

LA PUESTA DE LAS GARZAS, COMO INDICADOR DE LA SALUD DE UN ECOSISTEMA DE MANGLAR

Por:

Alejandro Cifuentes (7°), Sofía del Castillo (11°), Aurora del Río (8°), Paula Hernández (7°),
Lito Porto (11°), Samuel Rodríguez (8°)

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

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

Grupo de Investigación Biontessori (desde 2017)
Colegio Montessori de Cartagena
Cartagena de Indias - Colombia
2023

1. RESUMEN¹

La puesta de las garzas obedece a múltiples factores: temperatura, disponibilidad de alimento, edad, experiencia, y longitud del día luz, entre otros. (Schreiber-E.A-& Burger-J, 2002). En 2023, esta unidad investigativa se planteó la pregunta: **¿Qué factores medioambientales determinan el periodo de puesta de las garzas en la ciudad de Cartagena, su bahía y cuerpos de agua asociados?** Se comenzó la presente investigación que contempla tres fases: (1) Planeación, (2) Desarrollo de la Investigación: colecta y análisis de datos propios: conteos de aves y parámetros físico químicos del agua basados en los protocolos del Programa GLOBE, y de fuentes externas autorizadas, (Brillo Solar horario, serie 2013-2020, datos del IDEAM de Colombia). Así mismo, el análisis estadístico de las medias del brillo solar, y su correlación con los periodos reproductivos de las garzas, (3) Comunicación de resultados ante comunidades de pares, en el colegio y en otros espacios. El estudio comienza a arrojar resultados que permiten concluir que los meses de mayor Brillo Solar coinciden con los meses de mayor actividad reproductiva de las garzas en la zona de estudio: caño de Bazurto, Ciénaga de las Quintas, Laguna de San Lázaro y Ciénaga de Chambacú, cuerpos de agua flanqueados por bosques manglar, ubicados en el casco urbano. Este estudio es el primero de varios que pretende realizar el grupo Biontessori que permitan caracterizar a las Garzas (Familia Ardeidae) como bioindicadores que evidencien cambios en las condiciones del entorno que sería difícil medir de manera directa (McKilligan, 2005) y que sirvan como alertas tempranas a la ciudadanía, de amenazas presentes en el ambiente. A partir de esta investigación se pone de manifiesto la amenaza que representa para la población de *Egretta thula*, la proliferación de la garza exótica invasora *Bubulcus ibis*, al ocupar los mismos sitios de anidación, en la misma ventana de tiempo.

Palabras clave: Bioindicadores, Garzas, Brillo Solar, Diversidad, Heliofanía

¹ Por el peso, la colección de imágenes que se citan en este informe, se alojaron en la sección del “póster”.

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Visitar la Ciénega de Las Quintas, al nororiente del colegio Montessori, en la isla de Manga, en distintos periodos del año, tanto en tiempo seco como de lluvia, le permitió a esta Unidad Investigativa observar similitudes y diferencias entre cada una de estas estaciones climatológicas, y reconocer algunas de las variables que pudiesen estar interviniendo en los procesos biológicos de los organismos que conforman el ecosistema de Bosque de Manglar. Fue así como se hizo evidente una mayor actividad de cortejo en garzas (Familia Ardeidae) durante febrero comparativamente con la observada en noviembre.

Si bien en la literatura se reportan rangos de meses para las épocas más probables de reproducción de las garzas en esta zona del mundo (Ver Tabla 1, Anexo 2), resulta necesario entender las causas que inciden o que predisponen a que esto ocurra así. De esta manera, poder mantener la atención sobre las variables que pueden alterar estos ciclos naturales, sirviendo estos organismos además como alertas tempranas frente a amenazas que afecten la estabilidad de estos ecosistemas y la salud e integridad física de las personas que habitan en la ciudad de Cartagena.

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

¿Qué factores medioambientales determinan el periodo de puesta de las garzas (Familia Ardeidae) en la ciudad de Cartagena, su bahía y cuerpos de agua asociados?

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 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 sus estaciones de puesta, como un bioindicador de alertas tempranas ante los efectos de estas manifestaciones por causas antrópicas unas, y naturales, otras.

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

Estas aves, por su ubicuidad, 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 ² 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 explayadas 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.)

Esta unidad investigativa busca contribuir al entendimiento del ciclo de vida de las garzas. Entender el papel de variables como la “heliofanía”, definida como el tiempo en horas durante el cual el Sol tiene un brillo solar efectivo, sobre el ciclo de vida de las garzas, particularmente el período de reproducción. Alteración del período de reproducción y/o defectos en los polluelos y en el comportamiento de los progenitores, permitirá a esta unidad investigativa 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.

² “Algunos elementos como el petróleo, los plaguicidas y contaminantes orgánicos persistentes, luego de ser consumidos por los organismos, se acumulan en ellos (proceso que se conoce como bioacumulación o bioconcentración) porque existe una afinidad entre el tejido adiposo (graso) y ciertos compuestos no solubles en agua” (CCO, 2016).

De otro lado, esta unidad investigativa ha venido observando el aumento de *Bubulcus ibis* en los garceros³ en estudio, ocupando de manera oportunista el sitio de anidación de *Egretta thula*. Comprender el papel de una variable como el Brillo Solar, y la química del agua, sobre las temporadas de anidación, facilitará una gestión efectiva de control biológico de esta especie exótica invasora.

4. METODOLOGÍA

Cartagena se encuentra ubicada al noroccidente de Colombia (ver Mapa, Figura 1, 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). El observatorio ambiental de Cartagena reportaba en 2021, que la población de la ciudad era de 1'013.389 habitantes; cuenta la ciudad con un área de 623 Km², de los cuales 76 Km² son de suelo urbano y 547 Km² son de suelo rural. La población localizada en la zona urbana corresponde al 95.6%, mientras que en la zona rural se ubica el 4.4% restante. (Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias, 2021). El paisaje predominante de Cartagena de Indias es el ecosistema marino costero, conformado por el mar Caribe, la Bahía de Cartagena, el Canal del Dique, la Ciénaga de la Virgen, el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo y la Bahía de Barbacoas. (IBID).

Según cifras del Centro Oceanográfico e Hidrográfico de la Armada Nacional de Colombia citado por el Observatorio Ambiental de Cartagena de Indias, Cartagena presenta un clima cálido, con una temperatura media anual del aire de 27,8 °C, temperatura máxima anual de 31.2°C, y temperatura mínima anual de 25.1°C. La precipitación total anual multianual es de 1087 mm, siendo octubre el mes más lluvioso con un promedio de 238.8 mm/mes (CIOH, 2021). El hecho climático más notable es la influencia que ejerce el desplazamiento Norte-Sur de la Zona de Convergencia Intertropical -ZCI. Esta zona es una franja discontinua de bajas presiones localizada entre las regiones subtropicales de los hemisferios norte y sur de América, con un clima que se caracteriza por ser tropical semiárido. Esta condición le impone a la región dos periodos climáticos principales, la época seca (verano) entre los meses de diciembre a abril, con predominio de vientos fuertes del sector norte - noreste y lluvias débiles y escasas. La época húmeda (invierno) con precipitaciones se extiende desde agosto a noviembre y se caracteriza por presentar vientos débiles, de orientación variable y por un régimen de lluvia abundante (CIOH citado por PNUMA, 2009, p.27).

La Bahía de Cartagena de Indias con un área aproximada de 8 km² y una profundidad promedio de 20 m, recibe por Bocagrande, al norte, y Bocachica al sur, aportes del mar Caribe. Al sur de la Bahía se encuentra la desembocadura del Canal del Dique, un cuerpo de

³ Garceros: sitios donde anidan las garzas.

agua que se desprende directamente del Río Magdalena y que se estima deposita en la Bahía en promedio, una rata de caudal de agua dulce de 130 m³/s (Morales, M. & Mestres, M. 2012).

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 especies 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 hidrósfera, 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. Como se señaló anteriormente, esta es una investigación en marcha, de la cual se ha desarrollado un 50% de los muestreos planeados, correspondientes a la segunda temporada lluviosa del año (Período Septiembre-Noviembre de 2022) y primera temporada seca del año (Período Diciembre 2022-Marzo 2023); están aún pendientes los muestreos de la primera temporada lluviosa del año (Período Abril-Junio del 2023) y segunda temporada seca (Período Julio-Agosto 2023, también denominado “*Veranillo de San Juan*”).

Para los datos de Brillo Solar horario, se descargó la serie 2013-2020 del sitio oficial del IDEAM de Colombia; el archivo CSV se convirtió a Excel, y se hizo una tabla dinámica, agrupada por cada uno de los meses del año y por los años de la serie. Utilizando el programa SPSS de IBM se hizo una prueba de análisis estadística de comparación de las medias de las series de datos por mes, de cada uno de los años 2013-2020, buscando probar la Hipótesis

según la cual, las medias de los meses, son diferentes entre sí, para ello se hicieron test de Kruskal-Wallis, Anova, y Tukey (Sánchez Colindres, C.A., 2019).

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, CHAO 2 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), para cada una de las estaciones, en cada uno de los muestreos, sometiéndose a la prueba de Mann-Whitney (Sánchez Colindres, C.A., 2019) para comprobar si las medias de las diversidades en ambos períodos fueron iguales.

Una vez llevada a cabo la totalidad de los cuatro muestreos, se harán análisis estadísticos multivariados analizando componentes y coordenadas principales, similaridad y disimilaridad de Bray Curtis, complementando el presente estudio con un análisis de los NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y MTVI2 (Índice de Vegetación Triangular Modificado) en la zona de estudio, buscando entender cómo estos parámetros, inciden en la épocas de cortejo, y de puesta de las garzas.

5. RESULTADOS

En los dos muestreos realizados se han registrado un total de 56 especies entre acuáticas, terrestres, locales, y migratorias (Ver Anexo 2: Tablas 2 y 3). Con base en el programa Estimate V.9.1.0., utilizando los índices CHAO1, CHAO2 y ACE, se calculó el acumulado, y se pudo establecer de esta manera, el número probable de especies en la zona de estudio, ver Tabla 1 y Gráfico 1.

Tabla 1

*Acumulado de
Especies*

Muestras	Reales	Chao1	Chao2	ACE
0	0	0	0	0
1	23,03	34,18	23,03	30,4
2	33,12	45,22	45,36	41,05
3	40,56	52,15	59,1	48,44
4	46,29	60,01	70,8	54,82
5	51,72	67,88	88,78	60,78
6	56	72,89	93,97	65,48

Eficiencia del

Muestreo

Chao1	76,83%
Chao2	59,59%
ACE ⁴	85,52%

Acumulado de Especies: Reales, Chao1 y ACE

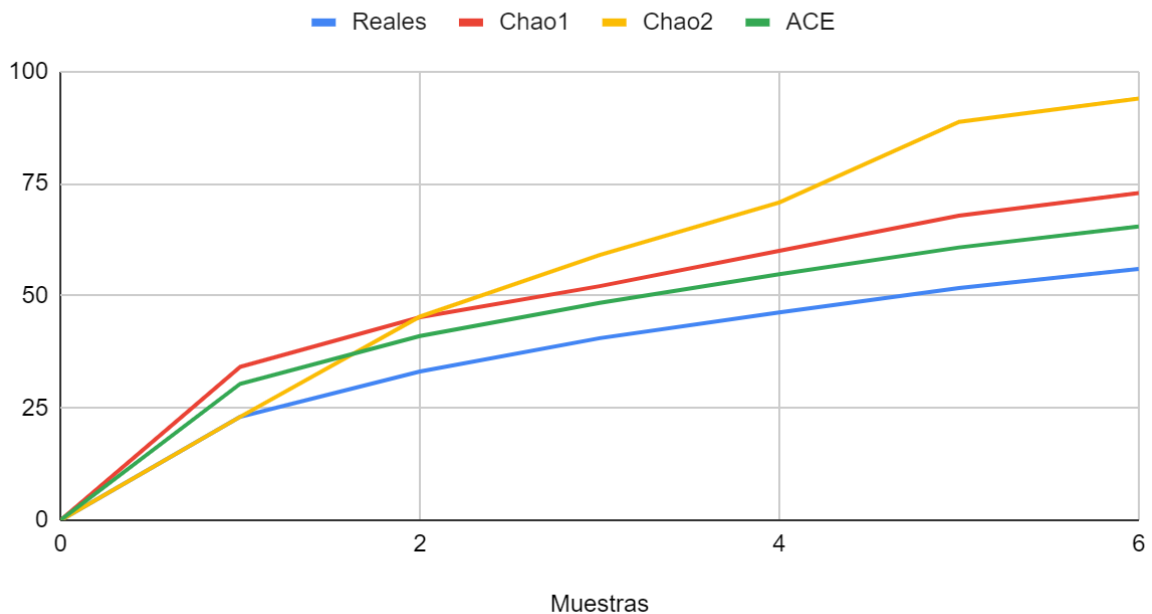
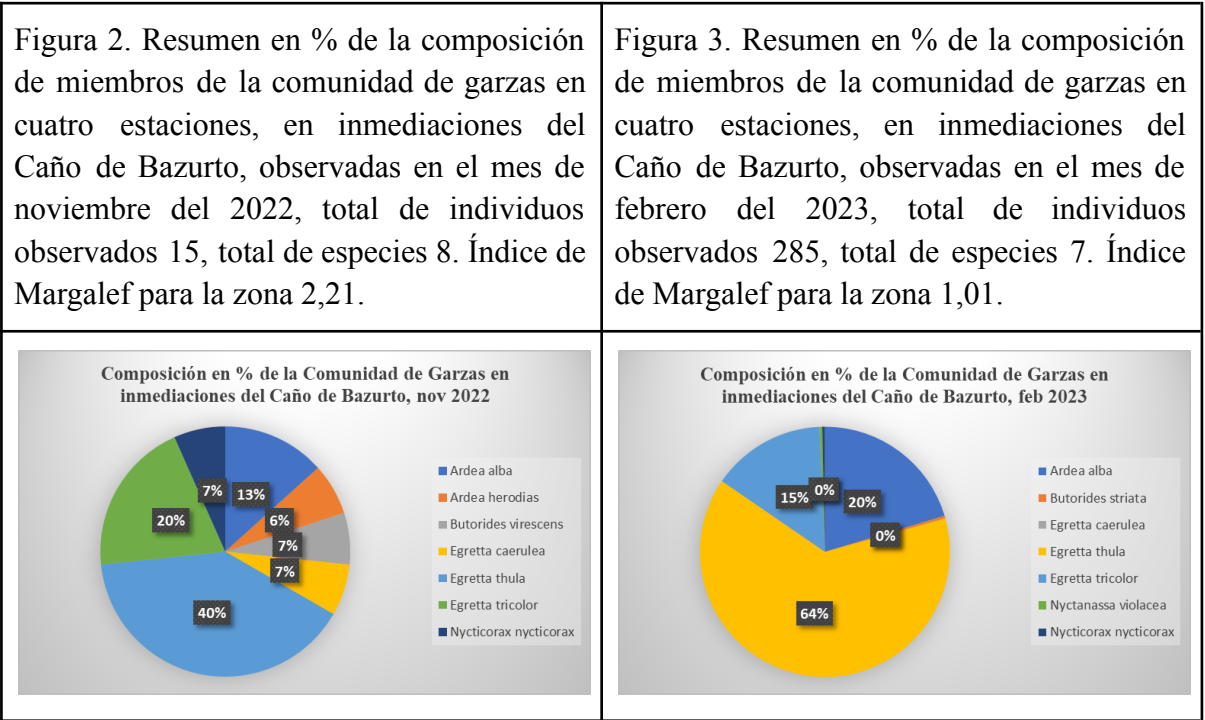


Figura 1 Acumulado de Especies

De este análisis se estima que el número de especies en la Ciénaga de las Quintas, el Caño de Bazurto, la Laguna de San Lázaro y la Ciénaga de Chambacú, ronda por las 72, alcanzando una eficiencia en los muestreos del 76,8 % para el CHAO1, del 59,6 para el CHAO2 y del 85,5 % para el ACE.

⁴ ACE Abundance Coverage Estimate

A continuación se representan las composiciones de la comunidad de Garzas de las estaciones en inmediaciones del Caño de Bazaruto: Quintas, Centro Cultural, San Lázaro y Chambacú, en % del total de individuos.



Igualmente, para el presente estudio se midieron entre otros los parámetros del agua: Oxígeno Disuelto (mg/L), Salinidad (ppt) y Transparencia con el disco Secchi (cm), con base en los protocolos de Hidrósfera del Programa GLOBE (The Globe Program, 2023). Ver Figuras 4, 5 y 6, en el Anexo 2, y evidencias de la entrada de estos en la plataforma de datos de GLOBE (Figuras 23, 24, 25, y 26).

Finalmente, se completa el presente análisis con el dataset de Brillo Solar horario (hora o fracción efectiva de brillo solar de 500 a 1800 nm) para la serie 2013-2020 (Tabla 4, Anexo 2), tomado del reservorio de datos del IDEAM, estación Aeropuerto Rafael Núñez, de la ciudad de Cartagena (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2023).

6. DISCUSIÓN

El primer paso para la interpretación de los datos, fue comprobar si el brillo solar en los doce meses del año es el mismo. Para ello se contó con un dataset de más de 340000 registros del IDEAM, años 2013-2020 (IDEAM, 2023). Usando la función tablas dinámicas de Excel, se agruparon los datos, totalizando los brillos horarios, por mes, para cada uno de los años de la serie. Para determinar si estos datos siguen una distribución normal, se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, resultando que dichos datos siguen una distribución no paramétrica, $\alpha = 0$ para la prueba, con una confianza del 95% y una significancia del 5%.

Se les aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, obteniéndose como resultado un α cercano a 0 y un nivel de significancia de 0.05, rechazándose la Hipótesis nula según la cual la distribución del brillo solar de los doce meses del año, es la misma, y aceptándose la hipótesis alterna donde al menos dos meses del año tienen distribuciones “significativamente” diferentes.

Se aplicó la prueba de Tukey, que sirve para evaluar medias que son significativamente diferentes, encontrándose los meses del año, de acuerdo al Brillo Solar se distribuyen en tres grandes grupos (ver Tabla 5 del anexo 2). Este agrupamiento corresponde al comportamiento esperado, los meses de mayor brillo solar: diciembre, enero, marzo, y, julio, agosto, coinciden con los meses de tiempo seco, y con los meses de reproducción de las garzas, particularmente *Egretta thula* y *Ardea alba*. Hay un par de casos que se escapan de lo esperado, por ejemplo, febrero con el brillo más bajo, se separa de los otros dos grupos, y octubre, que es tradicionalmente, un mes del segundo período lluvioso del año, y que corresponde al equinoccio de otoño del norte, aparece en el grupo de los meses de mayor brillo solar.

Igualmente, se aplicaron índices de correlación de Pearson entre las variables Diversidad, Oxígeno Disuelto, Salinidad y Transparencia (Tablas 6 y 7, anexo 2), encontrándose tanto en noviembre del 2022, como en febrero del 2023, correlaciones positivas altas entre la diversidad y el oxígeno disuelto (0,94 y 0,63, respectivamente), coincidiendo con las observaciones realizadas por el grupo Biontessori en la Ciénaga de la Virgen (Luna, D. et al, 2020).

La superposición de los meses de mayor brillo solar y los períodos de reproducción de las diferentes garzas nos muestran hechos muy reveladores y es la coincidencia de los meses de mayor brillo con las épocas de mayor actividad de reproducción (cortejo y puesta) observada en los caños asociados a la Bahía de Cartagena (Figura 27).



Figura 27. Superposición de los meses de mayor brillo solar y los períodos de reproducción reportados en la literatura. Obsérvese que los meses de julio y agosto corresponden a la mayor actividad de puesta y son dos de los meses de mayor brillo. Igualmente, en la salida de campo de febrero se observó una actividad importante de cortejo (Figura 19 y 20, Anexo 2) y algunos pichones que no habían abandonado sus nidos (Figura 28, anexo 2) (este queda dentro del período Diciembre-Marzo). El caso de febrero como el mes de menor brillo, se puede deber a que es tres días más corto que los demás meses y días luz más cortos.

Resulta curiosa la correlación negativa entre transparencia y oxígeno disuelto para el mes de febrero. En noviembre, un mes lluvioso, los vientos predominantes que provienen del sureste, empujan las aguas que provienen del canal del Dique cargadas de sedimentos, hacia el norte de la Bahía; en estas condiciones una mayor transparencia permitirá que los rayos del sol penetren en el agua a una mayor profundidad, generando una mayor producción de oxígeno por parte de los organismos fotosintetizadores, lo que explica la correlación positiva. Sin embargo, en febrero, un mes del período seco, la situación es la opuesta, los vientos alisios del noreste traen aguas limpias a la bahía, concentrando las descargas del canal en la parte sur. En este escenario, una exagerada transparencia, como la observada por esta unidad investigativa en el tramo las Quintas-Centro Cultural, indica una caída en la productividad primaria, explicando la correlación tan bajita y de signo negativo.

La evaporación en los días secos y de mucho viento como los que caracterizan el primer período seco del año Diciembre-Marzo, explican las altas salinidades comparativamente con el segundo período lluvioso del año (meses de septiembre a noviembre). No obstante, preocupa a esta Unidad Investigativa una salinidad como la observada en Chambacú, en febrero del 2023, de casi 37 ppt. La explicación se haya interpretando el contexto. Existe una ocupación ilegal de terrenos a lado y lado del caño Juan Angola, un par de kilómetros al norte

de esta estación. Estos canales y ciénagas conectaban de manera expedita la Bahía de Cartagena con la Ciénaga de la Virgen. Los estrechamientos del canal (Figura 22, Anexo 2), han provocado que estos cuerpos de agua se conviertan prácticamente, en unos lagos. La evaporación hace que se aumente la salinidad y la temperatura del agua, reduciendo la concentración de oxígeno disuelto. Los contaminantes que son vertidos en estos canales, y en la bahía se precipitan y se bioacumulan ante la falta de circulación, estos al ascender a través de la red trófica llegan a los consumidores terciarios como las aves y los humanos (Figura 21, Anexo 2). Esta es precisamente, la preocupación de esta unidad investigativa, por un lado el deterioro del medio ambiente, del paisaje, y la obstrucción de la hidrodinámica natural de la Bahía de Cartagena y la Ciénaga de la Virgen, y por otro lado la vulnerabilidad de las personas que viven en las márgenes de estos caños y que aún se alimentan del producto de las pesca que se consigue allí. Es por ello, que de manera urgente se deben desarrollar sistemas de alertas tempranas a partir de bioindicadores como las garzas, propuesta por esta unidad investigativa, que prevengan a la ciudadanía de los efectos nocivos de la contaminación por lubricantes, pesticidas y metales pesados, presentes en estos cuerpos de agua.

En las figuras 7 a 15, una muestra de fotografías hechas por esta unidad investigativa en las salidas de noviembre del 2022, febrero del 2023 y en la campaña de mayo-julio del 2021, en el marco del proyecto Biontessori/IDAB “Evaluación toxicológica y ambiental del efecto de los metales pesados en los ecosistemas asociados al Caño Juan Angola (Cartagena Bolívar), en aguas superficiales y sedimentos. Resolución rectoral Universidad de Cartagena 02061-2019”, muestran los cambios que sufren las garzas a medida que recorren su ciclo de reproducción. Llama la atención a esta unidad investigativa, el plumaje de cortejo, que mostraron individuos de las especies *E. thula*, *A. alba* y *E. tricolor* en la salida del pasado mes de febrero de 2023 (Figura 16, 19, y 20, Anexo 2). Igualmente llamativa la técnica de pesca que utiliza *E. thula*, en vuelo, batiendo sus alas y agitando el agua con sus patas (Figura 12, Anexo 2).

7. CONCLUSIONES

Si bien esta es una investigación en desarrollo, de la cual faltan aún dos muestreos por realizar, correspondientes a la 1ª primera época lluviosa del año, y la segunda seca, que coincide precisamente con la época de reproducción de *E. thula*, *A. alba*, *E. tricolor* y *B. ibis*, ya se empiezan a tener serios indicios que le permiten a esta unidad investigadora responder a la pregunta problema señalando que la “*heliofanía*”, o el tiempo en horas durante el cual el Sol tiene un brillo solar efectivo, si tiene un efecto positivo sobre el ciclo de vida de las garzas, particularmente el período de reproducción, como se señala desde la bibliografía. Hay una coincidencia entre los meses de mayor brillo solar, con la época de mayor actividad de reproducción (cortejo y puesta).

Esta conclusión se ve reforzada ante la relación directa que existe entre la productividad primaria y la cantidad de luz que proviene del sol. Al haber una mayor fotosíntesis, habrá una

mayor productividad primaria, es decir, de un lado una mayor cantidad de oxígeno disuelto, y por otro lado una mayor disponibilidad de alimento para cada eslabón de la cadena alimenticia, propiciando un aumento en la riqueza y la abundancia de especies acuáticas. Las altas correlaciones entre la diversidad y el oxígeno disuelto, así lo demostraron.

Entender los factores que disparan procesos como la época de anidación y puesta, permitirá comprender el alcance de fenómenos que ocurran en estos períodos de mayor brillo solar. Igualmente, le permitirá a esta unidad investigativa evaluar el alcance que puede tener la invasión de *Bubulcus ibis* y el desplazamiento de *Egretta thula* de su ventana de reproducción. En relación con este delicado tema, esta unidad investigativa viene proponiéndole a la Autoridad Ambiental de la ciudad de Cartagena, un control biológico a partir de la sustracción de huevos de los nidos de esta especie, precisamente en durante el mes de junio, justo en la época pico de su período de reproducción.

Finalmente, instar a las autoridades ambientales y a los órganos de control, a restituir a la nación, los terrenos que han sido invadidos de manera ilegal, sobre las márgenes de estos cuerpos de agua, con la correspondiente tala del manglar, acarreando graves consecuencias al ecosistemas y a la salud e integridad física de los cartageneros.

INSIGINIAS

Esta unidad investigativa aspira a obtener las siguientes insignias

“I am a collaborator”: un hecho así lo sustenta. 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.

“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

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

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>

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 Biontessori. 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/caldasias.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-cuerpos-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-cuerpos-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

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

Anexo 2. Tablas, Imágenes y Figuras

Tabla 1

La historia de vida de las Garzas

Specie	Nombre Común	Status de residencia	Reproducción	Nidada
Nycticorax nycticorax	Guaco común	IRP	Junio - Octubre; nido voluminoso de palitos. 1-7 m en manglares.	2-3 huevos verde azulado pálido.
Nyctanassa violacea	Guaco manglero	R	Enero-Mayo	3 huevos verde pálido.
Butorides virescens	Garcita verde	IRP	Se han encontrado presencia de individuos en Junio-Julio	2 huevos azules (Observaciones del grupo Biontessori).
Butorides striata	Garcita rayada	IRP	Solitaria. Marzo a Agosto. Nido en plataforma a 1 m del agua.	3 huevos gris verdoso pálido
Bubulcus ibis	Garcita del Ganado	IRP, I	Anida colonialmente; se reproduce todo el año	Dos huevos azules

Ardea herodias	Garzón migratorio	INR		
Ardea alba	Garza real	IRP	Enero-Julio	2-3 huevos gris azul
Egretta tricolor	Garza tricolor	IRP	Finales de Julio	Nido en plataforma de palitos, 2-4 huevos
Egretta rufescens	Garza rojiza	IRP		
Egretta thula	Garza patiamarilla	IRP	Marzo - Octubre. Plataforma de palitos en colonias mixtas	2-4 huevos verde-azul pálidos
Egretta caerulea	Garza azul	IRP	Julio - Octubre. Nido en plataforma de palitos.	2-5 huevos azules

IRP: Invernante con poblaciones reproductivas permanentes. INR: Invernante no reproductivo. R: residente. I: Especie exótica invasora. Es de destacar que en el territorio donde se desarrolla el presente trabajo, casi todas estas garzas son invernantes, con poblaciones reproductivas permanentes (Ruiz-Guerra C. & Cifuentes-Sarmiento, Y., 2021). Datos tomados de Hilty, S. et al., 2006.

Tabla 2

Abundancia y Riqueza, Índices de Diversidad de Margalef y Shannon: Ciénaga de las Quintas, Bazurto, San Lázaro y Chambacú. Noviembre de 2022

Especie	Centro Cultural	Chambacú	Quintas	San Lázaro	Taller
Actitis macularius	1	1	1		
Ardea alba			1		1
Ardea herodias		1			
Brotogeris jugularis	3				
Buteo albonotatus		1			
Butorides virescens			1		
Cathartes aura	3	3		6	
Columba livia		1			

Coragyps atratus	8		5	8	1
Egretta caerulea			1		
Egretta thula		2	3		1
Egretta tricolor	2		1		
Eudocimus albus		7	2		1
Eupsittula pertinax	11				
Fregata magnificens			4		1
Leucophaeus atricilla	1		17	1	1
Milvago chimachima	1		3		
Nannopterum brasilianum	1		1	4	1
Nycticorax nycticorax					1
Pelecanus occidentalis	2		29	28	1
Phaetusa simplex		1	1	1	1
Pitangus sulphuratus		2			
Quiscalus lugubris				1	
Quiscalus mexicanus	3	1	4	1	
Sicalis flaveola	2				
Sternula antillarum					1
Thalasseus maximus	3		3	7	
Thalasseus sandvicensis			1		1
Thraupis episcopus		1			
Tyrannus melancholicus	2	1			
Vanellus chilensis					1
Zenaida auriculata			1		1
Total individuos (N)	43	22	79	57	14
Total Especies (S)	14	12	18	9	14
Índice de Diversidad de Margalef (DMg)	4,93	4,43	5,88	3,64	4,93

Índice de Diversidad de Shannon	1,010	0,954	0,929	0,690	1,146
---------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 3

Abundancia y Riqueza, Índices de Diversidad de Margalef y Shannon: Ciénaga de las Quintas, Bazurto, San Lázaro y Chambacú. Febrero 2023

Especies	Centro Cultural	Chambacú	Quintas	San Lázaro	Taller
<i>Actitis macularius</i>	2	1			
<i>Ardea alba</i>	8			49	1
<i>Brotogeris jugularis</i>	3		6		
<i>Butorides striata</i>		1			
<i>Campylorhynchus griseus</i>	1				
<i>Cathartes aura</i>	1				
<i>Chloroceryle amazona</i>	2				
<i>Columba livia</i>	1		4		1
<i>Coragyps atratus</i>	1				1
<i>Egretta thula</i>	30	71	3	77	1
<i>Egretta tricolor</i>	8	30	2	1	1
<i>Eudocimus albus</i>	1		1		
<i>Eupsittula pertinax</i>	14		5		1
<i>Fregata magnificens</i>	2		3		1
<i>Icterus nigrogularis</i>	1				
<i>Leucophaeus atricilla</i>	1	3	2	3	1
<i>Megaceryle torquata</i>	1				
<i>Melanerpes rubricapillus</i>	2				

Milvago chimachima	2		4		1
Nannopterum brasilianum	3	7		2	1
Nyctanassa violacea	1				
Nycticorax nycticorax	1				
Patagioenas cayennensis	4		1		
Pelecanus occidentalis	1	1	4	1	1
Pitangus sulphuratus	2				
Quiscalus lugubris	1		3		1
Quiscalus mexicanus	8	1	1		1
Sakesphorus canadensis	1				
Saltator olivaceus	1				
Thalasseus maximus			2		
Thraupis episcopus	1				
Tyrannus dominicensis		1			
Tyrannus melancholicus	1	1			
Vanellus chilensis		1			
Zenaida auriculata	3		3	1	
Total individuos (N)	109	118	44	134	13
Total Especies (S)	31	11	15	7	13
Índice de Diversidad de Margalef (DMg)	6,39	2,10	3,70	1,23	4,68
Índice de Diversidad de Shannon	1,1902	0,5202	1,1225	0,4098	1,1139

Figura 1. Mapa Colombia, Bahía de Cartagena, y Estaciones de Muestreo

Figuras 4, 5 y 6. Resúmenes de datos correspondientes a los parámetros Oxígeno Disuelto, Transparencia del Agua y Salinidad, para los meses noviembre del 2022 y febrero del 2023, en inmediaciones del caño de Bazurto: estaciones Quintas, Centro Cultura, San Lázaro y Chambacú.

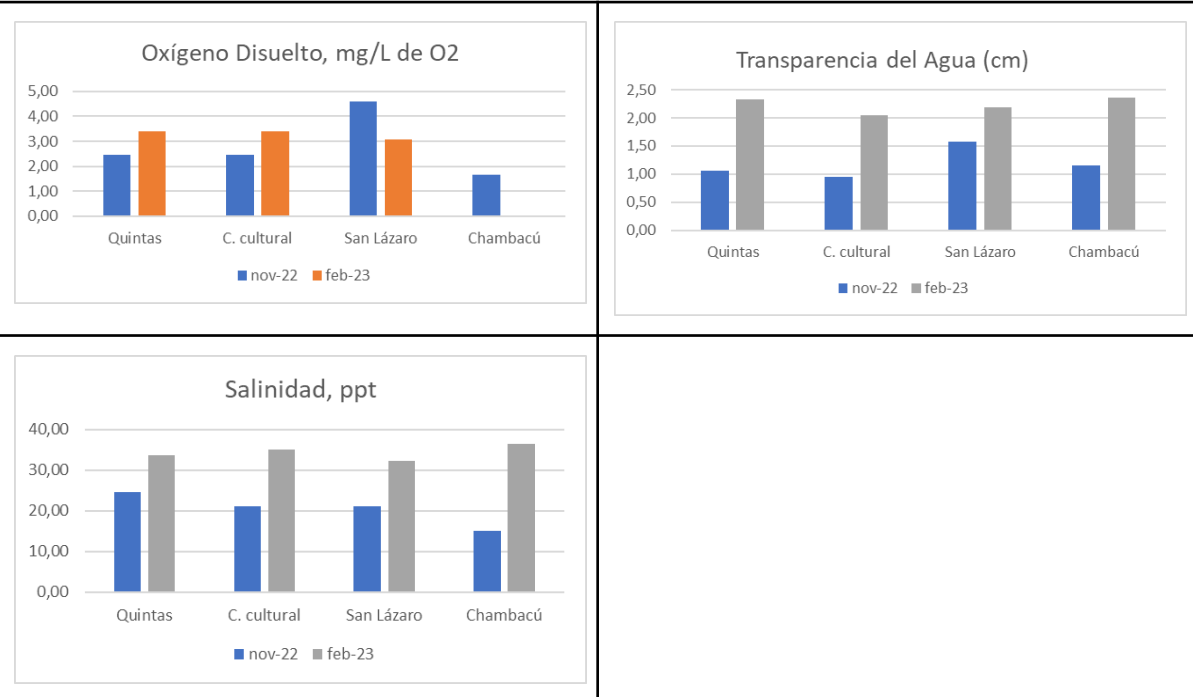


Tabla 4

Brillo Solar horario, de 500 a 1800 nm, entre las 05:00 y las 18:00. Estación Aeropuerto Rafael Núñez. Fuente IDEAM, Colombia

[illegible]

8	59520	59184	59520	59520	59520	59520	59520	420272
9	55560	55800	55800	55800	55800	55576	55800	393856
10	59520	59520	59520	59520	59520	59520	59408	420496
11	55800	55800	55800	55800	55560	55800	55800	394080
12	59520	59520	59520	59520	59520	59520	59520	420608
Total	686152	688224	685312	688312	688320	688216	691512	4862184

Nota: los datos correspondientes al 2016 se retiraron del análisis, por considerarse “outliers”.

Tabla 5

Brillo

HSD Tukey^a

Mes	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Febrero	7	49216,00		
Mayo	7		55416,00	
Septiembre	7		55733,71	
Abril	7		55765,71	
Noviembre	7		55765,71	
Marzo	7			59244,57
Enero	7			59329,14
Agosto	7			59472,00
Octubre	7			59504,00
Julio	7			59520,00
Diciembre	7			59520,00
Sig.		1,000	,981	,997

Tabla 6

Índices de Correlación de Pearson entre variables, noviembre 2022

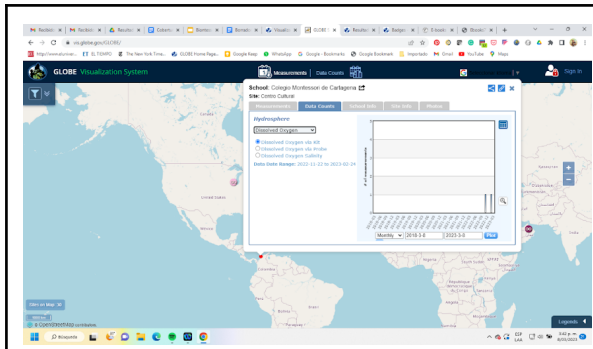
	Diversidad	Oxígeno	Salinidad	Transparencia
Diversidad		0,943205431	0,643333674	0,676854355
Oxígeno			0,369362774	0,823654397
Salinidad				-0,094965684

Tabla 7

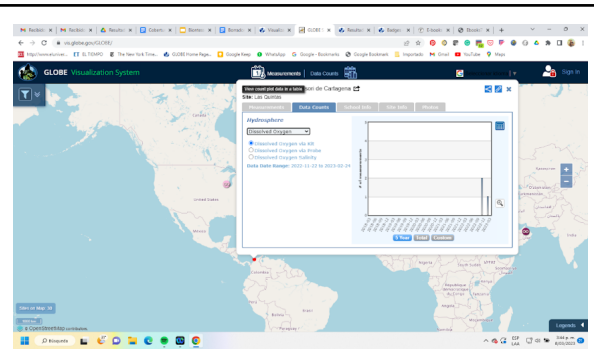
	Diversidad	Oxígeno	Salinidad	Transparencia
Diversidad		0,630134295	-0,936288764	0,274074931
Oxígeno			0,55740848	-0,03
Salinidad				0,178783307

Figuras 23, 24, 25 y 26

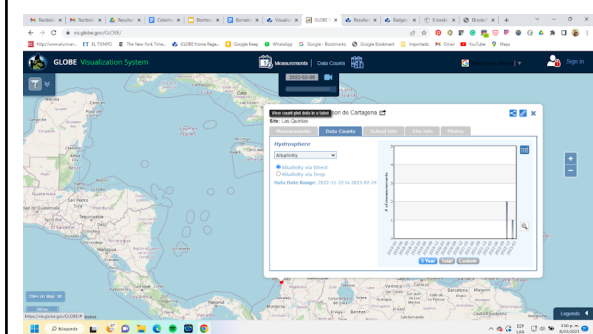
Evidencias del Ingreso de datos a la plataforma de GLOBE de Oxígeno Disuelto en las estaciones Centro Cultural (Fig 23), Las Quintas (Fig 24), San Lázaro (Fig 25) y Chambacú (Fig 26)



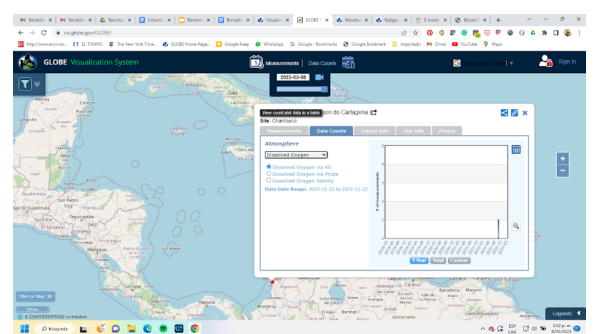
23



24



25



26

Entrada de datos CIENCIA

Medida con: **pH**

Valor de la muestra: **7.73**

Fecha: **2023-12-12**

Entrada de datos CIENCIA

Medida con: **pH**

Valor de la muestra: **7.73**

Fecha: **2023-12-12**

Integrado Hidrologia

Medida con: **Disolved Oxygen**

Valor de la muestra: **7.73**

Fecha: **2023-12-12**

Integrado Hidrologia

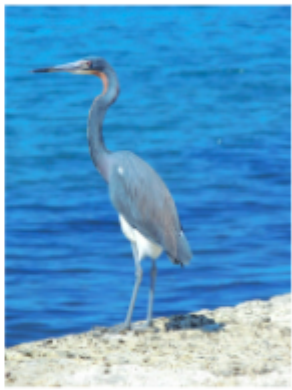
Medida con: **Disolved Oxygen**

Valor de la muestra: **7.73**

Fecha: **2023-12-12**

Tabla 1. Especies de garzas frecuentes en la zona de estudio

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	

Ardea alba	Garza real	
Egretta tricolor	Garza tricolor	
Egretta rufescens	Garza rojiza	

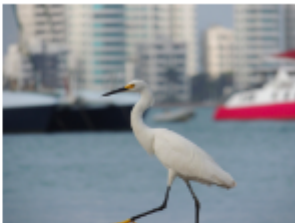
Egretta thula	Garza patiamarilla	
Egretta caerulea	Garza azul	



Figura 7. Estudiantes del grupo Biontessori, midiendo transparencia. Ciénaga de las Quintas. Noviembre 2022



Figura 13. Garcita del Ganado, *Bubulcus ibis*, organismo exótico e invasor. Fotografía Biontessori, 2021



Figura 8. Color del agua del caño Bazurto en noviembre de 2022. Fotografía Biontessori 2022

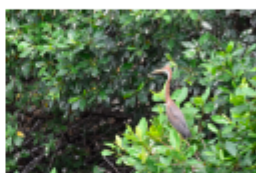


Figura 14. *Egretta tricolor* (Garza tricolor). Fotografía Biontessori 2021



Figura 9. *Egretta thula* (Garza patiamarilla) en estado no reproductivo. noviembre de 2022.



Figura 15. *Butorides striata* (Garcipolo migratorio). Fotografía Biontessori, 2021



Figura 10. Un juvenil de *Ardea herodias*. Este registro es bastante interesante, pues hasta ahora esta especie se considera invernante con poblaciones no reproductivas. Fotografía Biontessori noviembre 2022



Figura 16. *Egretta thula* (Garza patiamarilla) en plumaje y coloración de cortejo. Fotografía Biontessori, 2021



Figura 11. Estudiantes investigadores del grupo Biontessori, midiendo salinidad usando el salinómetro/refractómetro. Fotografía Biontessori. Febrero 2023



Figura 17. *Nyctycorax nyctycorax* (Guaco nocturno). Fotografía Biontessori 2021

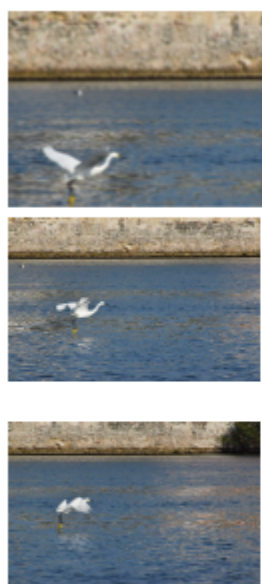


Figura 12. *Egretta thula* aplicando la técnica de pesca de batir sus alas y con las patas agitar el agua.



Figura 18 Nido de *Egretta thula*



Figura 18a. Estudiantes del grupo de investigación Biontessori, haciendo conteo de aves en el Caño de Bazurto. Fotografía Biontessori, Febrero 2023



Figura 19. Garcero de la Laguna San Lázaro, en la imagen *Ardea alba* y *Egretta thula*, en plumaje de cortejo. Fotografía Biontessori. Febrero 2023



Figura 20. *Egretta thula* en su plumaje de cortejo. Fotografía Biontessori. Febrero 2023



Figura 21. Pescadores que aún pescan en los caños asociados a la Bahía de Cartagena, al fondo una bandada de garzas, atraídas por el pescado que sale a la superficie en busca de oxígeno. Sector de San Pedro y Libertad, caño Juan Angola. Fotografía Biontessori 2019



Fotografía 22. Construcciones ilegales a lado y lado del caño Juan Angola, obstruyendo el canal, dificultando la circulación entre la Bahía y la Ciénaga de la Virgen. Fotografía Biontessori 2019



Figura 28. Pichones que se resisten a abandonar el nido, observados en la salida de campo del 23 de febrero. Ciénaga de Chambacú. Fotografía Biontessori 2023