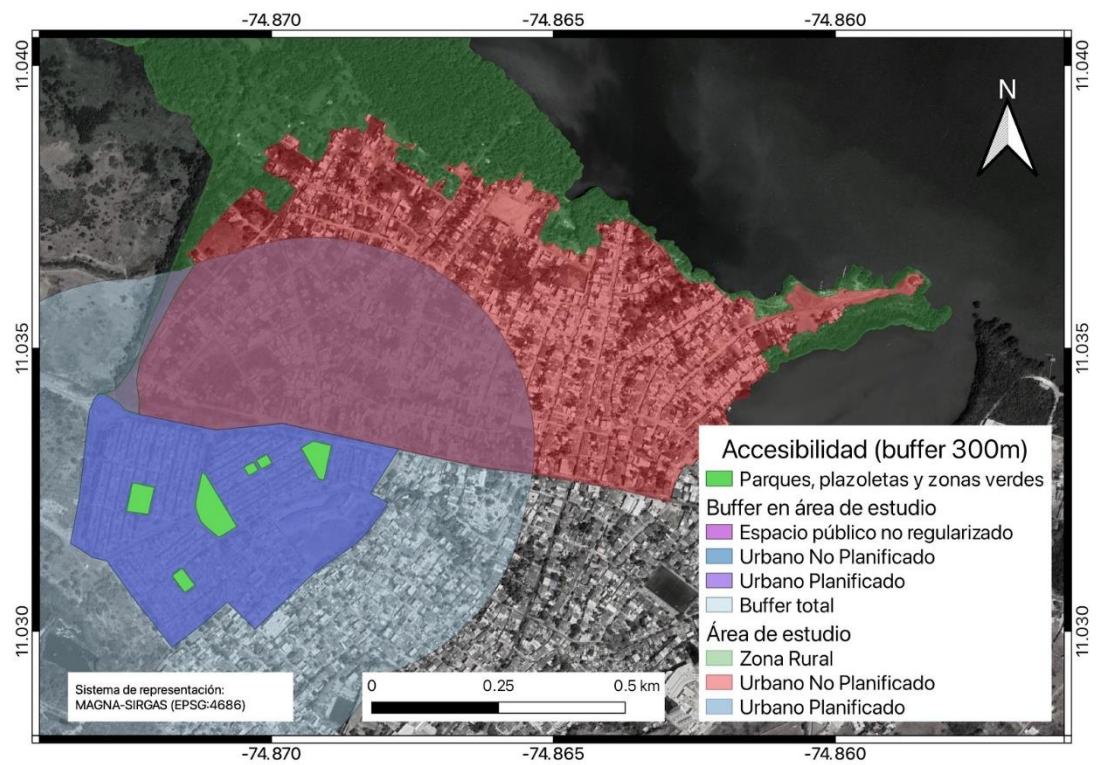
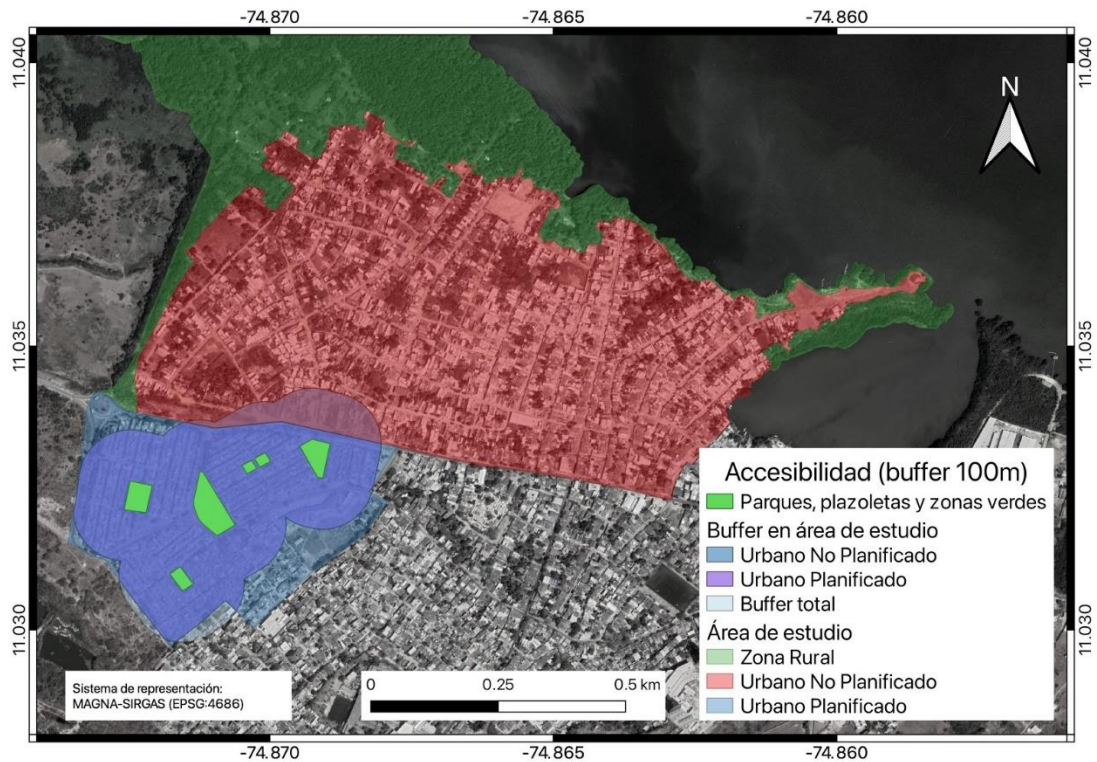
Valoración del indicador

Zonas	Total Áreas verdes públicas (A+B+C)	Áreas verdes privada (D)	Total Área verde urbana (A+B+C+D)	Porcentaje de área verde privada
Urbano No Planificado	24.133	56.968	81.101	70%
Urbano Planificado	33.209	0	33.209	0%
Zona Rural	314	0	314	0%
TOTAL	57.656	72.491	130.148	56%
A: Parques, plazoletas y zonas verdes				
B: Áreas verdes asociadas al sistema vial				
C: Espacio público no regularizado				

Las áreas verdes privadas pueden verse como un complemento a las áreas verdes públicas para alcanzar una funcionalidad ecológica y social. Llama la atención la inexistencia de las áreas verdes privadas en la zona urbana planificada, limitando dicha complementariedad a los espacios públicos. A pesar de que en la zona urbana no planificada faltan procesos de

regularización y normalización de la propiedad, muchos de los espacios verdes tienen cercas y muros que hace que estos espacios se consoliden como espacios privados verdes por apropiación.; Estos espacios verdes privados en la zona urbana no planificada corresponden al 70% del total del área verde urbana por lo que se puede pensar que contribuyen de una manera sustancial a la funcionalidad ecológica, pero dado su carácter de uso privado la funcionalidad social se encuentra fuertemente limitada.

Nombre de indicador
Accesibilidad Social
Objetivo
Este indicador propone identificar si la ubicación de los espacios verdes garantiza la accesibilidad de manera equitativa de la población a parques zonales y metropolitanos.
Descripción
Mide la accesibilidad de la población a los parques zonales, con el fin de ser además un indicador de equidad.
Fuentes de información
- <i>Plan de Ordenamiento Territorial-POT</i> - <i>Imágenes de satélite de Google Earth</i>
Método de medición/estimación
Se realizan buffers de 100 y 300 metros alrededor de los parques zonales, posteriormente se realiza la sumatoria de estas áreas y se estima el porcentaje de estas frente al área de análisis.
Formulación
Este indicador no tiene formulación específica.
Unidad de medida
$\text{Accesibilidad} = \frac{\text{área del buffer}}{\text{área total}}$
Representación Gráfica



Tipología de indicador

Cuantitativo

Sector

Ecología urbana

Valoración del indicador

Accesibilidad a área verde pública	Buffer (100m)	Buffer (300m)
Área total del buffer (m²)	172.664	979.409
Área del buffer en urbano no planificado (m²)	18.602	254.360
Área del buffer en urbano planificado (m²)	149.039	184.858
Área del buffer en urbano total (m²)	167.642	439.218
Indice de Accesibilidad en Urbano No planificado	5,3%	45,5%
Indice de Accesibilidad en Urbano planificado	82,1%	100%
Indice de Accesibilidad en Urbano Total	23,0%	57,7%

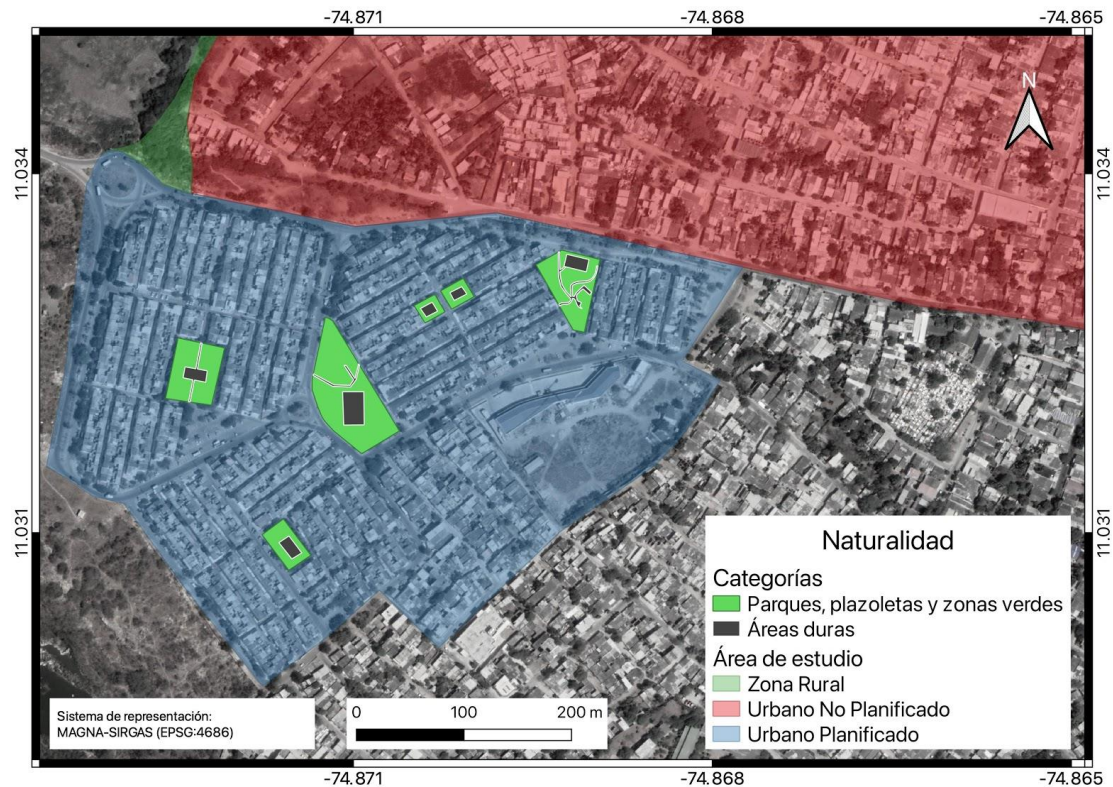
La evaluación de la accesibilidad social a los espacios públicos urbanos se estimó usando los parques zonales; es de resaltar que este tipo de espacios verde solo se encuentran dentro de la zona urbana planificada. A pesar de que el modelo establece que para la evaluación de la accesibilidad social a los parques zonales se realiza usando un buffer con un radio de 300m alrededor de estos, el indicador fue estimado con dos distancias diferentes: 100 y 300m. La evaluación de 100m se realiza teniendo en cuenta que la naturaleza de los dos tipos de urbanización (planificado y no planificado) además de la existencia de vías principales que las separan pueden suponer una barrera a la accesibilidad social independientemente de la cercanía.

Para el primer escenario (accesibilidad se evalúa con un buffer de 100m) el 82% del área urbana planificada tiene acceso a los parques zonales y solo el 5% del área no planificada tiene acceso. Para el segundo escenario (accesibilidad evaluada con un buffer de 300m) la totalidad de la zona urbana planificada tiene acceso a los parques zonales, y para la zona no planificada solo el 45% del área.

La baja accesibilidad de la zona urbana no planificada a los parques zonales reafirma la importancia de las áreas públicas no regularizadas y las áreas privadas verdes como espacios que incrementarían la funcionalidad social del área de estudio en caso de ser regularizados

como espacio público verde, en particular como parques zonales que puedan además de contribuir con la funcionalidad social también con la ecológica.

Nombre de indicador
Índice de Naturalidad.
Objetivo
Establecer el porcentaje de áreas duras dentro de las áreas verdes para determinar el porcentaje que puede tener cobertura vegetal.
Descripción
Establece el porcentaje de las áreas verdes que no son endurecidas y pueden tener una cobertura vegetal.
Fuentes de información
- <i>Plan de Ordenamiento Territorial-POT</i> - <i>Imágenes de satélite de Google Earth</i>
Método de medición/estimación
A partir del indicador “Área de espacios públicos con infraestructura verde”, el cual contiene las áreas de Parques, plazoletas y zonas verdes establecidas en el POT de Barranquilla y el espacio público no regularizado, se realizó una sumatoria de estas áreas. Luego se establecieron las áreas duras a partir de imágenes satelitales disponibles en Google Earth. El indicador se estimó como el porcentaje del área de espacios públicos con infraestructura verde sin endurecer.
Formulación
$\frac{\text{Área de espacios públicos infraestructura verde} - \text{Áreas duras}}{\text{Área de espacios públicos infraestructura verde}}$
Unidad de medida
m ² /m ² (porcentaje)
Representación Gráfica



Tipología de indicador

Cuantitativo

Sector

Ecología urbana

Valoración del indicador

Zonas	Total Áreas espacios públicos infraestructura verde (A+C)	Áreas duras	Índice de naturalidad
Urbano No Planificado	24.133	24.133	0%
Urbano Planificado	27.121	16.439	39,4%
Zona Rural	314	0	100%
TOTAL	51.568	40.572	21,3%

A: Parques, plazoletas y zonas verdes
C: Espacio público no regularizado

El índice de naturalidad muestra que el espacio público verde existente en la zona urbana no planificada es totalmente duro, siendo 0% el valor del índice, principalmente porque la totalidad corresponde espacios públicos no regularizados que se encuentran desprovistos de cobertura vegetal. En contraste la zona rural muestra un índice de naturalidad del 100%, resaltándose su importancia ecológica y su papel fundamental para la prestación de servicios ecosistémicos de regulación. En cuanto a la zona urbana planificada el índice tiene un valor de 39,4% reflejando limitada cantidad de cobertura vegetal que tienen los parques, plazoletas y zonas verdes y los espacios públicos no regularizados. Cabe añadir que el índice no integra información sobre la calidad de dicha cobertura vegetal.

En la salida de campo se pudo constatar que los parques de la zona de estudio tienen un alto porcentaje de árboles de especies consideradas como invasoras (foto 6). En esta zona, al igual que en buena parte de Barranquilla, se han sembrado como arbolado urbano especies con potencial invasor como el Neem (*Azadirachta indica*) debido a su rápido crecimiento y buena calidad de su sombra. Sin embargo, es una especie con una muy limitada funcionalidad ecológica ya que por sus propiedades fungicidas, bactericidas e insecticidas desfavorece la biodiversidad, y dado su potencial invasor ha sido prohibida su siembra y se ha iniciado un proceso de eliminación y reposición progresiva en otros territorios de Colombia (Resolución 2958 de 2019 de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM).

Dado lo anterior, se sugiere que el indicador de naturalidad integre no solo la superficie que no es dura, sino que también considere aspectos como el tipo de cobertura vegetal, la identidad y funcionalidad ecológica de las especies, y/o el porcentaje de especies nativas presentes en las áreas verdes urbanas.

Fotografía 6. Arbolado de Parque urbano en la zona planificada constituido por una alta proporción de Neem (*Azadirachta indica*)

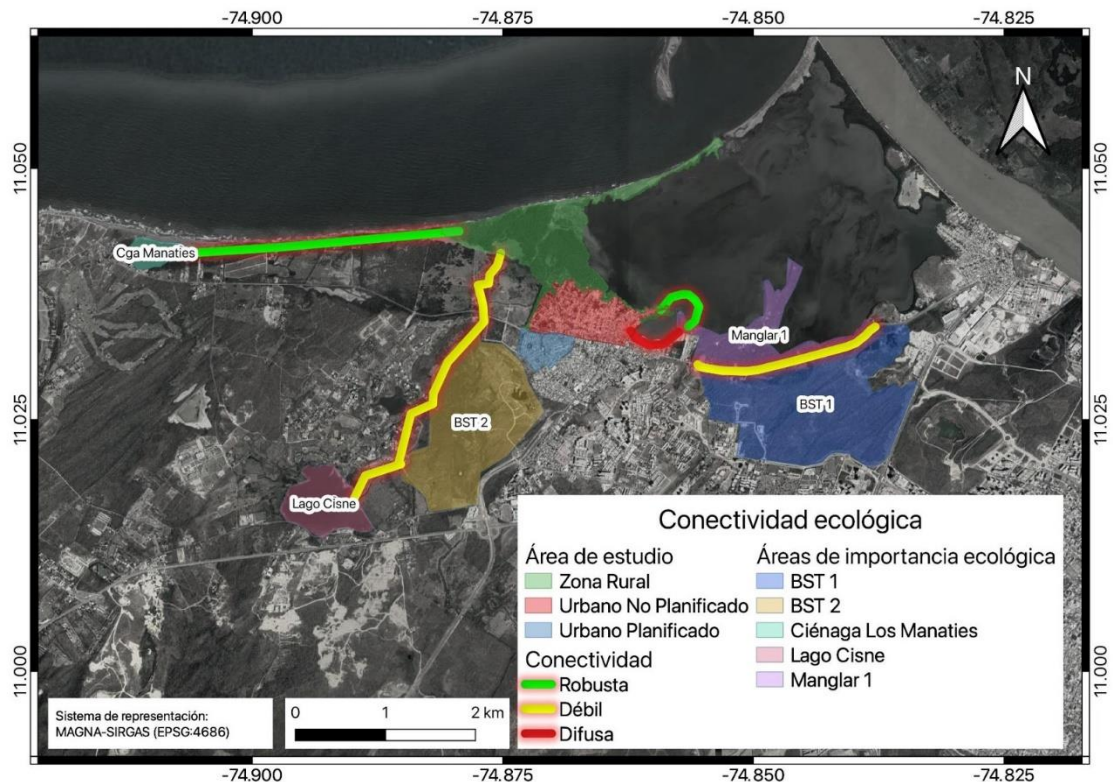


Fuente: Tomada por el equipo de trabajo, 2021

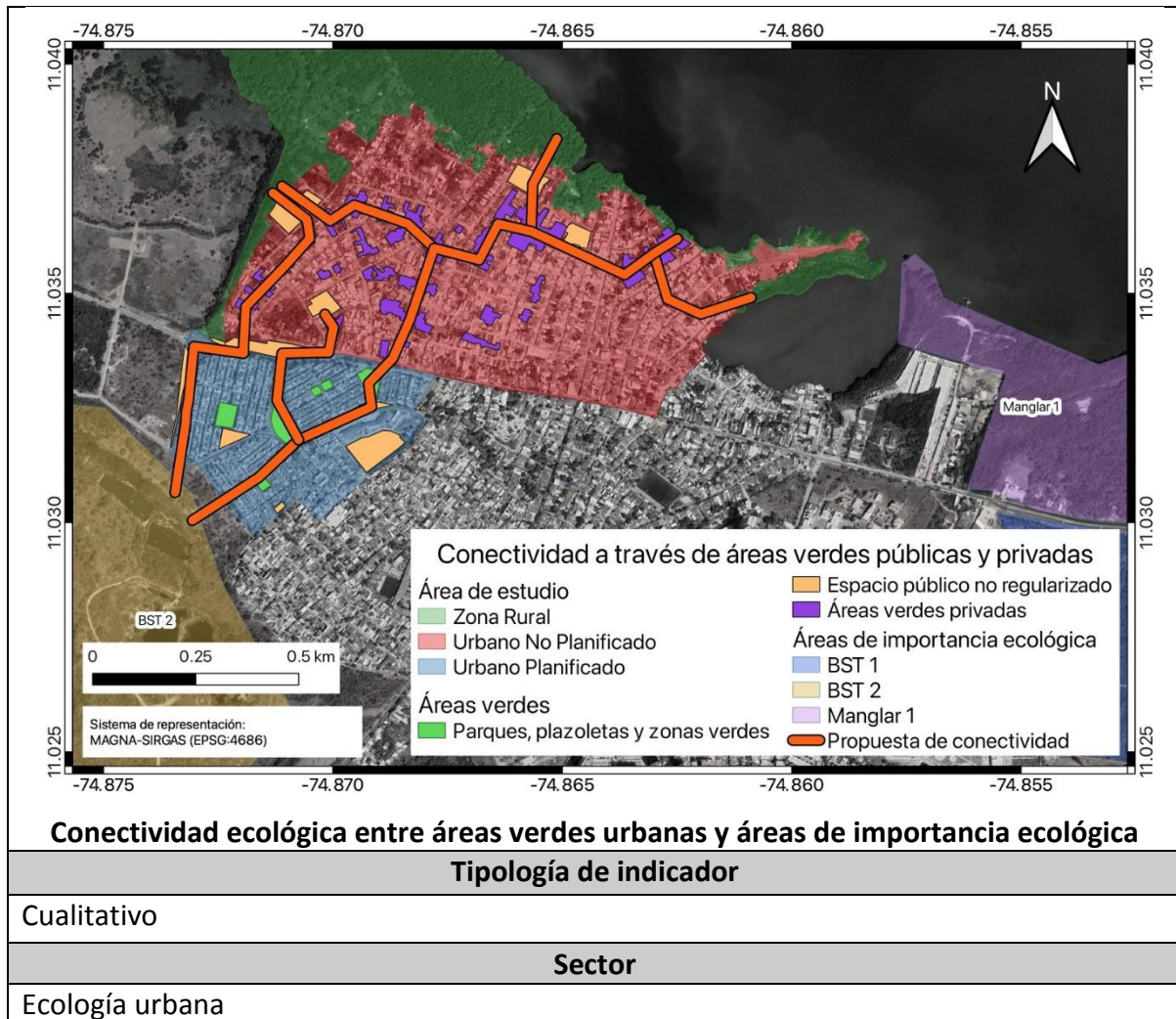
Nombre de indicador
Conectividad ecológica
Objetivo
Busca identificar las franjas de conectividad y su intensidad para orientar medidas de recuperación y mejoramiento.
Descripción
La conectividad ecológica se analizó en dos escalas: 1.) la conectividad entre parches con cobertura vegetal (específicamente de manglar, que constituye el ecosistema estratégico más importante de la zona de estudio) con áreas de importancia ecológica en los alrededores del área de estudio, como una aproximación de la facilidad con que la biodiversidad pueda moverse entre estos. Las áreas de importancia ecológica son áreas cubiertas por manglar, bosque seco tropical y ciénagas. 2.) la conectividad que a escala local podrían proveer las áreas verdes urbanas, tanto públicas como privadas, entre zonas de importancia ecológica como lo son las zonas de manglar ubicadas en el área de estudio y una zona de bosque seco tropical.
Fuentes de información
- <i>Cartografía base nacional (IGAC)</i> - <i>Imágenes de satélite disponibles en Google Earth</i>
Método de medición/estimación
A partir de la cartografía base nacional de hidrología y cuerpos de agua, imágenes de satélite y la visita de campo se establecieron las zonas de importancia ecológica. A partir de la continuidad de la cobertura vegetal y de las barreras o limitantes potenciales a la movilidad de la biodiversidad, como carreteras o áreas urbanas densas, se discute sobre la permeabilidad y la fortaleza de la conectividad existente. Su intensidad se determina a partir de las características biofísicas y espaciales identificadas.
Formulación
Este indicador no tiene formulación específica
Unidad de medida
La conectividad se refiere al grado en que un paisaje facilita el movimiento de los organismos a través de los hábitats o espacios de importancia ecológica que lo componen. La composición y configuración espacial de estos hábitats o espacios definen la conectividad estructural, mientras que el movimiento real de los organismos define la conectividad funcional del paisaje (Mitchell et al., 2013). El análisis propuesto se basa en la conectividad estructural del paisaje como una aproximación a la conectividad funcional. 1. Conectividad robusta o fuerte. Es aquella que sucede cuando los espacios de importancia ecológica que contienen una elevada biodiversidad están en situación espacial de vecindad o existen coberturas que permiten el flujo de la biodiversidad a través, por ejemplo, de espacios lineales (como corredores) que garantizan el movimiento y el flujo de los organismos a través del paisaje. 2. Conectividad débil. Es aquella que sucede cuando los espacios de importancia ecológica que contienen la biodiversidad están separados por matrices y que dificultan el flujo de la biodiversidad a través del paisaje. No hay presencia de corredores robustos, pero la matriz permite cierta permeabilidad y flujo de algunos organismos.

3. Conectividad difusa. Es el grado mínimo en el cual los espacios de importancia ecológica están aislados en una matriz que es poco permeable a los organismos y no permite el flujo de éstos a través del paisaje. La conectividad difusa es la mínima deseable, y se expresa a través de espacios urbanos densos en los cuales el verde urbano es muy reducido y está solamente en forma de arbolado urbano aislado o en filas.

Representación Gráfica y valoración del indicador



Conectividad ecológica con áreas de importancia ecológica



La conectividad ecológica del área de estudio se evaluó en dos escalas, inicialmente se evaluó la conectividad de las áreas con cobertura natural y seminatural del área de estudio con otras áreas de importancia ecológica que se encontraran alrededor del área de estudio; posteriormente se evaluó la red de conectividad ecológica al interior del área de estudio como una aproximación de la funcionalidad ecológica de las áreas verdes. Se identificaron cinco áreas de importancia ecológica en los alrededores inmediatos del área de estudio: Ciénaga Los Manatíes, La zona de manglar asociada a la ronda de la Ciénaga de Mallorquín (Manglar 1), El Bosque seco tropical al sur de la Ciénaga de Mallorquín a lo largo de la vía a la Playa (BST1), el Lago del Cisne, y el bosque seco tropical al costado oriental del cauce del Arroyo León (BST2).

Se clasificaron dos rutas de conectividad **Robusta** con la Ciénaga Los Manatíes y con el Manglar 1; la primera dada por la cobertura continua de bosque de Manglar contigua al litoral,

y la segunda dada por el cuerpo de agua de la Ciénaga de Mallorquín. A pesar de que estas rutas de conectividad fueron consideradas como robustas esta conectividad presenta algún grado de fragilidad debido a que la cobertura de manglar corresponde únicamente a una franja muy delgada que se encuentra bajo presión antrópica debido a la expansión agropecuaria, y la integridad ecológica del cuerpo de agua es dependiente de la calidad del agua que ingresa la Ciénaga de Mallorquín a través del Arroyo León y los posibles polutos y contaminantes que ingresen en otros puntos de la Ciénaga. La conectividad con el Manglar 1 a través de la vía terrestre es considerada **Difusa** debido a la ausencia cobertura de manglar o de áreas verdes urbanas que funcionen como puntos de paso para la biodiversidad; en este caso la matriz urbana es una barrera a la conectividad y es necesario el cambio de uso de suelo urbano y la restauración ecológica de la ronda de la Ciénaga de Mallorquín.

La conectividad con el Lago del Cisne es considerada como **Débil** debido a que la ronda del Arroyo León se encuentra bastante transformada por lo que su continuidad se ve afectada; sin embargo, a lo largo de su curso colinda con una zona de bosque seco tropical que se consolida como un refugio importante para la biodiversidad y un punto de paso para la biodiversidad (*stepping stone*).

La conectividad con el BST1 es considerada **Débil** a pesar de su cercanía con la mancha de manglar y con la Ciénaga de Mallorquín, debido principalmente a que la vía a la playa separa totalmente las dos coberturas vegetales, y corresponde a una zona dura con un separador de concreto que impide el flujo de la biodiversidad entre los dos puntos. Esta barrera dada por la vía se ha documentado como una fuerte amenaza para elementos de la biodiversidad como es el cangrejo azul (*Cardisoma guanhumi*), especie que se encuentra como vulnerable para Colombia (Bermúdez *et al.* 2002), pero que podría tener una categoría más preocupante para el departamento del Atlántico debido a la pérdida de hábitat y la alta mortalidad ocasionada por la vía a la playa.

En cuanto a la red de conectividad ecológica al interior del área de estudio, se puede decir que tanto los parques zonales como las áreas verdes privadas actualmente son machas de vegetación que pueden funcionar como puntos de paso para la biodiversidad. Si bien los puntos de paso funcionan únicamente para la biodiversidad que tienen alta movilidad y que puedan desplazarse a través de espacios con una degradación considerable, son un elemento importante para la conectividad ecológica dado el contexto de la matriz urbana. La conectividad podría mejorar si se establecen estrategias de enriquecimiento de las áreas

verdes urbanas con especies nativas teniendo en cuenta las especies que brinden una variedad de servicios ecosistémicos.

5.1.2 CIUDAD ECOLÓGICAMENTE FUNCIONAL Y RESILIENTE

Indicador
Captura de Carbono.
Objetivo
Visibilizar e incluir como factor determinante en la toma de decisiones el servicio ecosistémico de captura de carbono.
Descripción
Mide la eliminación en toneladas de CO ₂ , como un servicio ecosistémico proveído por los diferentes espacios verdes urbanos y sus coberturas forestales
Fuentes de información
Arbolado urbano y coberturas de manglar espacializados a partir de Imágenes de satélite disponibles en Google Earth
Factores de captura de CO ₂ a partir de literatura:
- Reconocimiento de la zona de estudio: Cartografía e información desarrolladores de proyectos y entidades oficiales, imágenes satelitales y estudios locales. - Alongi, D.M., Carbon sequestration in mangrove forests, Carbon Management Volume 3, 2012 - Issue 3, pp. 313-322, 2014, https://doi.org/10.4155/cmt.12 - Fundación Aquae, Infografía del Oxígeno, https://www.fundacionaquae.org/wpcontent/uploads/2016/01/sembrandoo2.pdf - Viessmann, How much CO₂ does a tree absorb https://www.viessmann.co.uk/heating-advice/how-much-co2-does-tree-absorb
Método de cálculo
Este indicador se estima utilizando imágenes satelitales, mapas, aerofotografías y/o datos de los desarrolladores de proyectos, relacionados con el área de cobertura de copas de árboles o la cantidad de individuos, los diferentes usos y coberturas del suelo, o datos específicos para un país o ciudad, mediciones propias realizadas en campo por medio de parcelas permanentes o transitorias para niveles más detallados de estimación de acuerdo con la disponibilidad de recursos e información.
Formulación
Para el cálculo del CO ₂ absorbido por los Manglares, en función de la forma en que se encontró disponible la información, se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$CO_2 \text{ capturado por manglares} = m^2 \text{ de manglares} \times \text{factor en } tCO_2/m^2/\text{año}$$

Y para los demás arboles presentes:

$$CO_2 \text{ capturado por otros arboles} = \text{número de arboles} \times \text{factor en } tCO_2/\text{arbol/año}$$

Unidades

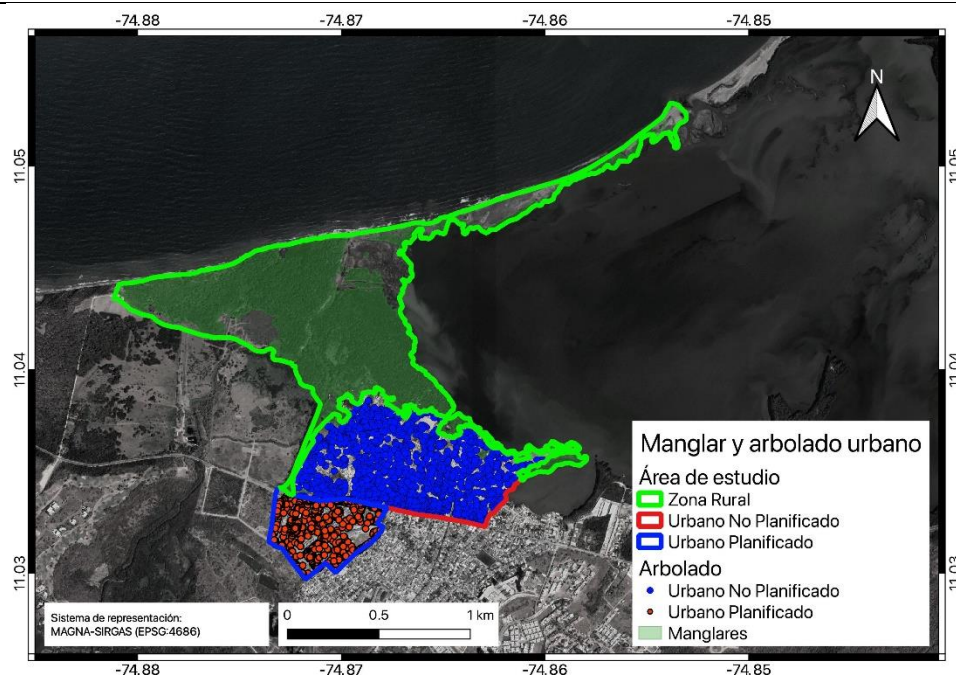
tCO₂

Observaciones

Para la estimación de este indicador fue posible tener acceso a las fuentes de información sugeridas en la metodología original; sin embargo en los documentos del IPCC no se identificaron factores de captura de CO₂ específicos para las especies vegetales presentes en el área de estudio o arboles típicos; por lo que fue necesario complementar con información proveniente de artículos científicos, planes o programas oficiales de gestión y estudios realizados localmente por la Universidad del Norte y otros actores, tales como inventarios de emisiones de fuentes fijas, fuentes móviles y gases de efecto invernadero. Así, en el caso de los manglares, que son la especie predominante en la zona analizada la estimación se realizó con base en el área total de esta especie presente en el polígono de observación (y no en el número de individuos como lo indica la metodología), y un factor de captura en kg de CO₂.m²/año, que es la forma en que se encuentra disponible la información.

Representación gráfica

La vegetación predominante en la zona está compuesta por Manglares (0,880496 km²) y otros Arboles (2661 copas o individuos), los cuales se consideraron para esta estimación como arboles típicos de porte medio como se observa en la siguiente imagen:



Cobertura de manglar y arbolado urbano en la zona de estudio.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla a continuación:

Tipología del indicador
Cuantitativo.
Sector
Ecología urbana, cobertura del suelo, infraestructura verde y EEP.
Frecuencia de reporte
Estimación anual.
Ámbito de aplicación
Población y/o área que hace parte de la evaluación del indicador (Sistema de análisis).
Valoración del indicador según criterios de selección
No existe un estándar o valores de referencia, sin embargo, se toma como referencia tanto la cantidad de espacios verdes como la cobertura arbórea de estos para determinar su calificación cualitativa. En tal sentido se tiene en cuenta que una buena captura de carbono se obtiene con una cobertura de copas superior al 60% de la infraestructura verde y del 80% de los que corresponden a áreas protegidas urbanas aptas para realizar plantación. Para el caso en estudio, se considera el resultado como una captura baja, lo cual concuerda con las características propias del clima y vegetación presente en el Departamento del Atlántico, el cual se caracteriza de manera general por poseer bosque natural escaso y pocas actividades forestales con buena capacidad de absorción de CO ₂ .

5.2. COMPONENTE DE GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA

En relación con el componente de Gestión Integral del Agua, se modelaron los siguientes indicadores:

5.2.1 CIUDAD CON SUMINISTRO DE AGUA

Esta etapa evalúa el suministro de agua potable a la población urbana con características requeridas para el consumo humano. Es de gran importancia garantizar la correcta gestión y distribución del agua potable en las ciudades para garantizar el bienestar y la calidad de vida de sus habitantes. Por lo cual, se evalúa las condiciones relacionadas al abastecimiento del recurso hídrico, tales como la capacidad y la calidad del agua suministrada, su continuidad y asequibilidad en la población.

Primeramente, se propuso el indicador de cumplimiento de la calidad requerida del agua potable con el fin de evaluar que se cumplan los requisitos mínimos establecidos para garantizar que el agua cuente con todas las características físicas, químicas y microbiológicas indicadas para el consumo humano. La calidad del agua cuenta con un gran impacto en la salud de la población, puesto que un buen tratamiento es capaz de prevenir enfermedades y promover el bienestar general.

Por otro lado, se presenta el indicador de asequibilidad al servicio de agua potable y alcantarillado con el fin de cuantificar el acceso de los habitantes a la provisión del recurso. Cabe resaltar que, el servicio cuenta con esquemas de precios, factores de subsidios y aportes fijados de acuerdo con el tipo de uso y estrato de los habitantes. Por medio de este indicador se establece si existen limitaciones en el acceso al servicio debido al costo económico de este. Finalmente, se incluye un indicador que evalúa la continuidad en la prestación del servicio de agua, teniendo en cuenta las horas efectivas en las que se suministró el recurso. Estos indicadores son de gran relevancia para el mejoramiento del sector de agua potable y saneamiento básico para la sociedad.

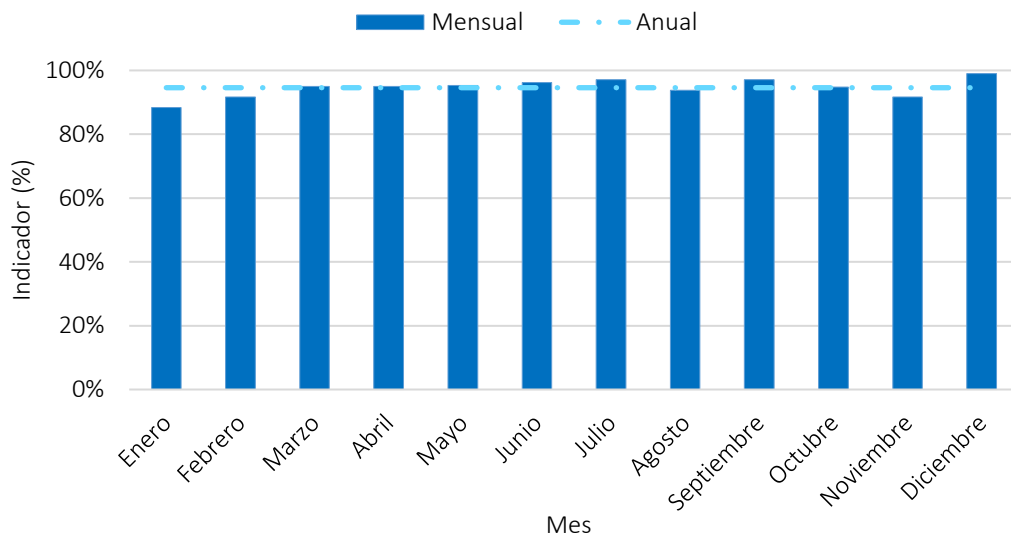
Todos los índices mencionados son representativos y relevantes para el análisis de la etapa de Ciudad con suministro de agua. Sin embargo, se puede afirmar que existen distintos grados de precisión y confiabilidad respecto a cada indicador, puesto que algunos están sujetos a condiciones con gran variabilidad, dificultando la correcta representación y análisis del sistema de abastecimiento para la población general. El indicador relacionado con la asequibilidad al servicio de agua potable y alcantarillado se reconoce como el de menor precisión o exactitud entre los índices elaborados, puesto que depende en gran medida de los ingresos y gastos por hogar de acuerdo con el estrato socioeconómico perteneciente;

dichos parámetros cuentan con una gran inestabilidad y dispersión en los hogares del país. A continuación, se describen los indicadores propuestos anteriormente en detalle.

Indicador
Cumplimiento de la calidad requerida del agua.
Objetivo
Este indicador busca cuantificar el cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos para garantizar la calidad de agua potable.
Descripción
Mediante la aplicación de este indicador se busca evaluar las características del agua potable suministrada a la población urbana, contemplando su cumplimiento a la cantidad y calidad requeridas para su consumo.
Fuentes de información
– <i>Calidad de las muestras de agua potable</i>: Empresa de Servicios Públicos de Agua – <i>Índice de riesgo para la calidad del agua potable (IRCA)</i>: Sistema Único de Información (SUI)
Método de cálculo
Para estimar la calidad de agua es necesario verificar que se cumplan las características físicas, químicas y microbiológicas indicadas para el consumo humano. Se analizan los informes de calidad de agua tratada suministrados por la empresa prestadora de servicios, evaluando si las muestras cumplen con los requisitos y número mínimo de pruebas establecido de acuerdo con la población atendida, el mapa de riesgo y lo exigido por la autoridad.
Formulación
$WQ = \frac{M_c}{M_T} * 100\%$ Donde: - WQ: Cumplimiento de la calidad requerida del agua (%) - M_c: Número de muestras de agua que cumplen con la calidad requerida (-) - M_T: Número total de muestras de agua establecido por la resolución (-)
Unidades
Porcentaje de cumplimiento [%]
Observaciones
La evaluación de este indicador busca estimar la calidad del agua potable suministrada por parte de la empresa encargada del servicio de acueducto y alcantarillado, por lo cual se debe tener en cuenta el número de muestras recolectadas y analizadas para cada parámetro de interés. Los valores de referencia para la estimación fueron los sugeridos en la Resolución

2115 de 2007, en la cual se especifica una cantidad mínima de muestras por analizar en un periodo de tiempo de acuerdo con la población atendida por la empresa prestadora del servicio de acueducto. Es de gran importancia realizar el control de los análisis básicos y complementarios en la red de distribución con la frecuencia y número de muestras adecuado.

Representación gráfica



Valores mensuales del indicador de cumplimiento de la calidad requerida para el año 2020 en Barranquilla

Para analizar la calidad de agua potable del corregimiento de La Playa se asumió que el servicio brindado en la ciudad de Barranquilla es uniforme, por lo cual se estima con la totalidad de datos brindados por la empresa prestadora del servicio de acueductos. Para el cálculo del indicador se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros básicos y complementarios registrados en cada mes del año 2020: Color aparente, turbiedad, pH, cloro residual libre, alcalinidad total, dureza total, sulfatos, hierro total, cloruros, nitratos, nitritos, aluminio, coliformes y E. coli. Al evaluar el número de muestras que cumplen con los valores indicados en la Resolución 2115 y compararlo con la frecuencia de pruebas establecidas para una población de entre 1.000.001 - 2.000.000 habitantes tal como lo es la ciudad de Barranquilla, se obtiene un valor promedio anual de 94.58% para el cumplimiento de calidad de agua.

Por otro lado, el valor del IRCA (Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano) reportado del año 2020 es de 0.05%, es decir que no representa riesgos y cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas contempladas en la resolución. Cabe resaltar, que en el indicador no se analiza la calidad del agua para usos no potables que proviene de sistemas de

aprovechamiento y reúso debido a que no hay información disponible.

Tipología del indicador

Cuantitativo

Sector

Manejo integrado del agua

Valoración del indicador según criterios de selección

Las funciones de pertenencia del indicador se muestran a continuación:

Valoración	Límite superior	Límite inferior	Criterio
Muy malo	0	30	Los valores se definieron a partir del criterio de expertos. Así mismo, resultan de considerar que un porcentaje de cumplimiento distinto de 100% puede conllevar a riesgos sobre la población
Malo	30	70	
Regular	70	90	
Buena	90	99	
Muy bueno	99	100	

Indicador

Asequibilidad al servicio de agua potable y alcantarillado.

Objetivo

Mediante este indicador se establece si existen limitaciones en el acceso al servicio de agua potable y alcantarillado debido al costo de este.

Descripción

Este indicador busca cuantificar la asequibilidad de los habitantes al servicio de acueducto y alcantarillado por medio del análisis de ingresos y gastos esenciales de hogares. Es de gran importancia realizar una correcta estimación del indicador teniendo en cuenta la capacidad de los clientes para pagar los servicios de agua, sin presentar limitaciones o inconvenientes para costear otros gastos esenciales. Además, la empresa prestadora de servicios también debe velar por obtener los ingresos adecuados para mantener su rendimiento y suministro a la población.

Fuentes de información

- *Ingresos y gastos esenciales por hogar*: Encuesta a los habitantes, encuesta multipropósito del DANE o encuesta nacional de hogares del DANE
- *Tarifa del acueducto y alcantarillado*: Empresa de Servicios Públicos de Agua Potable
- *Investigaciones previas*: Measuring Household Affordability for Water and Sewer Utilities por Manuel Teodoro (2018)

Método de cálculo

Para realizar el cálculo del presente indicador, es necesario partir de los costos del servicio de agua potable y alcantarillado, así como de los ingresos y los gastos esenciales del hogar (p. ej. vivienda, comida, salud, energía, entre otros bienes y servicios). El costo del agua por hogar se calcula considerando el consumo y la tarifa establecida de acuerdo con el estrato en que se encuentre clasificada la vivienda. Los usuarios que pertenecen a los estratos 1, 2 y 3 reciben subsidios del 70%, 40% y 15% sobre el cargo fijo y el cargo por consumo del suscriptor. Por otro lado, los residentes de estratos 5, 6 y los usuarios comerciales e industriales pagan un aporte solidario o contribución para otorgar dichos subsidios a los niveles más bajos. Finalmente, los usuarios del estrato 4 pagan el costo de referencia del servicio, sin recibir subsidio o pagar aporte solidario. Lo anterior, se realiza con la finalidad de no limitar la flexibilidad financiera y garantizar la asequibilidad a bienes y servicios esenciales de los distintos tipos de hogares del país.

Para la determinación del indicador también es necesario estimar el consumo básico promedio de la población, teniendo en cuenta la altitud sobre el nivel del mar y las condiciones climáticas de la zona. En el caso de la ciudad de Barranquilla, que se encuentra a 18 m.s.n.m, es decir por debajo de 1000 m.s.n.m. y cuenta con un clima de tipo cálido, se acoge un valor de consumo básico de 16 m³, capaz de suplir todas las necesidades de los servicios de acueductos y alcantarillado solicitadas por suscriptor al mes.

Formulación

$$A_{W+S} = \frac{C_W + C_S}{(I_C - G_c)} * 100\%$$

Donde:

- A_{W+S} : Asequibilidad al servicio de agua potable y alcantarillado (%)
- C_W : Costo mensual del agua por hogar (pesos)
- C_S : Costo mensual del alcantarillado por hogar (pesos)
- I_C : Ingresos mensuales por hogar (pesos)
- G_c : Gastos esenciales mensuales por hogar (pesos)

Unidades

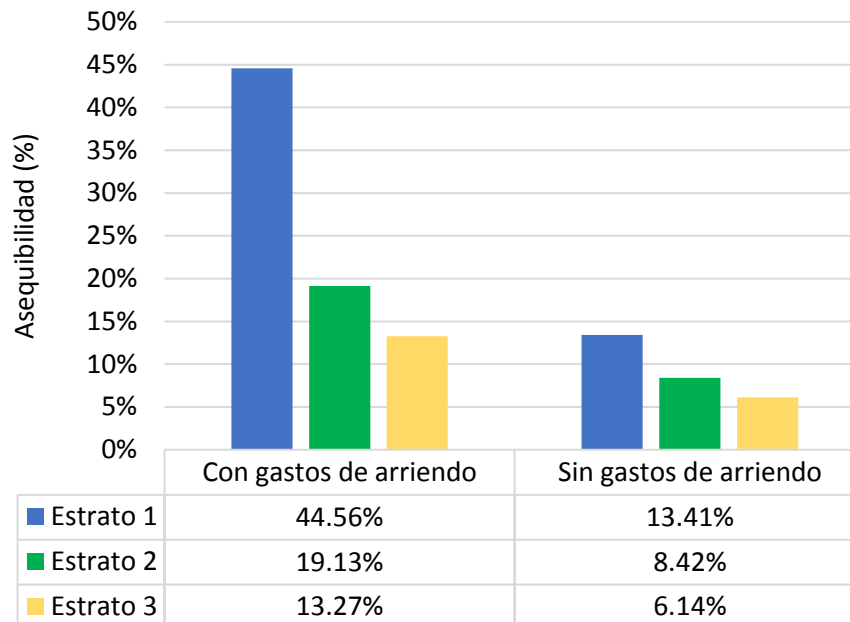
Porcentaje de cumplimiento [%]

Observaciones

De acuerdo con la investigación ejecutada por Manuel Teodoro (2018), realizar una evaluación significativa y precisa de la asequibilidad de los servicios del agua es fundamental para evitar las restricciones del bienestar y las oportunidades económicas de los hogares con bajos ingresos. En su estudio plantea que el indicador debe no exceder al 10%, de modo que un hogar no tenga que asignar este porcentaje de su gastos esenciales al pago del servicio de agua y alcantarillado. Sin embargo, también afirma que no se puede limitar el costo de

un servicio en "asequibles" o "inasequibles" puesto que existen casos en los cuales los ingresos por hogar son extremadamente bajos e impiden realizar una correcta estimación de la asequibilidad.

Representación gráfica



Asequibilidad según el estrato socioeconómico

La población del corregimiento de La Playa se encuentra distribuida en los estratos 1, 2 y 3. Por lo cual, se opta por evaluar los ingresos y los gastos esenciales del hogar para estos grupos socioeconómicos específicos. En todos los casos donde se incluyeron los costos de arriendo en los gastos esenciales, se obtuvo un porcentaje de asequibilidad superior al 10% recomendado por Teodoro (2018), es decir que existe la posibilidad de que los hogares pertenecientes a dichos estratos cuenten con restricciones del bienestar y limitaciones en las oportunidades económicas. El estrato 1 se resalta por ser el de menores ingresos económicos, por lo cual cuenta con una menor asequibilidad a pagar el servicio de agua y alcantarillado, con un valor del 44% que presenta una preocupante situación para los usuarios de este sector. Cabe resaltar que, las tarifas manejadas por la empresa prestadora del servicio son adecuadas; la problemática se encuentra al ser poblaciones con ingresos extremadamente bajos y un mayor número de personas por hogar, lo cual impide realizar una correcta estimación del indicador correspondiente.

Por otro lado, al analizar la asequibilidad del servicio de agua y alcantarillado sin incluir los costos de arriendo en los gastos esenciales, se observa un mayor acceso al servicio para todos los estratos analizados, evidenciando que el pago de vivienda representa una gran inversión para los hogares, principalmente a los de bajos ingresos. El estrato 2 y 3 cuentan

con una asequibilidad buena ya que registraron un valor inferior al 10% de los gastos, lo que indica una flexibilidad económica para los usuarios del servicio.

Tipología del indicador

Cuantitativo

Sector

Manejo integrado del agua

Valoración del indicador según criterios de selección

Las funciones de pertenencia del indicador se muestran a continuación.

Valoración	Límite superior	Límite inferior	Criterio
Muy malo	20	100	Los valores se definieron considerando el estándar para este indicador (i.e., 10% máximo por hogar)
Malo	15	20	
Regular	9	15	
Buena	3	9	
Muy bueno	0	3	

Indicador

Continuidad del servicio de agua.

Objetivo

Este indicador pretende cuantificar las horas al día en que la población urbana cuenta con disposición y suministro de agua.

Descripción

Mediante la aplicación de este indicador se busca determinar el tiempo durante el que la población dispone de agua de consumo. Además, es posible analizar la frecuencia y tiempo de interrupción del suministro a los suscriptores por afectaciones relacionadas a la presencia de cortes por reparaciones, mantenimientos, racionamientos y eventos de fuerza mayor.

Fuentes de información

- *Índice de Continuidad por municipio:* Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI)

Método de cálculo

El índice de continuidad del agua es calculado de acuerdo con el número de horas al día en que la población urbana dispone del suministro de agua. El Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI) presenta la información en horas/día y el porcentaje mensual o anual respecto a los datos brindados por las empresas prestadoras del servicio público de acueducto.

Formulación

La formulación brindada por la resolución 2115 del 2007 permite el cálculo de continuidad dada en hora/día por mes:

$$IC = \frac{N_{hs} * P_s}{730 * P_t} * \frac{24 h}{día}$$

Donde:

- IC : Índice de continuidad (h/día)
- N_{hs} : Número de horas prestadas en un mes (h/mes)
- P_s : Población servida
- 730 corresponde al número de horas que tiene un mes (h/mes)
- P_t : Población total servida por la persona prestadora

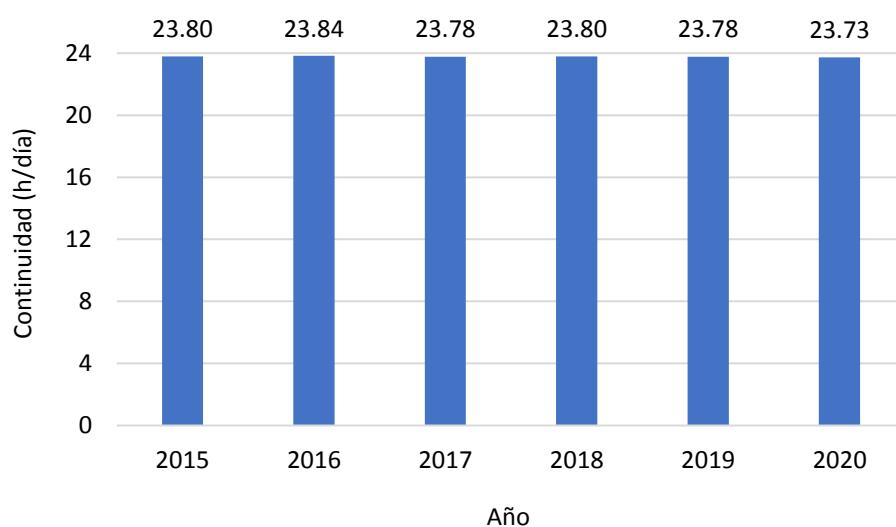
Unidades

Horas/día

Observaciones

Este indicador representa uno de los principales parámetros para analizar la eficiencia de las empresas prestadores de servicio de agua potable, puesto que busca estimar el tiempo durante el que la población cuenta con suministro del recurso hídrico. Mantener una continua disponibilidad de agua permite el mejoramiento del sector y garantiza el saneamiento básico para la sociedad.

Representación gráfica



Continuidad del servicio en la ciudad de Barranquilla

La continuidad del servicio del agua en la ciudad de Barranquilla a lo largo de los últimos años ha sido clasificada como continua. El índice de continuidad promedio del servicio de acueducto en los últimos 6 años fue de 23,79 h/día con un porcentaje estimado del 99,3%.

Tipología del indicador			
Cuantitativo			
Sector			
Manejo integrado del agua			
Valoración del indicador según criterios de selección			
Las funciones de pertenencia del indicador se muestran a continuación.			
Valoración	Límite superior	Límite inferior	Criterio
Insuficiente	0	10	Se consideró el criterio propuesto en la Resolución 2115 del 2007.
No satisfactorio	10.1	18	
Suficiente	18.1	23	
Continuo	23.1	24	

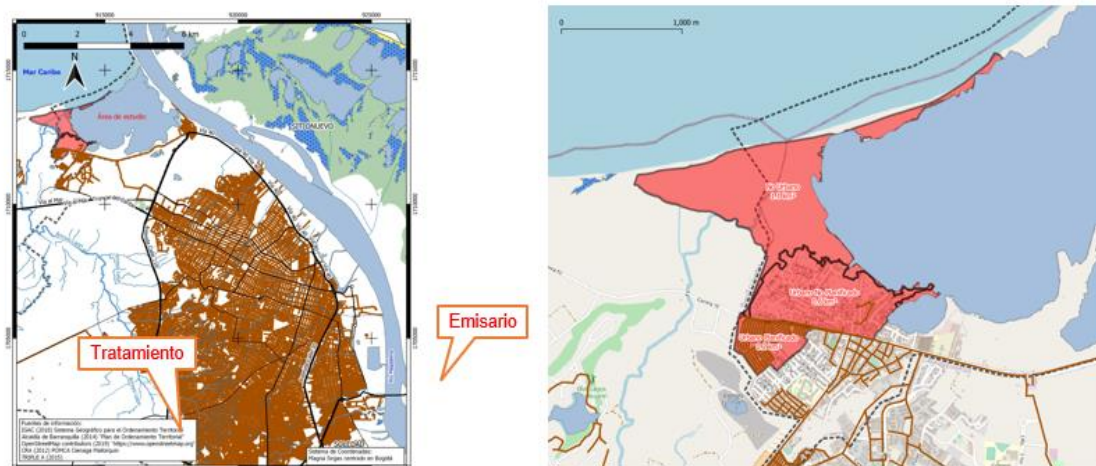
5.2.2 CIUDAD CON ALCANTARILLADO SANITARIO

Esta etapa evalúa la cobertura del sistema de alcantarillado sanitario para la recolección y transporte de las aguas residuales de la población urbana. Es de gran importancia garantizar el manejo rápido y seguro de las aguas de desecho puesto que estas pueden afectar de forma directa la salubridad de los habitantes, generando enfermedades infecciosas y deteriorando el medio ambiente. Se presenta un indicador que pretende cuantificar el porcentaje de la población que cuenta con acceso al servicio de alcantarillado sanitario. Además, es posible determinar si existe un déficit en la prestación del servicio. La descripción de los indicadores se presenta a continuación.

Indicador
Cobertura del servicio de alcantarillado sanitario.
Objetivo
Este indicador pretende cuantificar el porcentaje de la población que cuenta con acceso al servicio de alcantarillado sanitario (recolección, transporte y disposición de las aguas residuales) con el fin de establecer si existe un déficit en la prestación del servicio.
Descripción
Este indicador busca evaluar la cobertura del servicio de alcantarillado sanitario en zonas urbanas. Cabe resaltar que, existen diversos factores que pueden afectar la correcta estimación de la cobertura, tales como: desactualización de datos referentes, conexiones erradas o ilegales al sistema de alcantarillado, problemas de servicio relacionados al

mantenimiento y operación.
Fuentes de información
– <i>Unidades de viviendas conectadas al sistema de alcantarillado:</i> Empresa de Servicios Públicos de Agua y Alcantarillado – <i>Unidades de vivienda en el área:</i> Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) o Departamento de Planeación de la ciudad
Método de cálculo
La cobertura del alcantarillado sanitario se puede estimar considerando la información brindada por la empresa prestadora del servicio de agua, respecto al número de viviendas conectadas al sistema. Es de gran importancia contar con datos actualizados de la población servida puesto que la expansión poblacional y el desarrollo urbano requiere avances constantes del servicio.
Formulación
$HRI(Al_{cs}) = \frac{UVs}{UVt} * 100\%$ Donde: – <i>Alcs:</i> Cobertura de alcantarillado sanitario (%) – <i>UVs:</i> Unidades de vivienda conectadas al servicio de alcantarillado (#) – <i>UVt:</i> Unidades de vivienda en el área (#)
Unidades
Porcentaje de cumplimiento [%]
Observaciones
Para garantizar un correcto desarrollo urbano, es primordial contar con una completa cobertura de alcantarillado sanitario que vele por el saneamiento básico de la población. Sin embargo, la proporción de viviendas que cuentan con el servicio de recolección y transporte de aguas residuales en urbanizaciones informales es menor al 100%. Lo anterior, representa un posible déficit en la prestación del servicio que puede afectar el bienestar, la salud y la calidad de vida de los habitantes. Por lo cual, es de gran importancia desarrollar el indicador en función de determinar las limitaciones al acceso a servicios básicos como acueducto y alcantarillado.

Representación gráfica



Tipología del indicador

Cuantitativo

Sector

Manejo integrado del agua

Valoración del indicador según criterios de selección

Las funciones de pertenencia del indicador se muestran a continuación.

Valoración	Límite superior	Límite inferior	Criterio
Muy malo	0	70	Los valores presentados se definieron considerando que el servicio de alcantarillado sanitario debe estar garantizado para cualquier desarrollo urbano. Adicionalmente, se consideró el criterio de expertos.
Malo	70	90	
Regular	90	95	
Buena	95	99	
Muy bueno	99	100	

5.2.3 CIUDAD CON DRENAJE PLUVIAL

La ciudad de Barranquilla cuenta con una topografía fundada sobre una suave colina, cuya divisoria produce dos vertientes de drenaje, que permite separar la capital del Atlántico en dos grandes cuencas: la oriental y la occidental. La cuenca oriental se caracteriza por tener una gran amplitud y desarrollo urbano; contiene en su extensión a arroyos que descargan directamente al río Magdalena. Por otro lado, la cuenca occidental, contiene los arroyos que

descargan al arroyo León y al arroyo Grande, que posteriormente vierten sus aguas en la ciénaga de Mallorquín hasta llegar al el mar Caribe.

La mayor parte de la ciudad de Barranquilla no cuenta con un sistema de alcantarillado pluvial formal que permita el drenaje, manejo y conducción de la escorrentía de las aguas de lluvia. Por lo cual, las calles funcionan como sistema de drenaje superficial que permite la circulación del agua libremente, la cual termina descargando al río Magdalena o siguiendo los cauces naturales hasta descargar al arroyo León, para posteriormente llegar al mar a través de la ciénaga de Mallorquín.

Durante las temporadas de lluvia, en la capital del Atlántico se forman fuertes corrientes de agua a gran velocidad que corren sobre las vías de la ciudad y son denominadas arroyos. Estos son capaces de provocar un gran número de daños e inconvenientes a los habitantes de la ciudad, tales como “inundaciones, pérdidas de vidas humanas, daños en la infraestructura urbana y redes de servicios públicos, daños ambientales, parálisis en la actividad comercial, industrial, educativa y en el transporte urbano y deterioro en la salud pública” (Alcaldía de Barranquilla, 2019).

En la actualidad, los habitantes del corregimiento La Playa no cuentan con un servicio de alcantarillado pluvial que les permita drenar la escorrentía de las aguas de lluvia provenientes del suroccidente de la ciudad y de los municipios ubicados en la parte alta y media de la cuenca de los Arroyo Grande y León. Cabe resaltar que, esta situación es de gran complejidad puesto que afecta de forma directa la seguridad, el bienestar y la calidad de vida de las personas pertenecientes a la zona.

En esta etapa se proponen dos indicadores relevantes para la evaluación de las condiciones actuales del alcantarillado pluvial como sistema de drenaje de las aguas de escorrentía. Primeramente, se plantea el indicador de cobertura del servicio que busca cuantificar el porcentaje del área en que la escorrentía generada es drenada por el sistemas de alcantarillado. Además, se propuso el indicador de confiabilidad en el alcantarillado pluvial que busca determinar el grado en el que un sistema reduce la frecuencia de fallas durante su vida útil en condiciones habituales de operación. A continuación se presenta una descripción detallada de cada indicador:

Indicador
Cobertura del servicio de alcantarillado pluvial.
Objetivo
Este indicador busca cuantificar el porcentaje del área en la que la escorrentía generada es manejada mediante sistemas de drenaje convencionales para establecer si existe déficit en la infraestructura.
Descripción

Evalúa la cobertura del servicio de alcantarillado pluvial en las zonas urbanas.	
Fuentes de información	
- <i>Área urbanizada cuya escorrentía es manejada por un sistema de drenaje:</i> Empresa de Servicios Públicos de Agua y Alcantarillado - <i>Área urbanizada total:</i> Departamento de Planeación de la ciudad	
Método de cálculo	
La cobertura del alcantarillado pluvial se puede estimar considerando la información consignada en el catastro de redes. Particularmente, se puede consultar en el “Reporte de estratificación y coberturas” de las diferentes ciudades, dispuesto en el Sistema Único de Información (SUI).	
Formulación	
$Al_{cp} = \frac{AUp}{AUt} * 100\%$ Donde: - <i>Al_{cp}:</i> Cobertura de alcantarillado pluvial (%) - <i>AUp:</i> Área urbanizada cuya escorrentía es manejada por un sistema de drenaje (m²) - <i>AUt:</i> Área urbanizada total (m²)	
Unidades	
Porcentaje de cobertura [%]	
Observaciones	
En el desarrollo de las ciudades es muy común que en las urbanizaciones informales o de gran antigüedad no hayan contado con proceso de diseño y construcción que busque la gestión de aguas pluviales. Por lo cual, es necesario analizar el posible déficit o limitación de sistema de drenaje pluvial que afecta de forma directa a los habitantes de la zona. Un sistema ideal de alcantarillado pluvial está encaminado hacia sustentabilidad y sostenibilidad ambiental al garantizar el correcto manejo del agua de lluvia y velar por la protección de las personas, la infraestructura y el medio ambiente.	
Representación gráfica	
La población del corregimiento La Playa no cuenta con un sistema de alcantarillado pluvial formal que permita el drenaje de la escorrentía de las aguas de lluvia. En la actualidad, La cobertura de este servicio es del 0% para la zona de estudio.	
Tipología del indicador	
Cuantitativo	
Sector	
Manejo integrado del agua	
Valoración del indicador según criterios de selección	

Las funciones de pertenencia del indicador se muestran a continuación.

Valoración	Límite superior	Límite inferior	Criterio
Muy malo	0	45	Se consideró el criterio de expertos y se consultaron los porcentajes de cobertura de las diferentes ciudades del país.
Malo	45	70	
Regular	70	90	
Buena	90	98	
Muy bueno	98	100	

Indicador
Confiabilidad del sistema de drenaje.
Objetivo
Este indicador pretende cuantificar el desempeño del sistema de drenaje en términos de su confiabilidad. Además, se busca determinar el grado de reducción de la frecuencia de fallas durante su vida útil de un sistema de alcantarillado pluvial.
Descripción
Evalúa la confiabilidad del sistema de drenaje en el manejo de la esorrentía.
Fuentes de información
- <i>Fallas en el sistema de drenaje:</i> Empresa de Servicios Públicos de Agua o modelos hidráulicos - <i>Información de las estructuras de drenaje convencional y no convencional:</i> Empresa de Servicios Públicos de Agua
Método de cálculo
La estimación de este indicador se puede realizar a partir del monitoreo de fallas en el sistema de drenaje pluvial. Cuando no se tienen registros de monitoreo de fallas, la evaluación del desempeño del sistema de drenaje se puede realizar mediante el programa SWMM u otro software hidráulico. En particular, SWMM permite la modelación de estructuras convencionales (p.ej., tuberías y canales abiertos) y no convencionales (p.ej., estructuras de SUDS como cunetas verdes y zonas de bioretención) para la obtención del desempeño del sistema. La información requerida para realizar las simulaciones en SWMM corresponde a la precipitación, las características de la cuenca y los parámetros de diseño de las estructuras de drenaje. Entre los resultados obtenidos se incluye el tiempo de sobrecarga de cada una de las estructuras modeladas.

Formulación
$HRI = \left(1 - \left(\frac{1}{T} \sum_{j=1}^M T_j \right) \right) * 100\%$ Donde: - HRI: Confiabilidad del sistema de drenaje (-) - M: Número de fallas del sistema (número de veces en las que el sistema se sobrecargó) (-) - T: Tiempo de operación del sistema (horas) - T_j: Duración del estado de falla del sistema (horas)
Unidades
Porcentaje de confiabilidad [%]
Observaciones
Este indicador permite calcular la confiabilidad del sistema mediante el análisis de fallas relacionadas con la sobrecarga hidráulica del mismo. Debido a que la confiabilidad está relacionada con la resiliencia del sistema, el indicador permite evaluar indirectamente la adaptación de las estructuras drenaje a diversos eventos de precipitación.
Representación gráfica
La población del corregimiento La Playa no cuenta con un sistema de alcantarillado pluvial formal que le permita analizar el presente indicador. Por lo cual, el porcentaje de confiabilidad sería del 0%, ya que no existe un tiempo de operación o fallas registradas en el sistema.
Tipología del indicador
Cuantitativo
Sector
Manejo integrado del agua
Valoración del indicador según criterios de selección

Las funciones de pertenencia del indicador se muestran a continuación.

Valoración	Límite superior	Límite inferior	Criterio
Muy malo	0	60	Se consideró el criterio de expertos y se consultaron los porcentajes de cobertura de las diferentes ciudades del país.
Malo	60	85	
Regular	85	95	
Buena	95	98	
Muy bueno	98	100	

5.2.4 CIUDAD CON CALIDAD DE AGUA

Para el caso en estudio, el análisis se enfocó en la calidad de agua de la Ciénaga de Mallorquín, que es el cuerpo receptor principal y de mayor interés desde el punto de vista ecológico; y en la del Arroyo León, que es una fuente superficial localizada en el sector, la cual recibe aportes de escorrentía y aguas residuales provenientes del área bajo análisis, las cuales descarga integralmente en la Ciénaga de Mallorquín. En este orden de ideas se procede con el desarrollo de la Etapa 4, en la que se reconoce el deterioro de la calidad de los cuerpos de agua, por medio de un enfoque en la recuperación y protección de los cuerpos hídricos.

En primer lugar, se consideró el indicador de calidad de cuerpo de agua receptor, el cual considera el cuerpo de agua donde se descargan las aguas residuales y la escorrentía con o sin algún tipo de tratamiento, para así identificar los problemas de contaminación en el mismo y estrategias para su recuperación. Por otra parte, se adoptó el indicador de agua residual tratada al nivel de calidad requerido, que busca cuantificar la proporción de aguas residuales domésticas que son tratadas al nivel de calidad requerido. Mediante este se evalúa si el tratamiento realizado es adecuado al considera la calidad del cuerpo de agua receptor. Finalmente, como indicador propuesto, se presenta la tasa de Morbilidad y Mortalidad de origen hídrico en la zona de estudio. A continuación, se presenta una descripción detallada de cada indicador.

Indicador
Calidad del cuerpo de agua receptor
Objetivo
Su cuantificación permite identificar problemas de contaminación del agua en el cuerpo de agua receptor, con el fin de establecer limitaciones del uso del mismo aguas abajo de las descargas y responsabilidades de diferentes actores su protección y conservación.

Descripción
Este indicador califica la calidad del agua del cuerpo de agua receptor (i.e., cuerpo de agua donde se descargan las aguas residuales y la escorrentía con o sin algún tipo de tratamiento) con base en mediciones de diferentes parámetros de calidad.
Fuentes de información
- <i>Redes de monitoreo de calidad del agua del IDEAM y las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR)</i>, sin embargo, para el caso de estudio, no se encontró en el IDEAM información específica de calidad de agua de los cuerpos receptores bajo análisis disponible. - <i>Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (INVEMAR)</i> a través de los informes anuales (https://siam.invemar.org.co/redcam) de su Red de vigilancia para la conservación y protección de la calidad de las aguas marinas y costeras de Colombia (REDCAM), la cual cuenta con 350 estaciones de monitoreo (230 en el Caribe, estando dos de estos puntos de monitoreo en la zona de estudio) que recopilan datos de calidad de aguas y sedimentos marino costeros desde 2001, en atención a su misión institucional. - <i>Estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional del Atlántico y la Universidad del Norte</i>, como lo fue el Proyecto de Grado de Maestría en Ingeniería Ambiental (Benavides, L): Análisis de la influencia de la Calidad del Agua del Arroyo León en la Calidad del Agua de la Ciénaga de Mallorquín. - Vivas-Aguas, L. J. y S. M. Navarrete-Ramírez. 2014. Protocolo Indicador Calidad de Agua (ICAMPFF). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 69, Santa Marta. 32 p.
Método de cálculo
Este indicador se adaptó de la lista de sistema de indicadores ambientales de Colombia. La medición se debería realizar considerando la toma de muestra en el cuerpo de agua, en las estaciones de monitoreo, y el procesamiento de estas en el laboratorio. Para nuestro caso se considera la Ciénaga Mallorquín y el Arroyo León. Sin embargo, en el caso estudio no se contaban con muestreos de la zona, pero fue posible suplir las necesidades de información para calcular este indicador apropiadamente acudiendo a las fuentes alternativas señaladas previamente. La aplicación de los datos recopilados a la metodología señalada originalmente no es directa, por lo que los mismos requieren algún nivel de procesamiento para hacer posible su uso en el procedimiento original. Estos parámetros y su peso relativo se establecen según lo recomendado por el IDEAM. Mediante las curvas funcionales planteadas para cada parámetro, se calculan los valores respectivos de calidad del agua entre 0 y 1. Es importante tener en cuenta que, si no se cuenta con la medición del total de parámetros, los pesos

relativos pueden ser ajustados a la información que se tenga disponible. En este caso no fue necesario realizar una ponderación en los parámetros que se muestran a continuación.

Parámetro	Unidad de medida	Peso relativo
Oxígeno disuelto (OD)	% de saturación	0.17
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	0.17
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	0.17
Nitrógeno total/Fósforo total	-	0.17
Conductividad eléctrica	μS/cm	0.17
pH	Unidades de pH	0.15

Finalmente, la calidad del cuerpo de agua se clasifica de acuerdo con la metodología propuesta por la Universidad de los Andes.

Valoración	Límite superior	Límite inferior
Muy mala	0	25
Mala	25	50
Aceptable	50	70
Regular	70	90
Buena	90	100

Formulación

Al respecto, también es relevante mencionar que, debido a que no es usual encontrar el detalle de muestras de calidad de agua utilizadas en la información secundaria como la que se presenta en los informes de la REDCAM y otros reportes analizados, la expresión matemática utilizada para calcular el Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA) fue la indicada por el IDEAM, es decir:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i \cdot I_{ikjt} \right) \quad \text{en lugar de} \quad ICA = \frac{\sum_{k=1}^m (\sum_{i=1}^n W_i I)}{m} * 100\%$$

Donde:

- ICA_{njt} : Índice de Calidad del Agua de una determinada corriente superficial en la estación de monitoreo de la calidad del agua j en el tiempo t, evaluado con base en n variables.
- W : ponderador o peso relativo asignado a la variable de calidad i. i

- I_{ikjt} : valor calculado de la variable i (obtenido de aplicar la curva funcional o ecuación correspondiente), en la estación de monitoreo j , registrado durante la medición realizada k , del periodo de tiempo t .
- n : Número de variables de calidad involucradas en el cálculo del indicador; n es igual a 5 o 6 dependiendo de la medición del ICA que se seleccione.
- m : Número de muestras en las cuales se midieron los parámetros de calidad del agua para el cuerpo de agua receptor.

Unidades

Porcentaje [%]

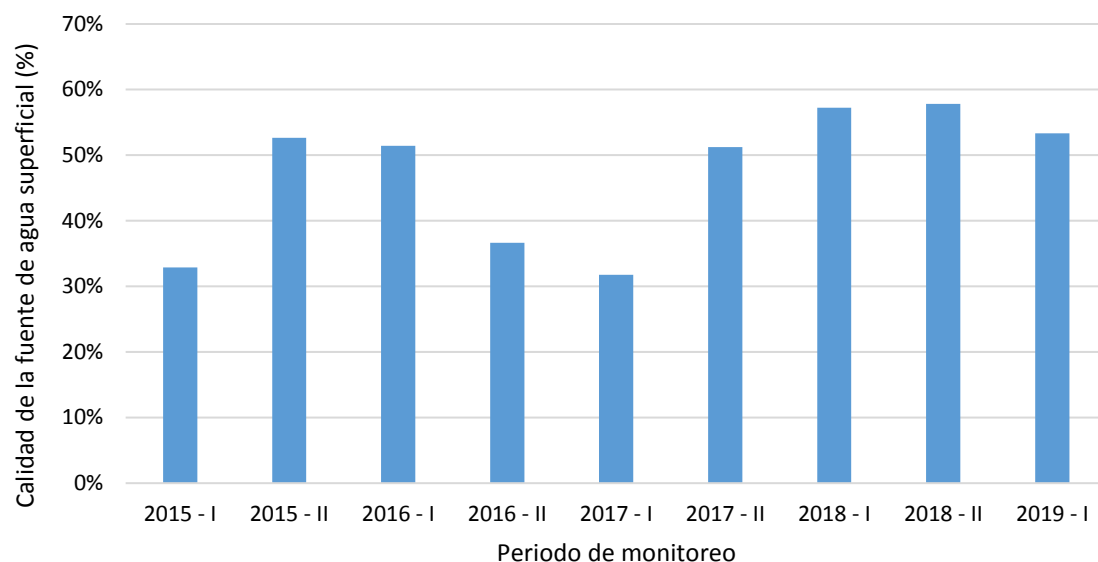
Observaciones

Si bien, dada la aplicación realizada, es posible afirmar que la estimación del indicador es viable bajo la metodología originalmente señalada; es también importante anotar, como se detallará más adelante, que para casos de estudio como el de la Ciénaga de Mallorquín y otras áreas costeras, usar alternativamente como índice de calidad el Indicador de Calidad de Aguas Marinas y Estuarinas (ICAM) en lugar del ICA, puede representar ventajas importantes y ser más representativo.

Es importante considerar que los cuerpos de agua receptores con diferentes tipos de contaminación pueden quedar clasificados en la misma categoría de calidad. Por otro lado, el número y tipo de parámetros incluidos en la cuantificación y la construcción de las curvas funcionales depende del conocimiento técnico sobre los valores de los parámetros considerados, como ocurrió en este caso que no se contaba con algunos campos de información y fue necesario acudir a fuentes de información alternativas y cambiando la formulación planteada. Como se mencionó previamente, este indicador se estimó para la Ciénaga de Mallorquín y para el Arrollo León que es el cuerpo de agua que descarga a la Ciénaga directamente y tiene gran influencia en la calidad del agua que ésta contiene, y por tanto en su estado actual.

Representación gráfica

De cada uno de los informes de REDCAM se obtuvo información desde el 2015 al 2019, cabe resaltar que la salinidad no es un parámetro empleado directamente en el cálculo del ICA, pero en nuestro caso se empleó para corregir la cantidad de oxígeno disuelto presente en el agua y la misma se convirtió a conductividad eléctrica. Posteriormente se aplicaron las curvas funcionales para cada uno de los parámetros, para así calcular el porcentaje de calidad del agua. A continuación, se presenta el ICA para cada uno de los periodos y un consolidado de la información necesaria para su cálculo. En el caso del arroyo León se obtuvo lo siguiente:



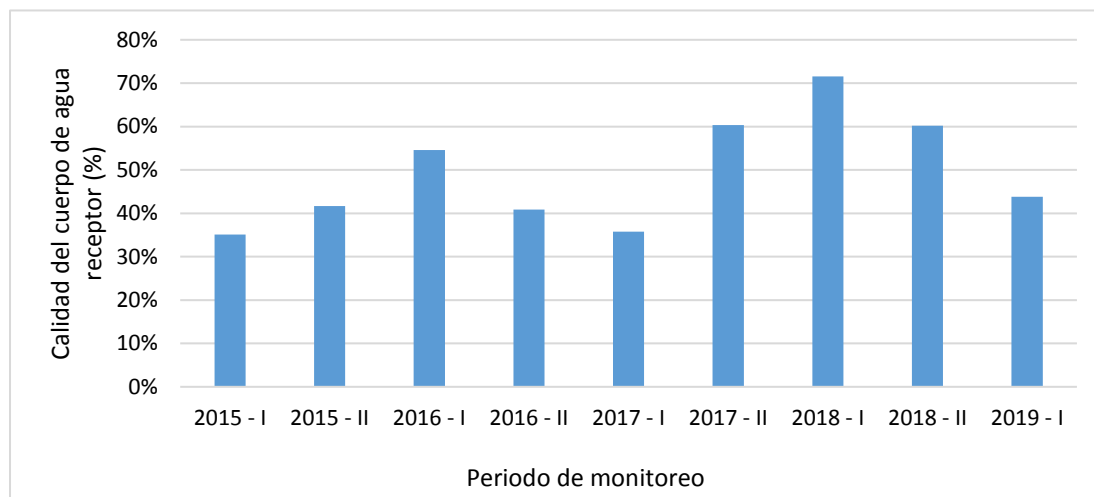
Calidad del Arroyo León en el periodo de monitoreo establecido.

Parámetro	Unidad de medida	2015 – I	2015 – II	2016 – I	2016 – II	2017 – I
Oxígeno disuelto (OD)	% de saturación	0.70	1.38	0.41	0.57	0.64
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	163	106	75	90	185
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	44.64	47.51	45.66	41.93	43.46
Nitrógeno total/Fósforo total	-	0.41	0.00	0.00	0.84	0.50
Sal	g.sal/litro	16.0	20.0	18.0	1.8	1.8
Conductividad eléctrica	μS/cm	25000	31300	28100	2810	2810
pH	Unidades de pH	8.2	8.6	7.4	8.3	8.1

Parámetro	Unidad de medida	2017 – II	2018 – I	2018 – II	2019 – I
Oxígeno disuelto (OD)	% de saturación	0.93	0.20	0.45	1.08
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	77	45	33	94
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	58.98	38.29	27.00	49.57
Nitrógeno total/Fósforo total	-	14.29	0.29	32.43	1.19
Sal	g.sal/litro	12.0	2.1	2.0	3.3
Conductividad eléctrica	μS/cm	18800	3280	3130	5160
pH	Unidades de pH	7.6	7.2	7.6	8.2

Parámetros empleados para el cálculo del ICA en el Arroyo León.

Por su parte, en el caso de la Ciénaga Mallorquín el resultado fue el que se muestra posteriormente:



Calidad de la Ciénaga Mallorquín en el periodo de monitoreo establecido.

Parámetro	Unidad de medida	2015 - I	2015 - II	2016 - I	2016 - II	2017 - I
Oxígeno disuelto (OD)	% de saturación	0.76	0.91	0.62	0.53	0.65
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	202	73	96	90	257
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	25.48	27.24	26.09	25.02	23.56
Nitrógeno total/Fósforo total	-	0.11	0.00	0.00	1.35	1.09
Sal	g.sal/litro	18.0	21.2	17.1	9.7	0.0
Conductividad eléctrica	μS/cm	28100	33100	26700	15200	0
pH	Unidades de pH	8.2	8.6	7.7	8.9	8.9

Parámetro	Unidad de medida	2017 - II	2018 - I	2018 - II	2019 - I
Oxígeno disuelto (OD)	% de saturación	0.30	0.75	0.87	0.72
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	50	46	52	165
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	34.29	21.51	20.71	17.71
Nitrógeno total/Fósforo total	-	10.00	16.88	1.06	1.65
Sal	g.sal/litro	0.0	7.5	7.9	15.4
Conductividad eléctrica	μS/cm	0	11700	12300	24100
pH	Unidades de pH	7.2	7.8	7.9	8.2

Parámetros empleados para el cálculo del ICA en la Ciénaga Mallorquín.

Como se aprecia en los resultados, la calidad del agua tanto del Arroyo León (ICA = 47.22% en promedio para los últimos cinco años) como de la Ciénaga de Mallorquín (ICA = 49.32% en promedio para los últimos cinco años) es en la historia reciente Mala; y aunque en algunos años, especialmente en 2018 de acuerdo con los registros analizados presentó una leve mejoría, la tendencia de mala calidad volvió en 2019. Esto se debe a que los problemas de vertimiento irregular a estos receptores, de aguas residuales sin tratar, especialmente domésticas, continúan aconteciendo sin que se haya realizado hasta el momento ninguna acción o intervención de fondo. Sin embargo, se registran en el momento varios anuncios de ciudad, que apuntan a solucionar de fondo el problema. En cualquier caso, resulta igualmente relevante mencionar que, la necesidad de acudir a diversas fuentes para coleccionar la información necesaria para calcular el indicador puede tener alguna influencia en la variabilidad observada en los resultados de un año a otro.

Tipología del indicador

Cuantitativo.

Sector

Manejo integrado del agua.

Valoración del indicador según criterios de selección

Las funciones de pertenencia del indicador se muestran a continuación.

Valoración	Límite superior	Límite inferior	Criterio
Muy malo	0	25	Los valores se establecieron a partir de la clasificación de calidad del agua propuesta por el IDEAM
Malo	25	50	
Regular	50	70	
Bueno	70	90	
Muy bueno	90	100	

Crítica constructiva

Especialmente para este indicador es relevante sugerir que, para casos de estudio en áreas costeras, en lugar del ICA, se utilice el Indicador de Calidad de Aguas Marinas y Estuarinas (ICAM), el cual es un indicador de estado (Tabla siguiente), y puede ofrecer ventajas importantes y ser más representativo cuando se trata de estas zonas.

$$ICAM = \left(\prod_{i=1}^n X_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum w_i}}$$

ICAM = calidad del agua en función de la destinación del recurso.

$$ICAM = [(X_{OD})^{0.16} \times (X_{pH})^{0.12} \times (X_{SST})^{0.13} \times (X_{DBO})^{0.13} \times (X_{CTE})^{0.14} \times (X_{HAT})^{0.12} \times (X_{NO3})^{0.09} \times (X_{PO4})^{0.13}]^{1/w_i}$$

Donde:

- X_i = subíndice de calidad de la variable i
- W_i = factor de ponderación para cada subíndice i según su importancia dentro del ICAM, el cual es ponderado entre cero y uno.

Escala de calidad	Color	Categorías	Descripción
Óptima	Azul	100-90	Calidad excelente del agua
Adecuada	Verde	90-70	Agua con buenas condiciones para la vida acuática
Aceptable	Amarillo	70-50	Agua que conserva buenas condiciones y pocas restricciones de uso
Inadecuada	Naranja	50-25	Agua que presenta muchas restricciones de uso
Pésima	Rojo	25-0	Aguas con muchas restricciones que no permiten un uso adecuado

Escala de valoración del índice de calidad de aguas marinas y costeras (ICAM).

Fuente: (Vivas-Aguas, 2011).

Con todo, siempre será difícil lograr y expresar la integralidad que se requiere a través de un indicador. Pero pese a eso, un indicador que logra incluir más parámetros será más ventajoso cuando se quiere evaluar la calidad del agua. El ICAM incluye en su cálculo Oxígeno disuelto, pH, Salinidad, Nitritos, Nitratos, ortofosfatos, Sólidos suspendidos, Hidrocarburos disueltos y dispersos, Organoclorados totales, Metales pesados (Cd, Cr y Pb), Coliformes totales y termo tolerantes. De acuerdo con la definición del indicador que realiza el INVEMAR, “estos parámetros son ponderados según importancia ambiental y dentro de la expresión algebraica, donde reciben una calificación individual de acuerdo con los criterios de calidad de la legislación colombiana y la concentración estimada en medio natural. El resultado de la ecuación es un número adimensional de cero a cien que representa un concepto de calidad (excelente, bueno, regular o malo)”. Sin embargo, al requerir información sobre un mayor número de parámetros, la disponibilidad de dicha información adicional podría convertirse en una barrera para la utilización del ICAM.

Indicador

Agua residual tratada al nivel de calidad requerido.

Objetivo

Este indicador pretende estimar el porcentaje de agua residual que es tratada por procesos físicos, químicos y biológicos adecuados. Es decir, que en su selección involucran la calidad del cuerpo de agua receptor y los usos del recurso aguas abajo del vertimiento. Esto con el fin de establecer si existen impactos ambientales negativos en los cuerpos de agua receptores y restricciones en el uso del agua.

Descripción
Se evalúa la proporción de aguas residuales domésticas que son tratadas al nivel de calidad requerido.
Fuentes de información
Para este indicador, las fuentes de información establecidas en la metodología original para estimarlo son: - Volumen de agua residual tratada, proveniente de la Autoridad Ambiental Regional, Empresa de Servicios Públicos de Agua u otro operador. - El Coeficiente de retorno, a partir del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable (RAS). - El Consumo de agua suministrado por la Empresa de Servicios Públicos de Agua. Sin embargo, el hecho que la zona bajo estudio presenta varios sectores subnormales y no conectados a la red de acueducto y alcantarillado de la empresa Triple A, prestadora del servicio en la ciudad de Barranquilla, los cuales descargan sus aguas residuales domésticas a la Ciénaga, al mar o al Arroyo León; supone una barrera significativa para la recopilación de la información necesaria para la estimación apropiada de este indicador.
Método de cálculo
El volumen de agua residual tratado se calcula mediante los reportes de gestión de las PTARs. En las PTARs, la medición del volumen de agua residual captado y entregado al cuerpo receptor se realiza mediante equipos y/o estructuras de medición de caudal o volumen. Por tanto, como alternativa, se parte de la determinación de la población total del área donde se localiza el caso de estudio, de estimar el consumo total de agua potable y agua residual producida en el área, así como la porción de la población que cuenta con alcantarillado con base en datos oficiales de la empresa prestadora del servicio y la dotación neta de agua potable según el RAS. De esta forma, al considerar que el agua que se colecta y transporta por la red de alcantarillado (cuya cantidad se estima a partir del agua potable consumida utilizando el factor de retorno) recibe algún tipo de tratamiento antes de ser vertida al Río Magdalena mediante el emisario subfluvial existente.
Formulación
$AR = \frac{AR_{tratada}}{AR_T} * 100\%$ $AR_T = V_{agua\ potable} * k$ Donde: - AR: Agua residual tratada al nivel de calidad requerido - $AR_{tratada}$: Volumen anual de agua residual tratada (m³) - ART: Volumen anual de agua residual producida (m³) - $V_{agua\ potable}$: Volumen de agua potable consumida en el año (m³)

- k : Coeficiente de retorno (-)
Unidades
Porcentaje de agua tratada [%]
Observaciones
Este indicador pretende evaluar el tratamiento de aguas residuales según el nivel de calidad demandado. Dicho nivel depende de las características del agua residual y de la calidad del agua del cuerpo receptor, por lo que la calidad requerida del vertimiento puede variar. En Colombia, la resolución 631 de 2015 define los valores límites para distintos determinantes de calidad de los vertimientos realizados por los sistemas de tratamiento. Sin embargo, la información que se tiene es que el “tratamiento” que se aplica al agua residual antes de ser vertida al Río Magdalena apenas llega a ser un pretratamiento, lo cual dista mucho de ser suficiente para los requerimientos de calidad del cuerpo de agua receptor y los usos del recurso aguas abajo de su vertimiento. Lo anterior sumado a que, como se mencionó previamente, los sectores del área de estudio no conectados a la red de acueducto y alcantarillado vierten sus aguas residuales directamente al Mar, a la Ciénaga o al Arroyo sin ningún tratamiento, permite afirmar que este indicador es realmente cero por ciento (0%).
Representación gráfica
Se espera que la representación gráfica sea el porcentaje de agua tratada a nivel de calidad requerido en el periodo de tiempo analizado. La zona bajo estudio presenta varios sectores subnormales y no conectados a la red de acueducto y alcantarillado de la ciudad de Barranquilla, por lo cual descargan sus aguas residuales domésticas a la Ciénaga, al mar o al Arroyo León. Si bien, es viable estimar el indicador a partir de los datos de población total, datos oficiales sobre la población conectada y no conectada al alcantarillado, dotación y consumo de agua potable, así como del factor de retorno reglamentado en el RAS y aplicar la metodología indicada; el “tratamiento” que se hace al agua residual antes de ser vertida, apenas llega a ser un pretratamiento o primario en algunos casos, el cual dista mucho de ser suficiente y apropiado para los requerimientos de calidad del cuerpo de agua receptor y los usos del recurso aguas abajo de su vertimiento. Lo anterior, sumado a que como se mencionó previamente, los sectores del área de estudio no conectados a la red de acueducto y alcantarillado vierten sus aguas residuales directamente al Mar, a la Ciénaga o al Arroyo sin ningún tratamiento, sería adecuado afirmar que este indicador es realmente cero por ciento (0%).
Tipología del indicador
Cuantitativo.
Sector

Manejo integrado del agua.

Valoración del indicador según criterios de selección

Las funciones de pertenencia del indicador se muestran a continuación.

Valoración	Límite superior	Límite inferior	Criterio
Muy malo	0	15	Los valores se definieron a partir del estado actual del tratamiento de aguas residuales en el país y las metas de tratamiento a corto y mediano plazo.
Malo	15	50	
Regular	50	70	
Bueno	70	90	
Muy bueno	90	100	

Indicador Propuesto

Tasas de Mortalidad causada por enfermedades de origen hídrico.

Objetivo

Este indicador busca estimar tasas de mortalidad para la zona de estudio.

Descripción

Las tasas de Mortalidad de origen hídrico son producidas por un reducido número de enfermedades que abarcan consecuencias digestivas e incluso respiratorias, muchas de estas enfermedades son tratables pero debido a factores inherentes a las familias donde se presentan terminan en el fallecimiento del sintomático. Por medio de esta tasa se busca determinar la probabilidad de que una persona de la población de estudio fallezca por una enfermedad relacionada con la calidad del agua del cuerpo de agua empleado para su consumo.

Fuentes de información

- *Población de Barranquilla en el 2018*: Geovisor CNPV 2018 Colombia - 08 - ATLÁNTICO - 08001 - BARRANQUILLA - Todas las clases
- *Área de Barranquilla*: Plan de Ordenamiento Territorial 2012-2032.
- *Área de la zona del caso estudio*: Recursos propios.
- *Defunciones en el Atlántico según grupo de causa de defunción*: Defunciones no fetales, cifras definitivas del 2018, DANE.

Método de cálculo

Primeramente, es necesario calcular la población del caso estudio, para esto se aplicó un método aproximado asumiendo que la distribución poblacional en toda la ciudad de Barranquilla es homogénea, empleando así la densidad poblacional de la ciudad al área del

polígono. Luego, se desarrolla un método diferente para cada una de estas tasas debido a la información que fue posible encontrar. En el caso de Mortalidad esta se encontró en el DANE, ya establecida como un número de habitantes, por lo que se sumaron las personas fallecidas en el periodo de estudio y aplica la formulación mostrada posteriormente.

Formulación

$$Tasa\ de\ Mortalidad = \frac{\# \text{ personas fallecidas en un año}}{Población\ total\ de\ ese\ año} * 1.000$$

Unidades

Tasas de Mortalidad [personas/1.000 habitantes]

Observaciones

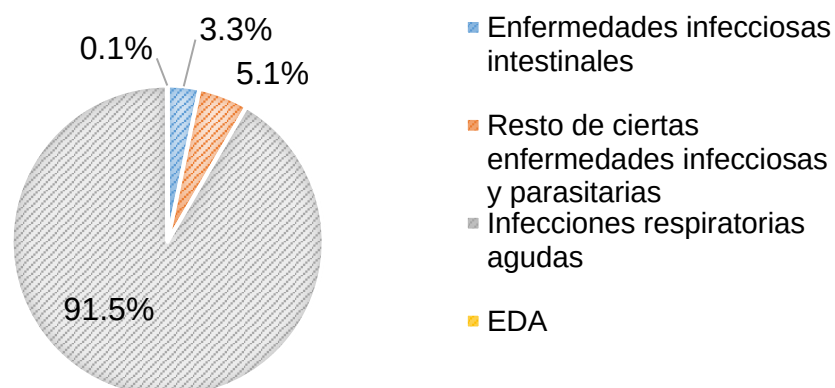
El estudio la evolución de las implicaciones de las enfermedades sobre la población es de gran importancia, porque este se encuentra en gran medida relacionado con la calidad del recurso hídrico, puesto que se espera que a una mejor calidad del agua se presente un menor número de personas fallecidas.

Representación gráfica

Se recomienda representar las tasas de Mortalidad en un gráfico donde se demuestre su evolución durante un periodo de tiempo determinado. En nuestro caso no contábamos con la información necesaria para hacer un estudio de su evolución, por lo tanto, se presenta sólo para el 2018, obteniéndose lo siguiente:

Tasa de Mortalidad del 2018 = 34 fallecidos por cada 1.000 habitantes

Asimismo, otra forma de representar gráficamente la información es por medio de gráficos específicos para cada periodo de tiempo estudiado donde se pueda apreciar el porcentaje de personas fallecidas con respecto al total de los fallecidos respectivamente.



Porcentaje de los fallecidos para cada una de las enfermedades que causan mortalidad.

Según los resultados, la tasa de mortalidad muestra estar en un rango aceptable para la zona estudio, pues se considera que es una zona que no cuenta en su totalidad con acueducto y alcantarillado. Gracias a las representaciones gráficas se puede observar que la mayoría de los fallecidos son por infecciones respiratorias agudas. Sin embargo, esta es una enfermedad indirectamente relacionada con el agua, según el Ministerio de Salud, por medio de cifras del 2015 en el Atlántico se determinó que los casos se clasificaban en las siguientes características en los menores de 5 años: 8.7 % en estado de desnutrición, 91.3 % tenía esquema de vacunación completo, 14 % vivía en hacinamiento, 0 % mostro poca ventilación y 9.18 % humedad. Por su parte en el caso de la morbilidad, la principal enfermedad es la Enfermedad diarreica aguda (EDA), la cual según la misma fuente anterior se caracterizan porque los casos de las personas que la padecen provienen de zonas urbanas y reportan como fuentes de agua pozos y disposiciones de excretas a cielo abierto. Cabe resaltar que esta problemática se presenta a nivel nacional en zonas rurales predominantemente.

Tipología del indicador

Cuantitativo.

Sector

Manejo integrado del agua.

Valoración del indicador según criterios de selección

Las funciones de pertenencia de las tasas de Morbilidad, relacionados en porcentaje, se muestran a continuación.

Valoración	Límite superior	Límite inferior	Criterio
Alta	100	13	Los valores se establecieron a partir de la clasificación de la mortalidad planteada en la Revista Geográfica digital, publicación de la Dra. Ana Foschiatti.
Moderada	13	10	
Baja	10	0	

Indicador Propuesto

Tasas de Morbilidad causada por enfermedades de origen hídrico.

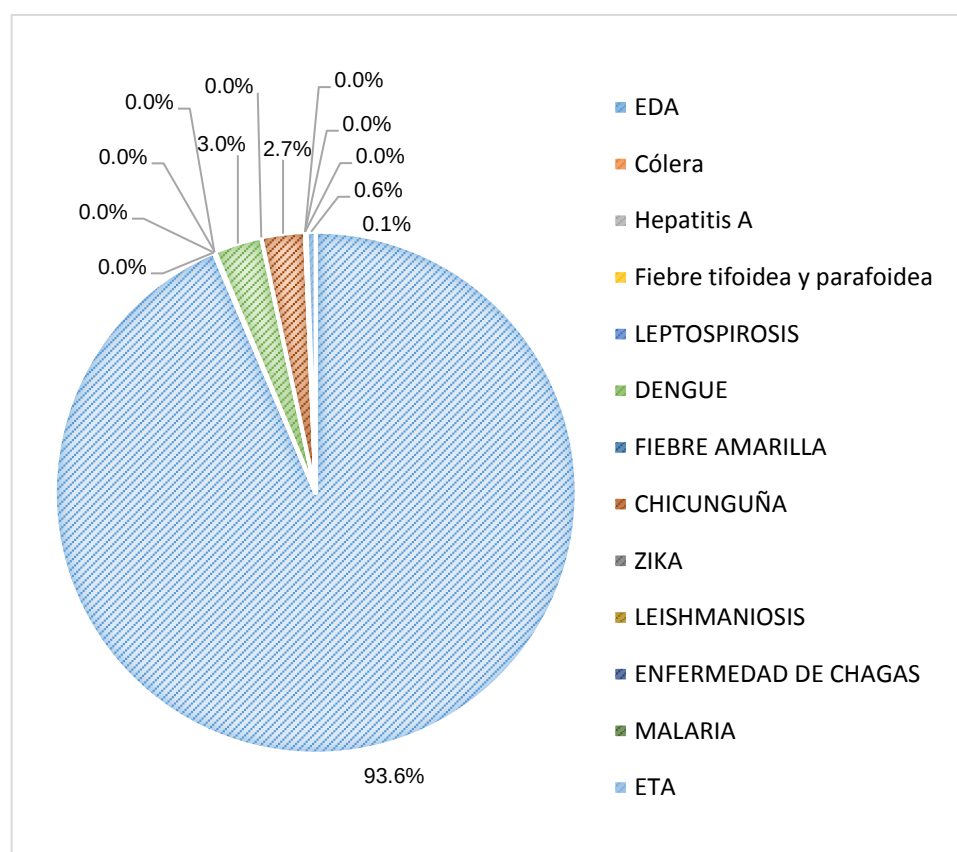
Objetivo

Este indicador busca estimar tasa de morbilidad para la zona de estudio.	
Descripción	
La tasa de Morbilidad de origen hídrico se da por un gran número de enfermedades que abarcan una sintomatología muy peculiar, normalmente se caracterizan por ser del tipo digestivas. Por medio de esta tasa se busca determinar la probabilidad de que una persona de la población de estudio desarrolle una enfermedad relacionada con la calidad del agua del cuerpo de agua del cual la extraen para su consumo.	
Fuentes de información	
- <i>Población de Barranquilla en el 2018:</i> Geovisor CNPV 2018 Colombia - 08 - ATLÁNTICO - 08001 - BARRANQUILLA - Todas las clases - <i>Área de Barranquilla:</i> Plan de Ordenamiento Territorial 2012-2032. - <i>Área de la zona del caso estudio:</i> Recursos propios. - <i>Tasas de morbilidad para cada una de las enfermedades de origen hídrico:</i> Enfermedades vehiculizadas por agua (EVA) e índice de riesgo de la calidad agua (IRCA) en Colombia 2015.	
Método de cálculo	
Primeramente, es necesario calcular la población del caso estudio, para esto se aplicó un método aproximado asumiendo que la distribución poblacional en toda la ciudad de Barranquilla es homogénea, empleando así la densidad poblacional de la ciudad al área del polígono. Luego, se desarrolla un método diferente para cada una de estas tasas debido a la información que fue posible encontrar. Para la morbilidad se encontraron tasas anteriormente calculadas para cada una de las enfermedades de origen hídrico, se asumió que estas no varían significativamente en el tiempo, aplicándose para el periodo de estudio y su población previamente calculada, posteriormente se realizó su sumatoria y se obtuvo el número de personas infectadas en un año determinado para así aplicar la respectiva formulación.	
Formulación	
$Tasa\ de\ Morbilidad = \frac{\# \text{ personas infectadas en un año}}{Población\ total\ de\ ese\ año} * 1.000$	
Unidades	
Tasa de Morbilidad [personas/1.000 habitantes]	
Observaciones	
El estudio la evolución de las implicaciones de las enfermedades sobre la población es de gran importancia, porque este se encuentra en gran medida relacionado con la calidad del recurso hídrico, puesto que se espera que a una mejor calidad del agua se presente un menor número de personas fallecidas o sintomáticas.	
Representación gráfica	

Se recomienda representar las tasas de Mortalidad y Morbilidad en un gráfico donde se demuestre su evolución durante un periodo de tiempo determinado. En nuestro caso no contábamos con la información necesaria para hacer un estudio de su evolución, por lo tanto, se presenta sólo para el 2018, obteniéndose lo siguiente:

Tasa de Morbilidad del 2018 = 64 infectados por cada 1.000 habitantes

Asimismo, otra forma de representar gráficamente la información es por medio de gráficos específicos para cada periodo de tiempo estudiado donde se pueda apreciar el porcentaje de personas fallecidas o sintomáticas con respecto al total de los fallecidos o infectados respectivamente.



Porcentaje de los infectados por enfermedades que causan morbilidad.

Según los resultados, las tasas de mortalidad y morbilidad muestran estar en un rango aceptable para la zona estudio, pues se considera que es una zona que no cuenta en su totalidad con acueducto y alcantarillado. Gracias a las representaciones gráficas se puede observar que la mayoría de los afectados padecían de EDA, Dengue y Chicunguña, respectivamente en un 93,6%, 3% y 2,7%, por lo que se aplica lo mismo que en el caso anterior de la mortalidad, donde el presentar síntomas se debe a la calidad de las fuentes de agua y también se presenta que son lugares propicios para la cría de vectores.

Tipología del indicador			
Cuantitativo.			
Sector			
Manejo integrado del agua.			
Valoración del indicador según criterios de selección			
Las funciones de pertenencia de las tasas de Morbilidad, relacionados en porcentaje, se muestran a continuación.			
Valoración	Límite superior	Límite inferior	Criterio
Alta	100	13	Los valores se establecieron a partir de la clasificación de la mortalidad planteada en la Revista Geográfica digital, publicación de la Dra. Ana Foschiatti.
Moderada	13	10	
Baja	10	0	

5.2.5 CIUDAD CON CICLO DE AGUA

En esta etapa se reconocen los límites en el uso de los recursos naturales por lo que se centra en el manejo de la demanda y en cerrar los ciclos del agua y de nutrientes. Por este motivo se incluyeron distintas escalas del consumo del agua dentro de los indicadores seleccionados. En primer lugar, se propuso que el uso y sustitución de agua potable a nivel residencial sea analizado a partir del consumo per cápita promedio de agua potable, y el agua aprovechada y reutilizada. Por una parte, el indicador de consumo residencial promedio de agua potable evalúa la eficiencia en el uso del agua para identificar si se requieren acciones incrementar la sostenibilidad en los casos en los que el consumo per cápita exceda lo requerido para suplir las necesidades de consumo directo e higiene. Por otro lado, el porcentaje de agua aprovechada y reutilizada a nivel residencial permite reconocer la proporción de fuentes alternas (i.e., agua lluvia y aguas grises) destinadas a sustituir usos no potables, lo que significa una mayor eficiencia en el uso de los recursos naturales.

Por otro lado, el índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento evalúa a nivel de cuenca la relación entre la oferta y la demanda de agua. En este sentido, se reconocieron dinámicas por fuera de los límites del desarrollo urbano que pueden impactar la disponibilidad de agua al interior de este. Adicionalmente, la oferta de agua en el indicador se aproximó a partir del promedio anual de las fuentes de agua principales al interior de la cuenca hidrográfica por lo que evidencia situaciones en las que se depende de fuentes externas de agua y en las que, por lo tanto, hay una disrupción en el ciclo hidrológico que puede afectar otras cuencas. De manera similar el indicador de escorrentía descargada se

basó en la diferencia entre la esorrentía descargada antes y después del desarrollo con el objetivo de evaluar posibles afectaciones en el ciclo hidrológico ya sea por el incremento o la disminución del caudal de esorrentía del área.

En el presente caso estudio fue imposible lograr incorporar esta etapa al modelo, ya que la locación seleccionada para abordarlo presentaba grandes inconvenientes en adquirir cada una de las variables de los respectivos indicadores. Ocasionando que esto fuera un proceso subjetivo donde se debían asumir una gran cantidad de valores y recurrir a fuentes poco confiables, por lo que se resistió de su cálculo y posterior incorporación al modelo. Sin embargo, cabe resaltar que se tuvo en cuenta el carbono en la parte de ecología urbana.

5.2.6 CIUDAD SENSIBLE AL AGUA

La Etapa 6 formula un conjunto de indicadores enfocados en evaluar la relación de los habitantes y el territorio en el ciclo del agua, incluyendo aspectos asociados a la equidad y a la resiliencia al cambio climático. Además, por las características que presenta la Ciénaga de Mallorquín, al ser un humedal costero, nuestro estudio considera la vulnerabilidad de la población y en general de la zona marino – costera no solo ante los impactos de las variaciones del clima de largo periodo, sino también, a los efectos de fenómenos hidrometeorológicos extremos. En consecuencia, se propone el indicador de vulnerabilidad costera para valorar la vulnerabilidad de la zona ante los efectos generados por forzamientos marinos. A continuación, se describe en detalle el indicador propuesto anteriormente.

Indicador
Vulnerabilidad Costera
Objetivo
Evaluar y categorizar la vulnerabilidad costera, para realizar el estudio y establecimiento de medidas adecuadas que garanticen la reducción de la de vulnerabilidad de la población de la urbanización La Playa.
Descripción
Este indicador se enfoca en la susceptibilidad frente a fenómenos de inundación y procesos erosivos en la zona de estudio, mediante la evaluación y ponderación de la vulnerabilidad de cinco importantes variables físicas costeras: elevación topográfica (1), presencia/ausencia de dunas (2), tipo de cobertura del suelo (3), tasa de cambio de línea de costa (4) y presencia/ausencia de estructuras artificiales de protección costera (5).
Fuentes de información
- <i>Elevación Topográfica</i>: Topografía satelital; Advanced Land Observation Satellite (ALOS). - <i>Cobertura de dunas</i>: Imágenes satelitales; SENTINEL 2, DigitalGlobe®, World Imagery Basemap feature (ArcGIS 10.1)

- *Línea de costa cubierta por estructuras artificiales de protección costera*: Imágenes satelitales; SENTINEL 2, DigitalGlobe®, World Imagery Basemap feature (ArcGIS 10.1)
- *Tasa de cambio de línea de costa*: Sistema Digital de Análisis de la Costa (DSAS), literatura
- *Tipo de cobertura del suelo*: SENTINEL 2, DigitalGlobe®, World Imagery Basemap feature (ArcGIS 10.1)

Método de cálculo

Todos los procesos físicos de la zona costera asociada al humedal tienen relación directa con la frontera marina. De esta manera, la incidencia de los fenómenos oceánicos es proporcional al grado de vulnerabilidad del humedal y de la población ubicada en la zona de estudio. Por ello, se debe definir el área de interés como aquella área que por un lado, logre abordar el estudio bajo el concepto de Celda Litoral y que además incluya la zona donde se realizan actividades humanas. Esto garantiza que el humedal costero sea estudiado como un elemento funcional de la cuenca, integrando los elementos continentales con la respuesta del sistema estuarino y marino-costero.

Para el análisis de la vulnerabilidad, el área de estudio se debe dividir en sectores, con la finalidad de considerar la especificidad local, la variabilidad de los elementos expuestos a riesgos (receptores/forzamientos), la verdadera extensión espacial de los impactos generados por las inundaciones y los subsistemas delimitados por las divisiones físicas presentes (i.e., arroyos y ciénagas)

En este orden de ideas, el cálculo de la vulnerabilidad de cada sector se estima mediante la asignación de puntajes establecidos por los criterios definidos para cada variable en la metodología planteada por Sekovski et al. (2020). Los puntajes asignados oscilan entre 1 y 5, siendo 5 para los parámetros más vulnerables y 1 para aquellos con la vulnerabilidad más baja.

Las categorías de la vulnerabilidad por elevación son definidas al determinar y dividir en 5 intervalos iguales el rango de elevación del área de estudio. De esta manera, la vulnerabilidad por elevación es establecida mediante la elevación media de cada sector. De forma similar, se estiman los rangos de vulnerabilidad de la tasa de cambio de línea de costa, donde la vulnerabilidad es definida de acuerdo con la tasa de cambio registrada en la línea de costa de cada uno de los sectores establecidos.

En cuanto a la vulnerabilidad asociada con la presencia de dunas y a estructuras de protección costera, se requiere digitalizar el porcentaje de línea de costa con estos elementos (dunas y estructuras) a través del empleo de imágenes satelitales de alta resolución. De forma similar, con las imágenes satelitales se evalúa la vulnerabilidad por

tipo cobertura del suelo, donde se requiere definir el uso de suelo predominante en los sectores definidos

A continuación, se presentan los pesos encontrados en la literatura y los puntajes según los criterios establecidos para cada variable a analizar según Sekovski et al. (2020).

Variable	Peso	Rango de valores (Criterios)		Vulnerabilidad (Puntajes)
Elevación Topográfica [m]	0.391	0.0 m	RangoE/5	5
		RangoE/5	2*RangoE/5	4
		2*RangoE/5	3*RangoE/5	3
		3*RangoE/5	4*RangoE/5	2
		4*RangoE/5	RangoE	1
Cobertura de dunas	0.245	0 %	19.9 %	5
		20 %	39.9 %	4
		40 %	59.9 %	3
		60 %	79.9 %	2
		80 %	100 %	1
Línea de costa cubierta por estructuras artificiales de protección costera	0.167	0 %	19.9 %	5
		20 %	39.9 %	4
		40 %	59.9 %	3
		60 %	79.9 %	2
		80 %	100 %	1
Tasa de cambio de línea de costa [m/año]	0.215	4*RangoC/5	RangoC	5
		3*RangoC/5	4*RangoC/5	4
		2*RangoC/5	3*RangoC/5	3
		RangoC/5	2*RangoC/5	2
		Tasa mínC	RangoC/5	1
Tipo de cobertura del suelo	0.135	Área urbanizada, cuerpos de agua		5
		Terreno árido y estéril		4
		Agricultura		3
		Marismas		2
		Playas, dunas, bosques		1

RangoE [m] = Rango de elevaciones del área de interés

RangoC [m/año] = Diferencia entre la mayor y menor tasa de erosión (cambio de línea de costa) registrada en el área costera

Tasa-mínC [m/año] = Tasa mínima de erosión registrada en la zona de análisis

Formulación

$$V_j = \frac{\sum w_i * x_i}{\sum w_i}$$

$$N(V_j) = \frac{(V_j - V_{min})}{(V_{máx} - V_{min})} * 5$$

Donde:

- V_j : Vulnerabilidad de cada sector de estudio
- w_i : Peso de cada variable
- x_i : Puntaje asignado
- $N(V_j)$: Valor normalizado de V_j
- V_{min} : Vulnerabilidad mínima del área de estudio
- V_{max} : Vulnerabilidad máxima del área de estudio

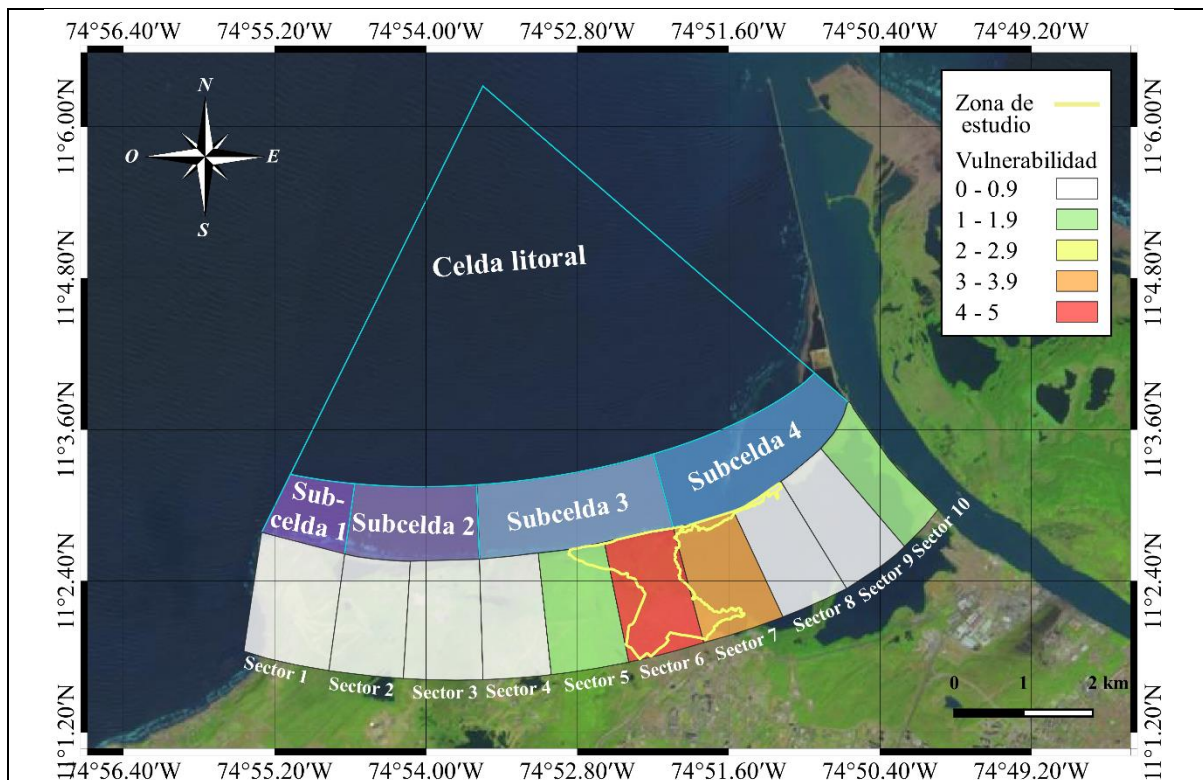
Unidades

No aplica.

Observaciones

Cabe señalar que, dentro del análisis, no fue considerada el área de los cuerpos de agua de los humedales costeros, debido a que se busca evaluar únicamente el área de costa emergida, dado que la función principal de los humedales es funcionar como zonas de amortiguamiento de agua y sedimentos, reduciendo con ello el riesgo de inundación.

Representación gráfica



En la figura presentada anteriormente, se observa la delimitación de la zona de estudio y los sectores que fraccionan el área de interés definida, que corresponde con la celda litoral donde se localiza la ciénaga de Mallorquín. Se encontró que el sector 6 presenta la mayor susceptibilidad a erosión e inundación. Indicando una categorización de alta vulnerabilidad debido a la presencia de bajas elevaciones, presencia de estructuras artificiales de protección costera y al área de suelo urbanizada. El 76.6% del sector 6, corresponde a la zona de estudio, es por esta razón que se considera esta zona como vulnerable.

Tipología del sector

Cuantitativo

Sector

Manejo integrado del agua

Valoración del indicador según criterios de selección

Valoración	Límite Inferior	Límite superior	Criterio
Muy bueno	0	0.9	Los valores se definieron de acuerdo con la susceptibilidad a inundación y erosión asociado al riesgo de la población.
Bueno	1	1.9	
Regular	2	2.9	
Malo	3	3.9	
Muy malo	4	5	

6 ANÁLISIS GENERAL DE LA APLICABILIDAD Y PERTINENCIA DEL MODELO (EJERCICIO FODA)

Este sexto acápite muestra los resultados de un análisis tipo FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) encontradas en el modelo propuesto por Uniandes. Este análisis se suma a las conclusiones y recomendaciones que serán presentadas en el acápite No. 7 del informe.

MATRIZ FODA- CASO MALLORQUÍN-LA PLAYA				
F- FORTALEZAS			O - OPORTUNIDADES	
1.	Es un modelo que contempla diferentes dimensiones de la sostenibilidad incluyendo una visión dinámica y evolutiva de la ciudad	3. A partir de la aplicabilidad de los indicadores es posible identificar áreas de importancia para la transformación hacia una ciudad más sostenible. Esta identificación varía desde áreas de importancia ecológica susceptible de fortalecer mediante instrumentos de protección, áreas con vacíos de elementos para la sostenibilidad importantes para focalizar los esfuerzos de mejora transformación.	1. El modelo es susceptible de contemplar nuevos indicadores o formulaciones que incluyan variables asociadas a la funcionalidad ecológica, principalmente relacionadas con la integridad del paisaje, la funcionalidad de las especies.	3. Ampliar su capacidad para que pueda ser útil para localidades no necesariamente planificadas o que tienen deficiencias importantes de planificación, que constituyen una buena parte del territorio colombiano

2.	Los indicadores formulados para el modelo tienen flexibilidad para ser aplicados de forma progresiva según la categorización que se realice en cada variable (p.e. espacios públicos verdes tiene tres categorías), permitiendo ver la evolución de los indicadores desde una condición actual y proyectada hacia el futuro en la búsqueda de mejorar de la sostenibilidad de la ciudad.	4.	El modelo se convierte en una nueva herramienta que permite un importante grado de comparabilidad, así como de trazabilidad para realizar seguimiento a lo largo del tiempo, particularmente en las dimensiones de sostenibilidad ecológica urbana y del recurso hídrico que se proyectan cada vez más esenciales al tiempo que sujetos a degradación creciente.	2.	Dada la importancia del modelo que permite hacer seguimiento a la mejora de la sostenibilidad urbana y a la necesidad de contar con la información base para construir los indicadores, se presenta la oportunidad de solicitar a las entidades generadoras de la información base el acceso libre a dicha información. Además de la construcción de un espacio virtual que permita almacenar y usar la información para diversos propósitos.	4.	Se pueden incluir indicadores nuevos para hacerlo mas flexible y aplicable a territorios complejos
5	Por supuesto que incorpora indicadores que apunta, de manera transversal, a cumplir con uno de sus grandes objetivos: la mitigación/adaptación al cambio climático			3	El modelo permite no solo identificar si el indicador es bueno o malo, sino que como consecuencia de la flexibilidad, los indicadores puedan ser mejorados. El indicador no estático, sino dinámico, con posibilidades de mejora del indicador mismo		
D- DEBILIDADES				A - AMENAZAS			

1.	No considera ciertos atributos físicos característicos de los humedales costeros. Particularmente la geomorfología costera, las dinámicas marinas, el comportamiento estuarino de los humedales costeros y los diferentes tipos de ambientes sedimentarios allí presentes	3.	Ningún indicador recoge la valoración social de las áreas verdes urbanas, la cual es fundamental para evaluar si la ciudadanía es sensible a la biodiversidad.	1.	La aplicabilidad del modelo es altamente sensible a la calidad de la información (principalmente escala y actualización) proveniente de cada entidad responsable en la ciudad (p.e. autoridad ambiental, entidades servicios públicos) y a su disponibilidad en formatos adecuados para su uso.	3.	Debe ser considerado en el modelo variables de entrada que permitan evaluar los indicadores de la componente marino-costera, dado que a diferencia de los humedales continentales, los humedales costeros son afectados por huracanes (fenómenos de baja presión), Frentes Fríos, Nortes y marea de tormenta. Información que es de vital importancia para evaluar la vulnerabilidad de los centros urbanos cercanos a la costa
2.	A pesar de que el modelo considera teóricamente los servicios de los ecosistemas, ninguno de los indicadores propuestos los aborda directamente. Una oportunidad de mejora sería incluir indicadores por grupos de servicios de los ecosistemas (abastecimiento, regulación, culturales) que las ciudades puedan aplicar según la relevancia particular de estos servicios	4.	El componente de ecología urbana aborda únicamente las áreas verdes, pero podría tener una visión más integral en la que se incluyan otros ecosistemas urbanos como humedales, ríos, zonas de cultivos, etc que le aportan servicios ecosistémicos y contribuyen a la sostenibilidad urbana	2.	El modelo es rígido o carece de la flexibilidad necesaria para contemplar la sistemas dinámicos y cambiantes como lo son los ecosistemas de humedal y costeros, que son altamente variables dado su expansión/contracción.	4.	El modelo puede correr el riesgo de limitarse a ciudades/territorios con una relativa alta capacidad técnica y financiera. Esto debido que la mayoría de los municipios en Colombia son pequeños y no disponen de los recursos (técnicos, financieros y de información) para su aplicación.
5	Necesita incorporar varias perspectivas para validar el modelo. Lo que se está haciendo en Fase 2	6	Los sistemas son dinámicos y por tanto la herramienta tienen que adaptarse a dinámicas cambiantes				

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de modelados los indicadores establecidos en cada una de las variables relacionadas con los componentes de: i.) Ecología Urbana y ii.) Gestión Integral del Agua, hay un conjunto de conclusiones y recomendaciones que el equipo de la Universidad del Norte, a pesar del corto tiempo para analizar un modelo tan completo y robusto tuvo, quiere hacer:

La aplicación del modelo propuesto por la Universidad de los Andes para los componentes de gestión integral del agua y ecología urbana en el área de estudio analizada en este trabajo planteó varios retos relacionados, tanto con la accesibilidad de la información para construir la línea base, como con la aplicabilidad de los indicadores en un contexto urbano formal e informal y donde los ecosistemas naturales juegan un papel fundamental para gestionar la sostenibilidad y la resiliencia urbana.

Desde el componente de ecología urbana, se evidenció el reto que implica transitar desde una ciudad con espacio público donde predomina la función social hasta la ciudad social y ecológicamente funcional y sostenible en la que se incorpora la funcionalidad ecosistémica como factor determinante para la sostenibilidad, resiliencia y el bienestar. En virtud de lo anterior, se parte de una situación de déficit acentuado de espacio público verde en el que la ciudad está muy lejos de cumplir con el mínimo requerido de 10 m²/habitante⁷.

El caso de estudio seleccionado, mostro que existe también una acentuada inequidad en cuanto al acceso al espacio público, pues en la zona urbana no planificada no cuenta con áreas verdes públicas, únicamente con espacio público no regularizado y áreas verdes privadas. La aplicación de los indicadores permitió visualizar opciones de mejora en cuanto a la regularización futura del espacio público, a la necesidad de aumentar tanto la cantidad como la calidad del espacio público verde, así como mejorar la conectividad ecológica con otras áreas de importancia natural y al interior de las zonas urbanas.

La necesidad que tiene la ciudad de mejorar el déficit en áreas verdes plantea la posibilidad de repensar el manejo de una zona de protección natural, como es la Ciénaga de Mallorquín, en un entorno urbano donde sea posible reglamentar en algunas zonas usos compatibles con la conservación y que permitan el disfrute social de las áreas protegidas, sin poner en peligro

⁷ Originalmente el artículo 14 del Decreto reglamentarios 1504 de 1998 dispuso la meta de 15 metros cuadrados de espacio público efectivo (parques, zonas verdes, plazas y plazoletas) por habitante, pero, en el Documento Conpes 3718 de 2012, sobre la Política Nacional de Espacio Público se señala que la meta es de 10 metros cuadrados.

la integridad ecológica. Se surge incluir dentro del componente de ecología urbana indicadores relacionados con el uso y disfrute de servicios de los ecosistemas y la percepción social sobre importancia de las áreas verdes urbanas.

Por su parte en la metodología propuesta en Ciudad con Calidad de Agua se encontró que es de gran importancia determinar el ICA con respecto a un periodo de tiempo, para así conocer la evolución de la calidad del agua. En el presente caso estudio se determinó este indicador tanto para la Ciénaga como para el Arroyo León, ya que estos cuerpos de agua se encuentran relacionados, no solamente dándose a conocer la calidad del cuerpo de agua receptor, sino también la de la fuente de agua superficial. Sin embargo, esta metodología es adecuada para una zona en el interior de país, no una costera como este caso, por lo tanto se debe considerar el cálculo de otro indicador adicional que aporta mejores conocimientos acerca de la calidad del agua de la zona conocido como Indicador de Calidad de Aguas Marinas y Estuarinas (ICAM), este incluye en su cálculo Oxígeno disuelto, pH, Salinidad, Nitritos, Nitratos, ortofosfatos, Sólidos suspendidos, Hidrocarburos disueltos y dispersos, Organoclorados totales, Metales pesados (Cd, Cr y Pb), Coliformes totales y termo tolerantes.

Para la obtención de la información de los indicadores fue necesario recurrir a fuentes confiables tales como DANE, POT, REDCAM y elaboraciones propias por medio de Sistemas Georreferenciados, ya que en el caso del indicador de calidad no se elaboró un muestreo, por lo que se modificó la fórmula planteada por la Universidad de Los Andes. Por otro lado, en los indicadores propuestos es deseable poder realizar un monitoreo anual de las tasas de Morbilidad y Mortalidad, para determinar cuáles son las problemáticas salobres de la zona y que así las empresas suministradoras de este servicio identifiquen los fallos en los procesos de tratamiento de las aguas.

En el caso de la Ciudad con Calidad de agua no fue posible efectuar cálculos para determinar cada uno de los indicadores, ya que la información de acueducto y alcantarillado no era reciente y no concordaba con la situación actual de la zona, por lo tanto, al intentar obtenerla se estaría recurriendo a la subjetividad y los cálculos desarrollados no serían totalmente confiables, por lo que se desistió de su obtención. Se recalca la importancia de un constante monitoreo a las condiciones de las fuentes de agua de la zona, ya que muchas de estas se emplean para el consumo de los habitantes sin el control adecuado, ni un seguimiento de su calidad afectando su calidad de vida. Por lo tanto, como se pudo observar es necesario establecer un monitoreo constante, para así saber la calidad de las aguas, para que los

ingenieros, empresas del sector y demás implicados puedan generar soluciones objetivas ante esta problemática.

Un comentario en términos generales, es que la metodología presentada por la Universidad de los Andes no considera ciertos atributos físicos característicos de los humedales costeros. La tasa de cambio de línea de costa, la presencia de dunas y de estructuras de protección costera hacen parte de las variables ausentes en la metodología, que está enfocada en hidrosistemas continentales. Como se mencionó, el humedal piloto de aplicación presenta las características de un humedal continental, lo que conduce a que la Universidad del Norte presente una propuesta de ampliación de la metodología original, al complementar en este proyecto de consultoría *la vulnerabilidad costera* como indicador en la etapa 6, ciudad sensible al agua, enfocada a valorar la susceptibilidad de la zona de estudio ante eventos de inundación y procesos erosivos contra los impactos del cambio climático. Conviene señalar que este indicador sigue la metodología planteada por Sekovski et al. (2020) y cuenta con ciertas restricciones asociadas a las particularidades de las fuentes de información, debido a que estas son de carácter secundario, representando aproximaciones de la realidad, ante la ausencia de información pública disponible para las zonas marino-costeras.

Por otro lado, el análisis de resiliencia al cambio climático no es susceptible de ser valorado, dado que los indicadores planteados por la Universidad de los Andes no son válidos para cuantificar los efectos del cambio climático en la infraestructura actual por el paso de eventos hidrometeorológicos extremos, particularmente los fenómenos de baja presión.

En lo que respecta a los indicadores propuestos en la etapa 6, según la información proporcionada por parte de líderes sociales de la comunidad, la población de la zona de estudio en gran parte corresponde a comunidades desplazadas por la violencia, las cuales no tienen ninguna consciencia pública, ni sentimiento de responsabilidad en la toma de decisiones locales sobre el agua y la conservación del recurso, dado que presentan necesidades básicas insatisfechas. La infraestructura en la que habitan es deficiente, y están establecidos en una zona de amortiguamiento, que es por definición susceptible de inundación. Su experiencia de vida aunada a la falta de infraestructura hace que vivan en una inundación constante, y es por esta razón que el indicador de conciencia pública no es el más acertado para la población de interés.

Mientras que el indicador de uso multifuncional de la infraestructura verde para el manejo de la escorrentía carece de aplicabilidad en la zona de estudio, dada la ausencia de sistema

de drenaje urbano sostenible, a partir del hecho que la zona no cuenta con drenaje pluvial, en consecuencia, durante la época húmeda o el paso de un fenómeno extremo, la zona tiende a inundarse, evento que la población considera como parte de su cotidianidad.

8 TALLER DE SOCIALIZACIÓN DE RESULTADOS Y SUS APORTES

Como parte de las actividades adelantadas en el marco del proyecto, además del respectivo análisis y evaluación de la información, se ha previsto la socialización del ejercicio realizado ante actores interesados/necesarios (stakeholders).

El diseño metodológico para la realización del taller en la presentación de información, así como para el flujo de esta (interacción con el público y retroalimentación), se presenta en las líneas que siguen a continuación.

8.1. OBJETIVO DEL TALLER

El objetivo del Taller fue presentar a Universidad de los Andes, la Embajada británica y a tomadores de decisión a nivel local y regional, la revisión de la metodología y resultados del Estudio Caso realizado en el Corregimiento (Barrio) Eduardo Santos – La Playa, en zona de influencia de la Ciénaga de Mallorquín, a fin de evaluar la aplicabilidad de los componentes de Gestión Integral del Agua y Ecología Urbana incorporados en el modelo desarrollado por la Universidad de los Andes sobre esquemas de desarrollo urbano sostenible y niveles de emisión de carbono.

8.2. ALCANCE DEL TALLER

En el taller se propuso presentar, de forma sistemática y resumida, los resultados obtenidos por el equipo de trabajo de la Universidad del Norte, en calidad de contratista de la Universidad de los Andes, en la evaluación del modelo diseñado para el análisis político y normativo y la toma de decisiones respecto de las emisiones de carbono en las ciudades. La referencia completa a todo el ejercicio realizado se encuentra en el presente informe.

8.3. METODOLOGÍA DEL TALLER

Se dispuso la realización de un taller de manera virtual sincrónico de tres (3) horas a través de la plataforma Zoom, además de los respectivos momentos de apertura y cierre, de dos momentos:

- Presentaciones de los dos componentes que fueron analizados por el equipo de trabajo en el caso de estudio escogido: la Ciénaga de Mallorquín. Los componentes son: gestión del recurso hídrico y ecología urbana;
- Interacción con los asistentes.

La metodología empleada para el flujo de información es a través de la [bitácora de Aportes y Respuestas](#). Esta es una bitácora diseñada y alojada en la plataforma Padlet en la que el público podrá dar respuesta a unas preguntas formuladas por el equipo de Uninorte para recopilar los aportes de los asistentes, así como para recibir comentarios, aportes o cualquier tipo de retroalimentación de manera voluntaria por parte de cualquier miembro del público.

Una vez terminadas las presentaciones (a partir de las 11:25) el moderador abre el espacio participativo del taller para leer lo consignado en la bitácora y para conversar al respecto. Si una vez cubiertas las intervenciones consignadas en la bitácora restan intervenciones por parte del público, así como tiempo para procesarlas, el moderador concederá la palabra para ello.

8.4. PARTICIPANTES DEL TALLER

- Miembros del Equipo de trabajo de la Universidad de los Andes
- Representantes de la Embajada británica
- Equipo de trabajo de la Universidad del Norte
- Gobernación del Atlántico: Secretaría de Planeación
- Alcaldía de Barranquilla: Agencia Distrital de Infraestructura ADI
- Alcaldía de Puerto Colombia: Secretaría de Medioambiente
- CRA
- Barranquilla Verde
- Cámara de Comercio
- Barranquilla +20
- Barranquilla Cómo Vamos

- Juntas de Acción Comunal: Urbanización La Playa, Adelita de Char, Villa Campestre y Las Flores
- Universidad Simón Bolívar
- Periódico El Heraldó
- Periódico La Libertad

8.5. RESULTADOS ESPERADOS

- Fortalecer la importancia en la agenda pública de la sostenibilidad territorial en términos de emisiones de carbono en las ciudades;
- Poner de manifiesto la importancia ecosistémica de la Ciénaga de Mallorquín para la sostenibilidad territorial de Barranquilla y su Área Metropolitana;
- Recibir de los participantes retroalimentación o ampliación de información sobre los resultados obtenidos en el área estudiada y los indicadores analizados en los componentes de Ecología Urbana y Gestión del Recurso Hídrico;
- Enriquecer el modelo aplicado (Uniandes) para un análisis político y normativo más profundo e interpretativo;
- Se espera que los participantes encuentren en la metodología aplicada y los resultados de la investigación un insumo que les permita mejorar en su gestión de cara al desarrollo urbano sostenible.

8.6. CONCLUSIONES DEL TALLER

El Taller de Socialización Final fue altamente concurrido y positivo, hubo un pico de conexión de 70 participantes y, en promedio, 50 conectados en las tres horas que duró el evento.

Como dato adicional, se logró dar cumplimiento a la agenda en el tiempo previsto y es de resaltar la amplia participación de representantes de todos los sectores implicados en los temas del Proyecto:

- Gobernación del Atlántico
- Alcaldía de Barranquilla (Agencia Distrital de Infraestructura)
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico- CRA
- Secretaría de Medio Ambiente de Puerto Colombia
- Autoridad Ambiental de Barranquilla – Barranquilla Verde

- Barranquilla y Puerto Colombia Cómo Vamos
- Organización Barranquilla + 20
- Junta de Acción Comunal de Urbaplaya
- Junta de Acción Comunal Adelita de Char
- Junta de Acción Comunal del Barrio Las Flores
- Universidad Simón Bolívar
- Área Metropolitana de Barranquilla
- Consorcio Atlántico Natural
- Ecocialt S.A.S
- German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv)
- Diario El Heraldo
- Diario La Libertad
- Politecnico di Torino
- Radio Nacional de Colombia
- Universidad Libre (Seccional Barranquilla)

La presencia de la multiplicidad de actores significó la posibilidad de darle mayor alcance al taller y aportó valor a los resultados de este. Precisamente, en lo que respecta a los resultados, hubo consenso en torno a la importancia de la sostenibilidad, así como de la realización de este tipo de proyectos y espacios de socialización para fomentar diálogos sinérgicos y colaborativos frente a realidades puntuales como en este caso es el de la Ciénaga de Mallorquín.

En la bitácora de Aportes y Respuestas, algunos de los asistentes dieron respuesta a dos preguntas planteadas por el equipo de trabajo de Uninorte para fomentar la reflexión. Allí también dejaron sus comentarios o aportes al trabajo realizado.

Frente a la pregunta: ***¿Qué tipo de estrategias podrían ponerse en marcha para la formulación de políticas públicas participativas para avanzar hacia un Desarrollo Urbano Sostenible y conservación de la Ciénaga de Mallorquín?***, las respuestas estuvieron orientadas a señalar la importancia de la conexión entre los distintos actores involucrados y los planes formulados para tal fin, para lo cual se recomienda fortalecer la apropiación social del conocimiento, la gobernanza ambiental y el fortalecimiento tanto de las entidades ambientales como de los instrumentos para la gestión ambiental. También se señaló la importancia de diseñar los programas de legalización y

mejoramiento integral de desarrollos informales a partir de la delimitación y apropiación del espacio público.

Imagen 10: nube de palabras pregunta sobre gestión sostenible en la Ciénaga de Mallorquín

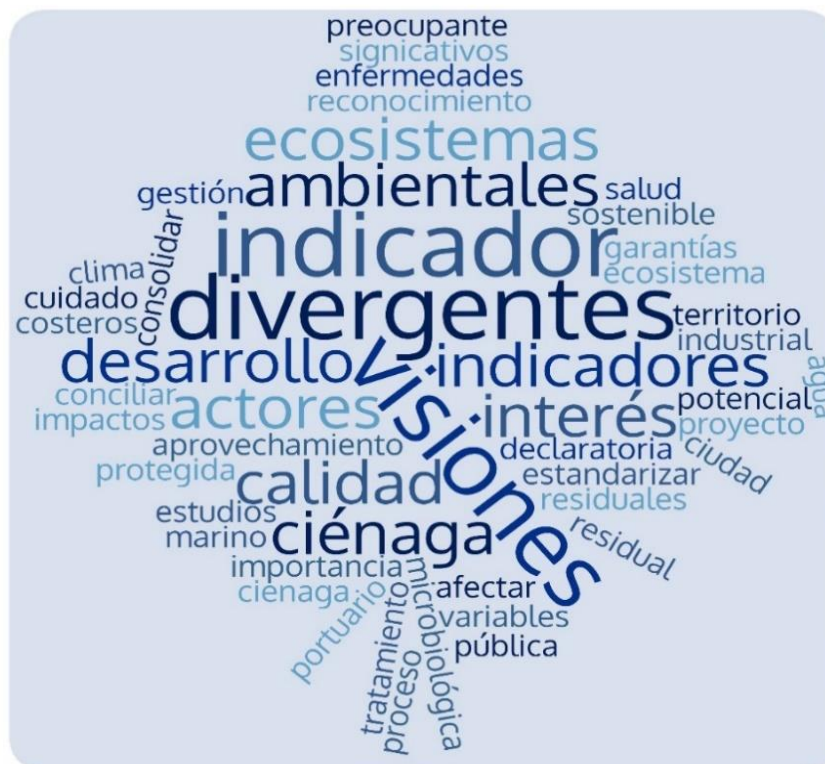


Fuente: elaboración propia, 2021

Luego, con respecto a la pregunta: en términos de la gestión sostenible del agua y el ecosistema en la Ciénaga de Mallorquín, **¿Cuáles son los aspectos más importantes a tener en cuenta?**, las respuestas estuvieron encaminadas, por una parte, a señalar la importancia de siempre respetar las garantías ambientales, así como del reconocimiento de todos los actores del territorio para la consolidación de una visión conjunta que resuelva el conflicto entre las actuales visiones divergentes existentes frente a la Ciénaga de Mallorquín, planteando incluso la declaratoria de la Ciénaga como un área protegida.

Por otro lado, en lo que respecta particularmente a la gestión sostenible del agua, se señala la importancia de tener indicadores de calidad microbiológica, considerando que indicadores como el de agua residual tratada obtuvo un valor de 0 en su medición, lo cual prende las alarmas en términos de impactos negativos en la descarga que tiene lugar en la Ciénaga.

Imagen 11: nube de palabras pregunta sobre gestión sostenible del agua en la Ciénaga de Mallorquín



Fuente: elaboración propia, 2021

Finalmente, en el espacio de la bitácora previsto para recibir aportes o comentarios generales, los participantes aportaron información de contexto valiosa como la existencia de una disputa existente entre la Junta de Acción Comunal Adelita III y la empresa Argos frente al uso proyectado de la antigua cantera El triunfo en donde se proyecta la construcción de una urbanización, mientras que la población desea que sea mantenida como un área verde.

Por supuesto resulta importante revisar estas situaciones que están teniendo lugar en la zona con el propósito de comprender y proponer alternativas de solución que respondan a la idea de sostenibilidad que se persigue.

Tras este espacio de reflexión con todos los participantes, quedan claros la vigencia y el compromiso frente al asunto de la sostenibilidad en la Ciénaga de Mallorquín, tanto como la importancia de hacerle medición y seguimiento a partir de instrumentos como el modelo revisado en este proyecto.

8.7. DIFUSIÓN E IMPACTO DEL TALLER

El taller fue seguido por medios de comunicación locales y nacionales, en prensa, digital y radio. Los medios en los que se difundió el taller se presentan a continuación:

Medio de comunicación	Título de la entrada	Lead de la entrada	Enlace
El Heraldo (Versión impresa y digital)	Ciénaga de Mallorquín, caso de estudio en proyecto de Reino Unido y Colombia	La Ciénaga de Mallorquín fue elegida como uno de los casos de estudio dentro del proyecto “Ciudades con bajas emisiones de carbono en Colombia” que lidera la Universidad de los Andes. Dicho proyecto hace parte de la iniciativa UK PACT-Colombia, una alianza entre los gobiernos de Colombia y Reino Unido que busca enfrentar el cambio climático y apostar por un crecimiento sostenible.	http://www.prensanet.com/uninorte/index.php?res=1366&linknoticia=8896989&sector=15240&codigo=744322341811
RCN Radio (Barranquilla)	Estudio con la Ciénaga de Mallorquín	Fue realizado un estudio por la Universidad del Norte con la Ciénaga de Mallorquín, que fue elegida como uno de los casos de estudio dentro del proyecto de ciudades con bajas emisiones de carbono en Colombia, que lidera la Universidad de los Andes, dicho proyectos	http://www.prensanet.com/uninorte/?sector=15240&linknoticia=8898447&codigo=744322341811

		es en alianza entre los Gobiernos de Colombia y Reino Unido que busca enfrentar el cambio climático y apostar un crecimiento sostenible. Emisión 6:35 a.m Duración 00:00:40	
Grupo Prensa Uninorte	Un estudio sobre la Ciénaga de Mallorquín y su importancia en la sostenibilidad territorial	Docentes investigadores adscritos a URBANUM y al IDEHA participan de un análisis financiado por UKPACT Colombia, que busca generar herramientas para el crecimiento sostenible y la mitigación de los efectos del cambio climático.	https://www.uninorte.edu.co/web/grupo-prensa/noticia?articleId=16416522&groupId=73923

9 REFERENCIAS DE ESTE DOCUMENTO

- Alcaldía De Puerto Colombia & Universidad del Norte (2010). Revisión y Ajuste de los Diseños de las Obras de Estabilización de las Playas de Pradomar.
- Aldana-Dominguez, J. (2018). Hacia una planificación socio-ecológica del Área Metropolitana de Barranquilla (Colombia): integrando la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas para el bienestar humano (Doctorado). Universidad del Norte, Barranquilla. Recuperado de: <https://www.uninorte.edu.co/>
- Avila, H. (2016). Identifying Potential Areas for SUDS Application in Consolidated Urban Watersheds Based on GIS. *World Environmental and Water Resources Congress*, 106-114.
- Alongi, D. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management Volume 3*, . 313-322.

- Benavides, L (2019). Análisis de la influencia de la calidad del agua del arroyo León en la calidad del agua de la Ciénaga de Mallorquín (Maestría). Universidad del Norte, Barranquilla. Recuperado de: <https://www.uninorte.edu.co/>
- Bennett, E. M., & Gonzalez, A. (2013). Linking Landscape Connectivity and Ecosystem Service Provision: Current Knowledge and Research Gaps. *Ecosystems*, 16(5), 894–908. HYPERLINK "https://doi.org/10.1007/s10021-013-9647-2" <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9647-2>
- Bermúdez, A., N.H. Campos y G.R Navas. *Cardisoma guanhumi*. 120-122. En: Ardila, N., G.R. Navas y J. Reyes (Eds.). (2002). Libro rojo de los invertebrados marinos de Colombia. Invenmar, Ministerio de Medio Ambiente. La serie Libros rojos de especies amenazadas de Colombia, Bogotá.p. 175.
- Butrón, Daza & García.(2017). Centro Educativo y de Investigación Ambiental La Playita. (Proyecto de Grado). Universidad del Norte, Barranquilla. Recuperado de: <https://www.uninorte.edu.co/>
- Clean Air Institute, Barranquilla Verde & Universidad del Norte. (2020). Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire (PIGECA).
- DANE. (2018). Geovisor CNPV 2018 - 08 - ATLÁNTICO. Barranquilla, Colombia.
- DANE. (2018). Defunciones en el Atlántico según grupo de causa de defunción: Defunciones no fetales, cifras definitivas del 2018
- Escuderos, A. (1998). Estudio de factibilidad para la recuperación de la ciénaga de Mallorquín. *Ríos y Costas*, 23 - 37.
- Gámez. (2019). De Tierra y Agua: Centro de Agricultura Urbana, Barrio Las Flores Tutor: Walberto Badillo .(Proyecto de Grado). Universidad del Norte, Barranquilla. Recuperado de: <https://www.uninorte.edu.co/>
- García (2020). Atarraya del Río: renovación urbana e inclusión social en el barrio Las Flores (Proyecto de Grado).Universidad del Norte, Barranquilla. Recuperado de: <https://www.uninorte.edu.co/>
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (INVEMAR). 2015-2019. INFORMES ANIALES. Obtenido de <https://siam.invemar.org.co/redcam>
- Instituto Nacional de Salud. (2015). *Tasas de morbilidad para cada una de las enfermedades de origen hídrico: Enfermedades vehiculizadas por agua (EVA) e índice de riesgo de la calidad agua (IRCA) en Colombia 2015*.
- Ministerio de la protección social and Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial Desarrollo Sostenible. (2007) Resolución 2115 2007. p. 23.
- Mitchell, M. G. E., Bennett, E. M., & Gonzalez, A. (2013). Linking Landscape Connectivity and Ecosystem Service Provision: Current Knowledge and Research Gaps. *Ecosystems*,

16(5), 894–908. HYPERLINK "<https://doi.org/10.1007/s10021-013-9647-2>"<https://doi.org/10.1007/s10021-013-9647-2>

- Montenegro. (2017). Unidad Funcional, Ecológica y Multicultural de Mallorquín (Proyecto de Grado) Universidad del Norte, Barranquilla. Recuperado de: <https://www.uninorte.edu.co/>
- Muñoz, S. (2001). Efectos de la temperatura, el PH del agua y las actividades de dragado en la resuspensión de los metales pesados (HG y CR+6) que se encuentran unidos a los sedimentos de la Ciénaga de Mallorquín ubicada en el Departamento del Atlántico, en el Caribe Colombiano (Maestría). Universidad del Norte, Barranquilla. Recuperado de: <https://www.uninorte.edu.co/>
- Prieto, D.(2018). Estimación de las emisiones atmosféricas de buques en el puerto de Barranquilla. (Maestría) .Universidad del Norte. Barranquilla, Recuperado de: <https://www.uninorte.edu.co/>
- Ramírez. (2012). Calidad de vida relacionada con salud y redes sociales de los pescadores del corregimiento La Playa. (Maestría). Universidad del Norte, Barranquilla. Recuperado de: <https://www.uninorte.edu.co/>
- Rivillas, G. (2017) Erosion of Puerto Colombia coast by maritime activities, Integrating Ecosystems in Coastal Engineering Practice (INECEP) Water perspectives in Emerging Countries. Proceedings of the Summer School September Universidad del Norte, p 18-30.
- Rivillas, G.(2017) Las zonas costeras ante el cambio climático: la infraestructura verde como estrategia para disminuir la vulnerabilidad de la costa de Latinoamérica, Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático. Universidad del Norte. p.449 – 459
- Rivillas, G., Ruiz, R. Silva, E. Mendoza, C. Pacheco, G. Acuña, J. Rueda, A. Felix, J. Pérez, and C. Pinilla. (2018). Physical and morphological changes to wetlands induced by coastal structures. In: C.W. Finkl and C. Makowski (eds.). Coastal Wetlands: Alteration and Remediation. Springer, Cham, Switzerland. pp. 275-315
- Rojas C., Aldana-Domínguez J., Munizaga J., Moschella, P., Martínez C., and Stamm C. 2020. Urban Wetland Trends in Three Latin American Cities during the Latest Decades (2002-2019): Concón (Chile), Barranquilla (Colombia), and Lima (Peru). Wetlands, Science and Practice 37(4): 283-293 ISSN: 1943-6254
- Secretaría de planeación del distrito de barranquilla (2012) . (s.f.). Plan de Ordenamiento Territorial (2012-2032). Obtenido de https://www.uninorte.edu.co/documents/73923/1041591/DTS_POT_2012_gral.pdf/9b0ea384-bb12-429c-a215-a43f7aafb339?version=1.0

- Sekovski, I., Del Río, L., & Armaroli, C. (2020). Development of a coastal vulnerability index using analytical hierarchy process and application to Ravenna province (Italy). *Ocean & Coastal Management*, 183, 104982. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104982>
- Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. (2020). Tarifas. <https://www.aaa.com.co/tarifas/>
- Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. (2020). Certificados de análisis de calidad del agua. <https://www.aaa.com.co/informe-de-resultados/>
- Teodoro, M. P. (2018). "Measuring household affordability for water and sewer utilities," J. Am. Water Works Assoc., vol. 110, no. 1, pp. 13–24,
- Universidad del Norte, (2021). Humedales Urbanos en Latinoamérica: Una solución para ciudades sostenibles ODS 11., Universidad Pontificia Católica de Chile, Universidad Pontificia Católica de Perú, (En ejecución).
- Universidad del Norte. (2015). *Evaluación de la morfodinámica de playas de la barra litoral de la Ciénaga de Mallorquín*. Barranquilla : Fundación Aquae. Recuperado de : <https://www.fundacionaquae.org/wpcontent/uploads/2016/01/sembrando2.pdf>
- Universidad del Norte y Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA). (2005). *Análisis sobre el Manejo Integrado del Recurso Hídrico en la Ciénaga de Mallorquín*. Barranquilla: Uninorte.
- Velásquez, M. (2018). Estimación de la huella de Carbono de fuentes fijas industriales de la ciudad de Barranquilla (Maestría). Universidad del Norte, Barranquilla. Recuperado de: <https://www.uninorte.edu.co/>
- Viessmann. (2021). *viessmann.co.uk*. Obtenido de *.viessmann.co.uk*: <https://www.viessmann.co.uk/heating-advice/how-much-co2-does-tree-absorb>
- Vivas-Aguas, L. J. y S. M. Navarrete-Ramírez. (2014). Protocolo Indicador Calidad de Agua (ICAMPFF). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 69, Santa Marta. P.32

10 LISTA DE IMÁGENES Y FOTOGRAFÍAS

- **Imagen 1:** Cuenca de la Ciénaga de mallorquín. Corporación Autónoma Regional del Atlántico-CRA, (2015,) Polígono propuesto por la Universidad del Norte (en rojo)

- **Imagen 2:** Ciénaga de Mallorquín. Tomado del Plan de Ordenamiento Territorial de Barranquilla – Decreto 0212 de 2014. (2014) Plano G6: Estructura Ecológica Principal.
- **Imagen 3:** Vía a súper puerto sobre la Ciénaga de Mallorquín. Plan de Ordenamiento Territorial de Barranquilla – Decreto 0212 de 2014. (2014). Plano G6: Estructura Ecológica Principal.
- **Imagen 4:** Urbanización Adelita de Char. Google Earth (s.f.-a). recuperado 4 de diciembre de 2020.
- **Imagen 5:** Urbanización Adelita de Char. Google Earth (s.f.-b). recuperado 4 de diciembre de 2020.
- **Imagen 6:** Polígono Seleccionado (1). Elaboración propia basado en Google Earth(s.f.-C). recuperado 4 de diciembre de 2020.
- **Imagen 7:** Polígono Seleccionado (2). Elaboración propia basado en Google Earth(s.f.-D). recuperado 4 de diciembre de 2020.
- **Imagen 8:** Clasificación general de suelos en el área de estudio. Elaboración propia basado en Plan estratégico metropolitano de ordenamiento territorial de Barranquilla (PEMOT) y Google Earth (s.f.-E). recuperado 14 de enero 2021.
- **Imagen 9.** Cambios temporales de la ubicación de la barra de la Ciénaga de Mallorquín entre los años 1973 (línea verde oscuro) y 2016 (línea roja). Rivillas-Ospina, G.D., G. Ruiz-Martínez, R. Silva, E. Mendoza, C. Pacheco, G. Acuña, J. Rueda, A. Felix, J. Pérez, and C. Pinilla. 2018. Physical and morphological changes to wetlands induced by coastal structures. In: C.W. Finkl and C. Makowski (eds.). Coastal Wetlands: Alteration and Remediation. Springer, Cham, Switzerland. pp. 275-315.
- **Imagen 10:** nube de palabras pregunta sobre gestión sostenible en la Ciénaga de Mallorquín. (2021). Elaboración propia.
- **Imagen 11:** nube 2 de palabras pregunta sobre gestión sostenible en la Ciénaga de Mallorquín. (2021). Elaboración propia.

FOTOGRAFÍAS

- **Fotografía No. 1:** Viviendas sobre la Ciénaga de Mallorquín. Velásquez, C & Briceño. (2018) de la Investigación sobre la precariedad en el Barrio Las Flores de Barranquilla [Archivo de fotos].
- **Fotografía No. 2:** Embarcaderos artesanales sobre la Ciénaga de Mallorquín. Velásquez, C & Briceño. (2018) de la Investigación sobre la precariedad en el Barrio Las Flores de Barranquilla [Archivo de fotos].

- **Fotografía No. 3:** Viviendas sobre la Ciénaga. Velásquez, C & Briceño. (2018) de la Investigación sobre la precariedad en el Barrio Las Flores de Barranquilla [Archivo de fotos].
- **Fotografía No. 4** Viviendas en frente de la Ciénaga. Velásquez, C & Briceño. (2018) de la Investigación sobre la precariedad en el Barrio Las Flores de Barranquilla [Archivo de fotos].
- **Fotografía No. 5:** Ejemplo de espacio público no regularizado en la zona urbana no planificada. Fotografía tomada por el equipo de trabajo Uninorte. (2021) [fotografia].
- **Fotografía No. 6.** Arbolado de Parque urbano en la zona planificada constituido por una alta proporción de Neem (*Azadirachta indica*). Fotografía tomada por el equipo de trabajo Uninorte. (2021) [fotografia].

11 LISTA DE TABLAS

- **Tabla 1.** Descripción del área de estudio: población y extensión. (2021). Elaboración propia.
- **Tabla 2.** Fuentes de información y accesibilidad para la estimación de las variables e indicadores del componente de Ecología Urbana. (2021). Elaboración Propia.
- **Tabla 3.** Fuentes de información y accesibilidad para la estimación de las variables e indicadores del componente de Manejo Integral Del Agua. (2021). Elaboración propia.