

**LAS AVES VADEADORAS, GARZAS E IBIS:
BIOINDICADORES DE LA SALUD DE UN
ECOSISTEMA DE MANGLAR
(Parte II, Informe Final)**

Por:

Alejandro Cifuentes (8°), Aurora del Río (9°), Angie Escudero (10°), Paula Hernández (8°), Diego Luna (11°), Gabriela Olmos (11°) Samuel Rodríguez (9°)

Maestros Co-Investigadores: Juan Felipe Restrepo Mesa & Katherine Velandia
Ricardo

Aspirando a obtener las insignias: I am a collaborator, I am a STEM professional, I
am a data Scientist

Grupo de Investigación Bionessori (desde 2017)
Colegio Montessori de Cartagena
Cartagena de Indias - Colombia
2024

1. RESUMEN

Las garzas por ser aves vadeadoras y acuáticas estrictas, son sensibles a las condiciones del entorno, convirtiéndose en prospectos a bioindicadores del estado de salud del ecosistema. En 2023, esta unidad investigativa presentó un primer informe sobre factores medioambientales que determinan el periodo de puesta de las garzas en cuerpos de agua asociados a la bahía de Cartagena. En 2024, se presenta el informe final de la investigación que responde a la pregunta ¿de qué manera se pueden utilizar las aves vadeadoras (Garzas e Ibis, de las Familias Ardeidae y Threskiornithidae) como bioindicadores de la salud de ecosistemas de manglar, ubicados en las inmediaciones de la Isla de Manga, Cartagena de Indias, Colombia? la investigación constó de tres fases: (1) la planeación, (2) el desarrollo, con la colecta y el análisis de datos: conteos de aves, cobertura del bosque de manglar, y parámetros físico químicos de hidrosfera y atmósfera basados en los protocolos del Programa GLOBE: nubes, temperatura libre del aire, del agua, oxígeno disuelto, nitratos, alcalinidad, pH, salinidad y transparencia, y (3) Comunicación de resultados. El estudio permitió concluir que las garzas resultan ser bioindicadores ideales para evaluar la salud de un ecosistema de manglar, igualmente, se pudo establecer una primera aproximación a una metodología para el uso de estas especies como bioindicadores. También se pudo evaluar el estado de los cuerpos de agua asociados a la Bahía de Cartagena: Ciénaga de las Quintas, Caño de Bazurto, Laguna de San Lázaro y Ciénaga de Chambacú, proponiéndose algunas acciones de manejo de dichos ecosistemas de acuerdo a los hechos de la naturaleza más notorios observados. Este estudio es el primero de varios que pretende realizar el grupo Biontessori en dos direcciones, de un lado continuar la caracterización de las Garzas (Familia Ardeidae) como bioindicadores, por el otro, la construcción de un indicador de sostenibilidad que permita calificar el estado de los ecosistemas de manglar y en general de los bosques urbanos, y periurbanos.

Palabras clave: Bioindicadores, Garzas, Diversidad, Sostenibilidad, Servicios Ecosistémicos

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Visitar las Ciénegas de Las Quintas, el Caño de Bazurto, la laguna de San Lázaro, y la Ciénaga de Chambacú, al nororiente del colegio Montessori, en la isla de Manga, Cartagena de Indias (ver Figura 1, Anexo 1) en los dos periodos climatológicos del año, tanto en tiempo seco como de lluvia, le permitió a esta Unidad Investigativa observar similitudes, diferencias, y reconocer el comportamiento de algunas de las variables que pudiesen estar interviniendo en los procesos biológicos de los organismos que conforman el ecosistema de Bosque de Manglar, en particular las aves de las Familias Ardeidae y Threskiornithidae, consideradas en su mayoría acuáticas estrictas, del grupo funcional Vadeadoras (Ruiz-Guerra y Cifuentes-Sarmiento, 2021)

Para ciudades costeras, particularmente en las regiones intertropicales del mundo, como lo es la ciudad de Cartagena, resulta de la mayor importancia, contar con alertas tempranas que permitan tomar decisiones por parte de las autoridades, para prevenir hechos de la naturaleza o generados por el mismo ser humano, que puedan tener consecuencias sobre la población. Ciertos organismos tienen características que les permiten servir como bioindicadores, de amenazas que afecten la estabilidad de los ecosistemas en los que viven, así como la salud e

integridad física de las personas que habitan en la ciudad de Cartagena.

Es por lo que esta unidad investigativa se formuló la siguiente pregunta de investigación:

¿De que manera se pueden utilizar las aves vadeadoras (Garzas e Ibis, de las Familias Ardeidae y Threskiornithidae) como bioindicadores de la salud de los ecosistemas de manglar, ubicados en las inmediaciones de la Isla de Manga, Cartagena de Indias, Colombia?

El Problema

Esta unidad investigativa busca contribuir al entendimiento del papel de los bioindicadores como alertas tempranas de la salud de un ecosistema. En un trabajo previo, esta misma unidad investigativa dio luces sobre el papel de la variables “heliofanía”, definida como el tiempo en horas durante el cual el Sol tiene un brillo solar efectivo, demostró como el período de puesta de las garzas está determinado por esta variable, que a su vez se relaciona con la abundancia de biomasa en el agua, lo que significa más alimento para satisfacer las necesidades energéticas asociadas con el ciclo de vida de las Garzas e Ibis, particularmente en su período de reproducción. Alteraciones en los ciclos vitales de estos organismos, defectos en adultos y polluelos, en el comportamiento de los progenitores, permiten anticipar eventuales impactos por exposición a contaminantes tales como combustibles, pesticidas, metales pesados entre otros, sobre las personas, lo que a su vez combinado con el monitoreo de las variables físico-químicas del agua, y la diversidad de estos grupos de aves, posibilitará la toma de decisiones no solo de manejo ambiental, como también de salud pública (Del Castillo, S. et al, 2023).

De otro lado, esta unidad investigativa ha venido observando en el sitio de muestreo dos fenómenos que llaman la atención, de un lado, con un efecto adverso, un aumento en la abundancia de la población de la Garcita del Ganado (*Bubulcus ibis*) en los garceros¹ en estudio, ocupando de manera oportunista el sitio de anidación de *Egretta thula*. Por otro lado, un hecho con un efecto benéfico, la presencia de una colonia activa reproductiva de Ibis blanco (*Eudocimus albus*), en medio de la ciudad. Entender el comportamiento de variables asociadas a la diversidad, la química del agua, las temporadas de anidación, y la cobertura boscosa, el espejo de agua, y la infraestructura física, facilitará en este caso, una gestión efectiva de estos hechos notables de la naturaleza

3. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Cartagena de Indias, esa ciudad icónica que el mundo entero reconoce y admira, enfrenta enormes retos. De un lado el desarrollo caótico, la falta de planeación urbanística, los rellenos y la ocupación ilegal de predios, han venido cortando los flujos naturales del mar hacia sus caños y ciénagas, y de estos hacia la bahía. El cambio climático, y el incremento en el nivel del mar, ponen en peligro de inundación severa a barrios enteros. La deforestación del bosque de manglar, ha convertido los vientos alisios, en vendavales que arrastran techos de humildes viviendas, afectando precisamente a las personas más vulnerables. La industria petroquímica y el puerto, son una amenaza latente de contaminación por derrames de toda clase de efluentes

¹ 2 Garceros: sitios donde anidan las garzas.

industriales. La ciudad aún recuerda un vertimiento fatal, por parte de Dow Chemical, en 1989 (El Universal, 2022).

Ante escenarios como este, urge la necesidad de contar con sistemas de alertas tempranas, que le permitan a los cartageneros, actuar con tiempo frente a la expresión y los efectos de los riesgos que se ciernen sobre la ciudad.

Este trabajo tiene como objetivo general, estudiar las garzas y los ibis (Familias Ardeidae y Threskiornithidae), sus estaciones de puesta, su abundancia y riqueza, y su apariencia física, como un bioindicador de alertas tempranas ante los efectos de estas manifestaciones por causas antrópicas y naturales.

Las garzas e ibis, aves vadeadoras de cuellos y patas largas, son en su mayoría acuáticas estrictas. En la Tabla 8 en el Anexo 1, algunas de las especies más comunes en la Bahía de Cartagena y cuerpos de agua asociados.

Comentado [JR1]: Falta incluir el Ibis Blanco en el cuadro

Estas aves, por su amplia distribución en toda clase de ambientes, su figura inconfundible y la riqueza de especies, son excelentes indicadores de la salud del ecosistema (McKilligan, 2005).

La diversidad de una comunidad de garzas es un indicador de la complejidad del humedal. Un ecosistema sano tendrá una mayor diversidad, debido a la variedad de su topografía, su hidrología, el tipo de suelo, y el estado de la vegetación (Ibid).

Un bioindicador se define como un parámetro biológico detectable: organismos, poblaciones o comunidades, que evidencien cambios en las condiciones del entorno que sería difícil medir de manera directa (Ibid).

Burger, J. & Gochfeld, M, 2016, sobre bioacumulación ¹ de metales pesados en las garzas, señala que esta conlleva pérdida de masa muscular y grasa pectoral, heridas sangrantes en cabeza y dorso, cadáveres empapados y desaliñados, manchas de diarrea amarilla alrededor de la cloaca. Adicionalmente, incapacidad de alimentar a pichones por parte de sus progenitores, desconocimiento del peligro, escape lento, y debilitamiento inmunológico. Igualmente, pichones con deformidades en cráneo, esqueleto, y extremidades (aunque no siempre fatales). Patas exployadas que no permitían ponerse en pie, recién nacidos sin plumones, o plumas rotas (p. 430).

Por otro lado, autores como Schreiber, E.A. & Burger, J., 2002, afirman que hay varios factores que juegan un papel en el establecimiento del tiempo de la nidada: la temperatura, la disponibilidad de alimento, la edad, la experiencia, y la longitud del día luz, entre otros. (741 p.)

4. METODOLOGÍA

Cartagena se encuentra ubicada al noroccidente de Colombia (ver Mapa, Figura 2, Anexo 2), en el departamento de Bolívar, a 10° 26' latitud Norte y 75°33' longitud Oeste y una altitud media sobre el nivel del mar de 2 m. Es una ciudad puerto sobre el mar Caribe (PNUMA, 2009, p.26).

Población	1'013.389 habitantes
Área	623 Km ²
Suelo urbano	76 Km ²
Suelo rural	547 Km ²
Población Zona Urbana	95.6%
Población Zona Rural	4.4%
Paisaje Predominante	Marino Costero
Clima	Cálido
Temperatura media anual del aire	27.8°C
Temperatura máxima anual del aire	31.2°C
Temperatura mínima anual del aire	25.1°C
Precipitación total anual multianual	1087 mm
Mes más lluvioso	Octubre
Pluviosidad media en octubre	238.8 mm
Dos períodos climáticos anuales: época seca (verano) entre diciembre y abril, vientos fuertes del noreste, y lluvias débiles y escasas. Época húmeda (invierno); precipitación abundante y copiosa que se extiende de agosto a noviembre. Estos períodos climáticos se generan por los desplazamientos de la Zona de Convergencia Intertropical – ZCI de Norte a Sur y Sur a Norte, coincidiendo con las época de invierno en el hemisferio Norte y del hemisferio Sur,	

respectivamente.

Datos: Centro Oceanográfico e Hidrográfico-CIOH, 2021, citados por Observatorio Ambiental de Cartagena, 2021.

2,01 millones de toneladas de sedimentos se depositan anualmente en la Bahía de Cartagena, con consecuencias para los ecosistemas que la conforman (Universidad Nacional de Colombia, 2007, citado por Díaz Granados, P & Vergara Serpa, B. (Editoras). 2009)).

Adicionalmente, la Bahía se encuentra conectada con la Ciénaga de Tesca (también conocida como Ciénaga de la Virgen), por un sistema de canales y ciénagas, que cruza la ciudad. Todos estos cuerpos de agua, están flanqueados por bosques de Manglar compuestos en su mayoría por las especies *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus*, y en algunos casos por una quinta especie proveniente del Pacífico colombiano, *Pelliciera rhizophorae*.

De acuerdo con un estudio del Observatorio Ambiental de Cartagena (2023), denominado: “Estudio Topográfico, del Clima Marítimo, Caracterización Oceanográfica y Determinación del Oleaje de Diseño y Planteamiento de Alternativas de Solución para la Protección de los Fuertes”, se pudo concluir que la hidrodinámica de la Bahía en general está influenciada en su mayor parte por la marea (entrada por la Escollera Submarina y el Canal de Varadero), por el viento local y los aportes del Canal del Dique, observándose una condición específica de flujos de entrada-salida de la masa de agua para las condiciones de marea saliente y marea entrante. (FONADE & Consorcio AFA- Ingenieros LTDA, 2009 citados por el EPA, 2022).

Para el presente estudio, se eligieron cuatro estaciones para la toma de parámetros de hidrosfera, atmósfera y conteo de aves, denominadas Ciénaga de las Quintas (Latitud 10,40733, Longitud -75,52562), Centro Cultural del Pie de la Popa (Latitud 10,41783, Longitud -75,5372), Laguna San Lázaro (Latitud 10,420238, Longitud -75,542416), y Ciénaga de Chambacú (Latitud 10,424963, Longitud -75,542466); midiéndose en cada una de ellas la concentración de oxígeno disuelto, los nitratos, la alcalinidad, la transparencia, la salinidad, el pH, la nubosidad, la temperatura del agua, y la temperatura libre del aire, de acuerdo con los protocolos del Programa GLOBE de NASA (The GLOBE Program, 2023). Así mismo, en cada uno de estos muestreos se hicieron recorridos en canoas, registrando las especies de aves observadas entre puntos, y en cada estación se llevaron a cabo conteos de 10 minutos, utilizando para ello la metodología de punto y radio fijo, descrita por D’Graff, citada por Glenn, S., Melles, S., & K. Martin, en 2003. Igualmente, utilizando la app i-Tree Canopy del US Forest Service, se dibujaron cuatro polígonos demarcando cada una de las estaciones de muestreo y su área de influencia; con base en un componente de Aprendizaje de Máquina del tipo Random Forest, se entrenó la aplicación con 200 punto aleatorios para cada polígono, midiéndose el % de cobertura, y el área en hectáreas de árboles y arbustos, de agua, de edificios, calles, aceras, área deportivas, suelo descubierto, y otros. Con base en dichos resultados, la app arroja el Carbón Total Secuestrado, en gramos, y el Dióxido de Carbón equivalente secuestrado, expresado en gramos por año (ver Tabla 5 y Figuras) que para facilidad de comprensión se convirtieron a Toneladas Métricas.

Para los conteos de las aves se calculó el número probable de especies, elaborando curvas de acumulación de especies a partir de los índices CHAO 1 Y ACE (Ibid), con el programa eStimate de IBM, , y los índices de diversidad de Margalef y Shannon, utilizando el programa

Excel de Microsoft (Acuña, C. et al, 2019), y para las estaciones en su conjunto, en cada uno de los muestreos, la prueba de Krustal-Wallis (Sánchez Colindres, C.A., 2019) para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de las diversidades (alfa del 0,05).

Una vez llevada a cabo la totalidad de los cuatro muestreos, se hizo un análisis estadístico-multivariados analizando, similitud y disimilitud de Bray Curtis, complementando el presente estudio con un análisis de la cobertura terrestre, el carbón almacenado y el Dióxido de Carbono secuestrado.

5. RESULTADOS

En los cinco muestreos realizados (nov-2022, feb-2023, mayo-2023, jul-2023 y nov-2023) se registraron un total de 56 especies entre acuáticas, terrestres, locales, y migratorias (Ver Anexo 1: Tabla 1). En el anexo 1, tabla 3, se relacionan las composiciones de las comunidades de Vadeadoras (Garzas e Ibis) de las estaciones en inmediaciones del Caño de Bazurto: Quintas, Centro Cultural, San Lázaro y Chambacú, con 15 especies totales registradas, siendo la Garza Patiamarilla (*Egretta thula*) la más abundante con 287 individuos contabilizados, seguida de la Garza Real (*Ardea alba*) e Ibis Blanco (*Eudocimus albus*), con 169 y 145 respectivamente.

Con el programa Estimate V.9.1.0., utilizando los índices CHAO1 y ACE², se calculó el acumulado de especies, y se pudo establecer de esta manera, que el número más probable para la zona de estudio es de 77 especies, es decir que esta unidad investigativa obtuvo una eficiencia del 72% según CHAO1, y del 74% de acuerdo con índice ACE, ver Tabla 1 y Figura 1.

Igualmente, para el presente estudio se midieron entre otros los parámetros del agua: Oxígeno Disuelto (mg/L de O₂), Salinidad (ppt), Transparencia con el disco Secchi (cm), Alcalinidad (mg/L de CaCO₃), y pH, con base en los protocolos de Hidrósfera del Programa GLOBE (The Globe Program, 2023). Ver tabla 4, en el Anexo 2, y las evidencias de la entrada de estos en la plataforma de datos de GLOBE (Figuras 23-30).

Finalmente, se completa el presente análisis con las coberturas terrestres de los polígonos correspondientes a las estaciones Ciénaga de las Quintas, Centro Cultura (Caño de Bazurto), Laguna San Lázaro, y Ciénaga de Chambacú, Carbon almacenado en toneladas métricas, y CO₂ secuestrado, en toneladas métricas año. Estas coberturas y el respectivo cálculo del Carbón almacenado, y el CO₂ secuestrado, se hizo utilizando la app i-Tree Canopy del Servicio Forestal de los Estados Unidos (Ver Anexo 1, Tabla 5 y Figura).

² ACE Abundance Coverage Estimate

6. DISCUSIÓN

Es de señalar que esta Unidad Investigativa en una primera entrega en 2023 de este mismo proyecto, pudo establecer que el brillo solar durante el año en la zona de estudio presenta tres períodos diferentes siendo el más largo (en horas) el período comprendido por los meses diciembre, enero, marzo, julio, agosto, y octubre. Un segundo período con menos horas luz, para los meses abril y mayo, septiembre y noviembre, y un tercero, para el mes de febrero. Igualmente, se pudo evidenciar una superposición entre los meses de mayor brillo solar y los período

os de mayor actividad reproductiva por parte del grupo de aves vadeadoras.

En el presente trabajo, usando el test no paramétrico de Krustal Wallis, con un nivel de significancia del 0,05%, se pudo demostrar que las medias de los conteos de las aves, no presentan diferencias significativas entre los sitios de muestreo, es decir, que todos los datos obtenidos pertenecen a la misma población de datos. Dicho lo anterior, se analizan los muestreos de las estaciones por especie y número de individuos para cada uno de los períodos de muestreo, tomando como base el índice de disimilaridad de Bray Curtis, apreciándose casos muy llamativos como por ejemplo San Lázaro en julio y noviembre, con una disimilaridad del 90,44%. Es de señalar que en San Lázaro está ubicado uno de los garceros activo, siendo julio el período clave en la reproducción de estos animales, hecho que se ve respaldado desde la data.

En este mismo sentido, llama la atención la disimilaridad del 79,43% para el mes de julio, entre Chambacú, donde se observó una colonia con actividad reproductiva de Ibis Blanco, y las Quintas, esta última, donde tradicionalmente ha existido un garcero, pero que en esta oportunidad se observó desierto.

Por otro lado, es de destacar la uniformidad en los datos de disimilaridad de la estación Centro Cultural, casi todos ellos por debajo del 50% (Anexo 1, Tabla 6), una estación que se mantiene muy uniforme casi todo el año, pero que además goza de tener el % de cobertura de bosque más alto, con un 53,5%, y los índices de diversidad de Margalef y Shannon más altos, con valores de 7,07 y 4,40, respectivamente. Este caso refuerza dos tesis muy importantes que se plantean por parte de esta unidad investigativa, de un lado la relevancia de las garzas como biondicadores, permitiendo demostrar por medio de índices de diversidad basados en la abundancia, y la riqueza, la salud de un ecosistema, y en segundo lugar, la importancia de la cobertura boscosa, en este caso en el medio urbano. Es además un sitio que la ciudad ha venido

desarrollando como centro deportivo, con el complejo de raquetas y centro cultural, con la biblioteca del Instituto de Patrimonio y Cultura de la ciudad de Cartagena; quizá el aspecto más débil desde el punto de vista de los Servicios Ecosistémicos Ambientales (xxxxx), es la accesibilidad, toda vez que el Distrito de Cartagena tuvo que hacerle un cerramiento al bosque de manglar e instalar un Centro de Atención Inmediata de la Policía, por la presencia de personas viviendo dentro del manglar en condición de calle, y el deterioro de la seguridad ciudadana.

No cabe dudas, de la importancia del programa GLOBE de NASA como herramienta de ciencia ciudadana para la toma de datos, y el análisis de la Tierra como sistema. En la Figura 2, se observan hechos muy interesantes, a pesar de la limitación de no tener suficientes datos de estos sitios de hidrósfera y atmósfera, dadas las limitaciones de carácter logístico para acceder a ellos. Se demuestra la relación inversamente proporcional entre la temperatura del agua y la concentración de oxígeno disuelto (Coeficiente de Correlación del -87%).

Se demuestra igualmente, un descenso en la transparencia del agua hacia los meses de marzo a julio, coincidiendo con el pico de actividad reproductiva de las garzas e ibis; dicha transparencia se debe a una mayor productividad primaria, base de la cadena alimenticia, en un momento en el que estas comunidades tienen una gran demanda energética. Es de señalar que estos mismos meses coinciden tal como mencionó anteriormente, con los períodos de mayor brillo solar. Una vez más la presencia de las garzas y sus curiosos hábitos alimenticios, como el de la Garcita patiamarilla (*Egretta thula*) batiendo sus alas y agitando el agua con sus patas, sirven de biondicador de ciclos biogeoquímicos como el ciclo del carbón, en este caso.

7. CONCLUSIONES

Esta unidad investigativa pudo responder a la pregunta problema, demostrando la importancia de las garzas e ibis como bioindicadores, dadas sus características físicas, su comportamiento reproductivo, sus hábitos de pesca, y la amplia distribución geográfica en todo el territorio urbano, periurbano y rural.

Conocer a fondo este grupo de aves, conformado por las Familias Ardeidae (garzas) y Threskiornithidae (ibis) va a permitir poder contar con alertas tempranas sobre grandes que puedan poner en peligro la seguridad ciudadana, como resultar ser la presencia de metales pesados en los tejidos de estos organismos y que se pueden apreciar ante la falta de lustre en el plumaje y deformidades en las patas o en la piel; o bien, hechos naturales que puedan estar afectando la biodiversidad en torno a estos bosques de manglar, como por ejemplo alteraciones en los ciclos reproductivos por la presencia de organismos exóticos invasores. Un ejemplo resulta ser el estrés que está generando en las poblaciones de la garcita patiamarilla (*Egretta thula*), Garza Real (*Ardea alba*) e Ibis Blanco (*Eudocimus albus*), la especie exótica invasora, Garcita del Ganado (*Bubulcus ibis*), hecho que quedó plenamente demostrado en esta investigación.

Se demuestra la importancia de los Bosques Urbanos y sus servicios ecosistémicos ambientales, como promotores de la biodiversidad, reguladores del clima y reservorios de carbón, siendo el Bosque de Manglar uno de los más productivos del planeta, y de los más amenazados.

Finalmente, destacar la importancia del Programa GLOBE de la NASA, como herramienta de ciencia ciudadana, para el análisis de la Tierra Sistema, y más allá, como comunidad de aprendizaje y de práctica, coadyuvando al cierre de brechas en educación a nivel del mundo entero.

INSIGNIAS

Esta unidad investigativa aspira a obtener las siguientes insignias

“I am a collaborator”: se sustenta en dos hechos: (1) La capacidad de trabajo en equipo y la disposición que han tenido los estudiantes investigadores del grupo Biontessori, para crear un sistema de gobernanza del grupo que garantice su sostenibilidad a través del tiempo. Los estudiantes investigadores diseñaron un organigrama con cargos dentro del grupo, y con responsabilidades y funciones muy específicas como son: la dirección del grupo, las Coordinaciones de Divulgación, Financiera, Pedagógica, y las Coordinaciones de cada uno de los proyectos que adelanta el grupo. Se destacan las reuniones que ellos mismos hacen en su propio tiempo, el primer miércoles de cada mes, así como los esfuerzos para captar nuevos miembros del grupo. Desde su creación en 2017, el grupo Biontessori se ha mantenido fiel a sus lemas: “Quizá solo llegues más rápido, pero en equipo ciertamente llegaremos más lejos”, y “Ciencia al servicio de la comunidad”. Este proyecto es una clara muestra de lo que se puede hacer cuando todos nos comprometemos y colaboramos. (2) La capacidad del grupo de trabajar con profesionales STEAM, en este caso estudiantes y docentes de la Escuela de Biología Marina de la Universidad del Sinú, aportando la capacidad desarrollada en el marco del programa GLOBE de NASA. Se destaca la oportunidad de aprender de ellos, pero de igual manera las contribuciones auténticas que el grupo hace en materia de conteo de aves, análisis de imágenes satelitales, uso de software de georeferenciación, y aplicación de rigurosos procedimientos diseñados por los científicos de NASA,

“I make an Impact”, “I am a data scientist” y “I am a stem profesional”, se evidencia con los datos, los hechos y las cifras aportadas, así como con la mirada sistémica del problema y el abordaje desde los ámbitos ambiental y social que hace la Unidad Investigativa.

8. BIBLIOGRAFÍA Y CITAS

El Universal. (2022). Las acciones de Dow Química para resarcir el daño a la bahía de Cartagena. Recuperado de <https://www.eluniversal.com.co/cartagena/las-acciones-de-dow-quimica-para-resarcir-e-l-dano-a-la-bahia-de-cartagena-FG6459214>

Centro Oceanográfico e Hidrográfico de la Armada Nacional de Colombia (2023). Recuperado de <https://www.cioh.org.co/index.php/es/>

Colwell, R. (2023). Estimates Software. Recuperado de <https://www.robertkcolwell.org/pages/1407-estimates>

Comisión Colombiana del Océano. El océano en las Ciencias Naturales y Sociales. Tercera edición. Editorial Entrelibros e-book solutions. Bogotá, 2016. 326 Pp

Del Castillo, S. et al. 2023. La puesta de las garzas, indicador del estado de salud de un ecosistema de manglar. IVSS 2023. Programa GLOBE de NASA. Recuperado de <https://www.globe.gov/> el 5/3/2024

Díaz Granados, P & Vergara Serpa, B. (Editoras). 2009. Perspectivas del Medio Ambiente Urbano: Geo Cartagena. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Alcaldía de Cartagena de Indias, Establecimiento Público Ambiental de Cartagena - EPA, Observatorio del Caribe Colombiano. ISBN 978-958-98917-0-4. Cartagena de Indias. 174 p.

Hilti, S. et al. 2006. Guía de las Aves de Colombia. Edición SAO.

Ideam 2022. Atlas activo. Recuperado de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html> IUCN Red List, recuperada de <https://www.iucnredlist.org/species/22696916/154076472>

i-Tree Canopy User's Manual v5.x. (n.d.). Recuperado 2-28-2024, de http://www.itreetools.org/resources/manual_v5.pdf

Lovette, I.J. & Fitzpatrick (Editors), J.W. (2016). The Cornell Lab of Ornithology, Handbook of Bird Biology. Third Edition. Wiley. 733 p.

Luna, D. & Ojeda, J. 2020. Expedición ONDAS Bio IV Campaña, a dos humedales de la Costa Norte de Colombia (Las Ciénagas de la Virgen, Juan Polo y el Totumo): la biodiversidad y los parámetros físicos del agua. Colegio Montessori de Cartagena, Grupo Biontesori. IVSS 2010. The GLOBE Program.

McKilligan, N. 2005. Herons, Egrets and Bitterns. Their biology and conservation in Australia. CSIRO Publishing.

Mera-Ortíz G, Enríquez PL, Valle-Mora JF, Palacios-Castro E. 2022. Distribución espaciotemporal de ocho especies de garzas (Ardeidae) durante la reproducción en Isla Pájaros, Oaxaca-Chiapas, México. *Caldasia* 44(1):69–81. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n1.82145>

Melles, S., Glenn, S. & K. Martin (2003). Urban Bird Diversity and Landscape Complexity: Species environment associations Along a Multiscale Habitat Gradient. *Conservation Ecology* 7 (1):5 (on line) <http://www.consecol.org/vol7/iss1/art5>

Molares, R. y Mestres, M. 2012. Efectos de la descarga estacional del Canal del Dique en el mecanismo de intercambio de aguas de una bahía semicerrada y micromareal: Bahía de Cartagena, Colombia. *Bol. Cient. CIOH* (30): 53-74.

Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias (2022). Recuperado de [https://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/ecosistemas/lagunas-y-cuer-pos-de-agua-internos/bahia-interna-de-cartagena/generalidades/#:~:text=Para%20la%20Bah%C3%ADa%20de%20Cartagena,marea%20\(CIOH%2C%202008\).](https://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/ecosistemas/lagunas-y-cuer-pos-de-agua-internos/bahia-interna-de-cartagena/generalidades/#:~:text=Para%20la%20Bah%C3%ADa%20de%20Cartagena,marea%20(CIOH%2C%202008).)

Ruiz Guerra, C. & Cifuentes-Sarmiento, Y. 2021. Aves acuáticas de Colombia. Asociación Calidris

Sánchez Colindres, C. A. (2019). Bioestadística. McGraw-Hill. <http://www.ebooks7-24.com/banrep.basesdedatosezproxy.com/?il=10296>

Schreiber, E.A. & Burger, J. (2002). *Biology of Marine Birds*. CRC Press. Washington D.C. 741 p

SPSS statistics software (2023). Recuperado de <https://www.ibm.com/products/spss-statistics>

The GLOBE Program (2023). Recuperado de <https://www.globe.gov/>

9. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a nuestros Padres, a la Fundación “Niños de la Tierra”, al Ekoparque Luna Forest y al Colegio Montessori de Cartagena.

Agradecimientos especiales a:

A la Escuela de Biología Marina de la Universidad del SINÚ al programa ONDAS Bolívar, a la UTB y en particular a:

Lenny Alexandra Romero Pérez, decana de la facultad de Ciencias Básicas Cristina Osorio del Valle, Coordinadora del Programa ONDAS Bolívar a la Corporación Regional del Canal del Dique - CARDIQUE, Dra. María Blanco y Dra Mady García

A la Asociación Calidris, Dra Yanira Cifuentes Sarmiento.

y a los pescadores de la Ciénaga del Barrio Chino en Cartagena al programa GLOBE

y a nuestros maestros co-investigadores: Juan Felipe Restrepo y Kathy

Velandia.

ANEXOS

Anexo 1. Tablas y Figuras

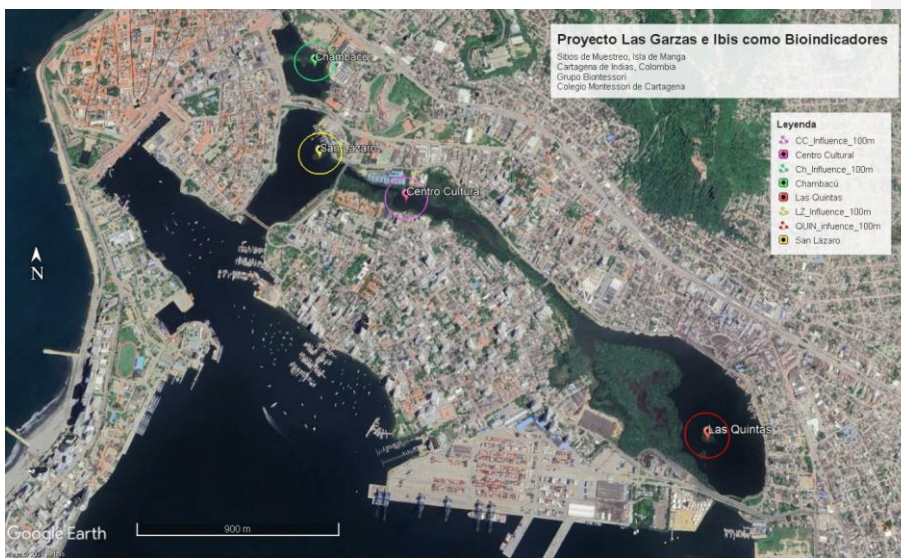


Figura 1

Sitios de muestreo Quintas, Centro Cultural, San Lázaro y Chambacú. Isla de Manga, Cartagena de Indias, Colombia. Fuente: Google Earth, 2024



Figura 2

Cartagena de Indias, Norte de Colombia. Recuperado Google Earth Pro, el 11 de septiembre del 2023.

Tabla 1

Composición de las comunidades de aves por estaciones de muestreo, y sus respectivos índices de diversidad de Margalef (DMg) y Shannon (DSh)

Especies	Centro cultural	Chambacú	Quintas	San Lázaro
<i>Actitis macularius</i>	3	2	1	
<i>Amazilia tzacatl</i>				1
<i>Amazona ochrocephala</i>	2			
<i>Aramides cajaneus</i>	1			
<i>Ardea alba</i>	43	4	1	121
<i>Ardea cocoi</i>	1			1
<i>Ardea herodias</i>		1		
<i>Brotogeris jugularis</i>	23		9	1
<i>Bubulcus ibis</i>	6	1		83
<i>Buteo albonotatus</i>	1	1		
<i>Butorides spp</i>	1			
<i>Butorides striata</i>		1	2	1
<i>Butorides virescens</i>	8	2	2	3
<i>Campylorhynchus griseus</i>	1			
<i>Cathartes aura</i>	4	3		6
<i>Chloroceryle amazona</i>	3			
<i>Coereba flaveola</i>	1			
<i>Columba livia</i>	19	1	11	
<i>Conirostrum bicolor</i>	3			2
<i>Coragyps atratus</i>	24	20	11	11
<i>Daptrius chimachima</i>	8	3	8	5
<i>Egretta caerulea</i>			1	
<i>Egretta thula</i>	81	84	13	109
<i>Egretta tricolor</i>	41	47	5	11
<i>Eudocimus albus</i>	38	72	6	29
<i>Eudocimus ruber</i>		1		
<i>Eupsittula pertinax</i>	62	6	19	3
<i>Falco columbarius</i>	1			
<i>Fregata magnificens</i>	5	7	8	4
<i>Himantopus mexicanus</i>			5	
<i>Icterus nigrogularis</i>	1			
<i>Leucophaeus atricilla</i>	11	6	31	11
<i>Machetornis rixosa</i>	1			
<i>Megaceryle torquata</i>	5		1	6
<i>Melanerpes rubricapillus</i>	3			
<i>Myiozetetes similis</i>	1			
<i>Nannopterum brasilianum</i>	8	11	1	28
<i>Nyctanassa violacea</i>	5	1		
<i>Nycticorax nycticorax</i>	11	4	2	1
<i>Patagioenas cayennensis</i>	9		2	
<i>Pelecanus occidentalis</i>	7	5	98	33
<i>Phaetusa simplex</i>	2	41	16	4
<i>Phimosus infuscatus</i>		2		
<i>Pitangus sulphuratus</i>	2	2		
<i>Quiscalus lugubris</i>	6		3	1
<i>Quiscalus mexicanus</i>	25	2	28	8
<i>Rynchops niger</i>			2	
<i>Sakesphorus canadensis</i>	3			
<i>Saltator olivascens</i>	1			
<i>Sicalis flaveola</i>	2			
<i>Thalasseus maximus</i>	4		6	9
<i>Thalasseus sandvicensis</i>			2	2
<i>Thraupis episcopus</i>	1	1		
<i>Tyrannus dominicensis</i>		1		
<i>Tyrannus melancholicus</i>	6	2		
<i>Vanellus chilensis</i>		1		
<i>Zenaida auriculata</i>	13		9	4
Total Individuos (N)	506,00	335,00	303,00	498,00
Total Especies (S)	45,00	30,00	28,00	27,00
Índice de Diversidad de Margalef (DMg)	7,07	4,99	4,73	4,19
Índice de Diversidad de Shannon (DSh)	4,40	3,35	3,46	4,13

Fuente: Biontessori 2024

Tabla 2

Número más probable de especies

	Reales	Chao1	ACE
Especies	56	77	76
Eficacia		72%	74%

Fuente: Biontesori 2024

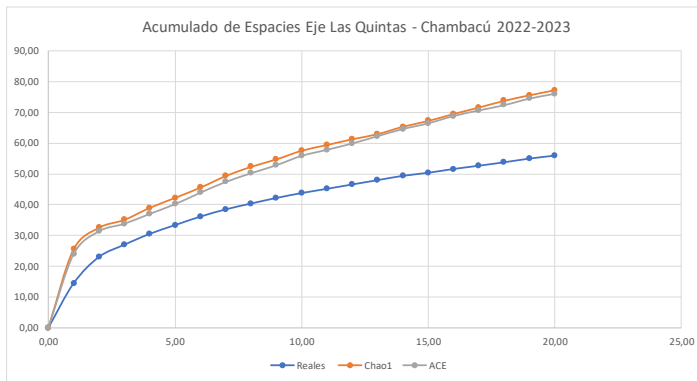


Figura 1

Gráfico del valor acumulado por especies para el eje Las Quintas-Chabcacú 2022-2023, conteo real, y conteo proyectado con los índices CHAO1 y ACE

Tabla 3

Vadeadoras en las cuatro estaciones de muestreo

Especie	Centro cultural	Chabcacú	Quintas	San Lázaro	Abundancia por especie
Ardea alba	43	4	1	121	169
Ardea cocoi	1			1	2
Ardea herodias		1			1
Bubulcus ibis	6	1		83	90
Butorides spp	1				1
Butorides striata		1	2	1	4
Butorides virescens	8	2	2	3	15
Egretta caerulea			1		1
Egretta thula	81	84	13	109	287
Egretta tricolor	41	47	5	11	104
Eudocimus albus	38	72	6	29	145
Eudocimus ruber		1			1
Nyctanassa violacea	5	1			6
Nycticorax nycticorax	11	4	2	1	18
Phimosus infuscatus		2			2
Abundancia por estación	235	220	32	359	846

Fuente: Biontesori 2024

Tabla 4

Parámetros promedio del agua en las cuatro estaciones, con sus respectivas desviaciones estándar, por fecha de muestreo

Fecha del muestreo	Transparencia promedio (m)	SD	Temperatura promedio (°C)	SD	Oxígeno Disuelto (mg/L de O2)	SD	Salinidad (ppt)	DS	Alcalinidad (mg/litro de CaCO3)	DS	pH	SD
Noviembre 2022	1,185	0,27	29,4	0,9	2,8	1,26	20,42	4	108	9,93	7,35	0,26
Febrero 2023	2,34	0,14	28,4	0,48	3,28	0,19	34,33	1,72	NA	NA	7,57	0,15
Mayo 2023	0,95	0,22	29,3	0,29	3,22	0,19	31,9	0,77	99,5	15,1	7,83	0,05
Julio 2023	0,93	0,24	30,1	0,63	2,56	0,47	20,08	3,77	98	10,08	7,7	0,13

Fuente: Biontesori 2024

Tabla 5
 Coberturas por tipo, y por estación, expresadas, en porcentajes y en hectáreas, sus respectivas desviaciones estándar, el Carbon total almacenado en toneladas métricas y el Dióxido de Carbono equivalente anual secuestrado en Toneladas Métrica

Tipo de Cobertura	Quintas		Centro Cultural		San Lázaro		Chambacú	
	% Cobertura +/- DS	Cobertura (ha) +/- DS	% Cobertura +/- DS	Cobertura (ha) +/- DS	% Cobertura +/- DS	Cobertura (ha) +/- DS	% Cobertura +/- DS	Cobertura (ha) +/- DS
Árboles y Arbustos	39 +/- 3,45	21,07 +/- 1,86	53,5 +/- 3,53	11,09 +/- 0,73	7 +/- 1,8	1,45 +/- 0,37	21,3 +/- 3,34	4,51 +/- 0,71
Gramas y herbáceas	0	0	1 +/- 0,71	0,21 +/- 0,15	5,50 +/- 1,61	1,14 +/- 0,33	2,67 +/- 1,33	0,56 +/- 0,28
Espejo de Agua	46,50 +/- 3,53	25,13 +/- 1,91	20 +/- 2,83	4,15 +/- 0,59	61,5 +/- 3,44	12,7 +/- 0,71	26 +/- 3,58	5,49 +/- 0,76
Edificaciones	3 +/- 1,22	1,62 +/- 0,66	6 +/- 1,68	1,24 +/- 0,35	10 +/- 2,12	2,07 +/- 0,44	18 +/- 3,14	3,8 +/- 0,66
Calles	6 +/- 1,68	3,24 +/- 0,91	6,50 +/- 1,74	1,35 +/- 0,36	7,50 +/- 1,86	1,55 +/- 0,38	11,33 +/- 2,59	2,39 +/- 0,55
Aceras	1,50 +/- 0,87	0,81 +/- 0,47	6 +/- 1,68	1,24 +/- 0,35	5,50 +/- 1,61	1,14 +/- 0,33	7,33 +/- 2,13	1,55 +/- 0,45
Suelo desnudo	4 +/- 1,41	2,16 +/-	3 +/- 1,22	0,62 +/- 0,25	1,50 +/- 0,87	0,31 +/- 0,18	9,33 +/- 2,38	1,97 +/- 0,50
Superficies deportivas	0	0	3,5 +/- 1,32	0,73 +/- 0,27	0,50 +/- 0,50	0,10 +/- 0,10	0	0
Area Total	100	54	100	20,74	100	20,86	100	21,12
Carbono (TM)	1619,6 +/- 143			825 +/- 56		111 +/- 28,6		346 +/- 54,3
CO2 (e) (TM/año)	5983,4 +/- 525			3125,9 +/- 206		407 +/- 105		1269,8 +/- 199

Datos: Biontesori; i-Tree Canopy, US Forest Service, 2024

Tabla 6
 Índice de disimilaridad de Bray Curtis, entre las diferentes campañas de muestreo, en la estación Centro Cultural

	SL N2022	SL F2023	SL M2023	SL J2023	SL N2023
SL N2022	0%				
SL F2023	56%	0%			
SL M2023	63%	20%	0%		
SL J2023	64%	9%	13%	0%	
SL N2023	11%	44%	43%	39%	0%

Fuente: Biontesori 2024, Programa R

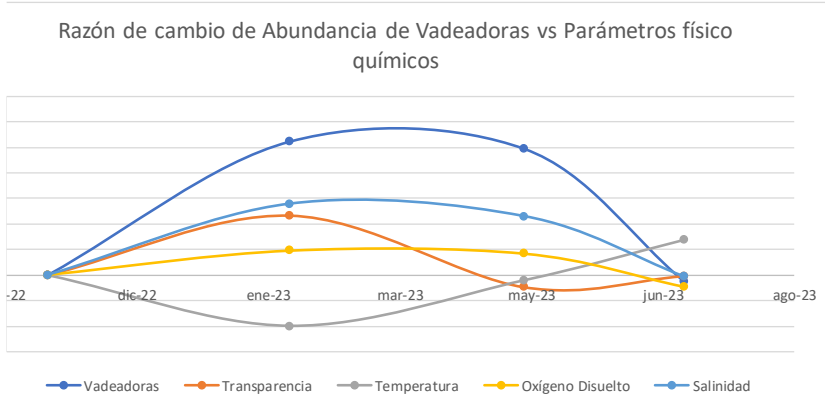








Figura 2
 Gráfico de las razones de cambio, tomando como base noviembre del 2022, de los parámetros físico químicos Transparencia, Temperatura, Oxígeno Disuelto y Salinidad, medidos con base en los protocolos del programa GLOBE de NASA, y los conteos de aves utilizando la metodología de punto y radio fijo, propuesta por D'Graff, citada por Glenn, S., Melles, S., & K. Martin, en 2003.
 Fuente: Biontesori, 2024



Tabla 8. Especies de garzas frecuentes en la zona de estudio


Familia Ardeidae

Especie	Nombre Común	Foto
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Guaco común	
<i>Nyctanassa violacea</i>	Guaco manglero	
<i>Butorides virescens</i>	Garcita verde	
<i>Butorides striata</i>	Garcita rayada	
<i>Bubulcus ibis</i>	Garcita del Ganado	
<i>Ardea herodias</i>	Garzón migratorio	

Anisa alba	Garza real	
Egretta tricolor	Garza tricolor	
Egretta rufescens	Garza roja	
Egretta thula	Garza patiamarilla	
Egretta caerulea	Garza azul	

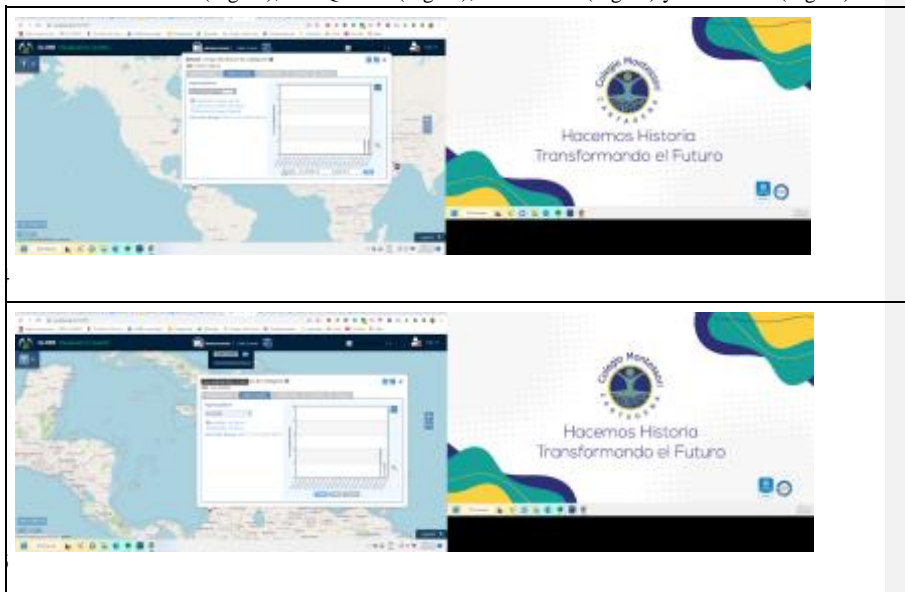
Familia Threskiornithidae

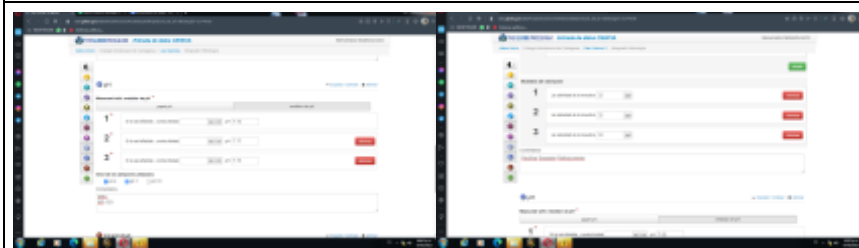
Ibis Blanco	Eudocimus albus	
Ibis rojo	Eudocimus ruber	

Coquito	Phimosus infuscatus	
---------	---------------------	---

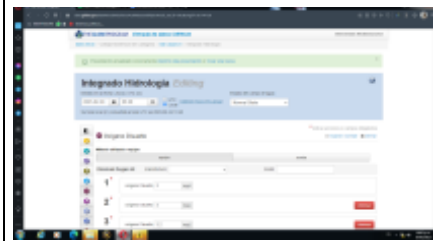
Fuente: Archivo fotográfico Biontessori, 2024

Figuras 23 a la 26. Evidencias del Ingreso de datos a la plataforma de GLOBE de Oxígeno Disuelto en las estaciones Centro Cultural (Fig 23), Las Quintas (Fig 24), San Lázaro (Fig 25) y Chabacú (Fig 26)





27



29