Cobertura terrestre y comunidades de aves, en bosques de manglar, Cartagena, Co., 2a Parte

Por:

Luna Vélez, Diego (10°), Olmos Tejeda, Gabriela (10°), Porto Sanabria, Lito (11°), & Sánchez Ojeda, Jimena (11°)

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

Aspirando a obtener las insignias: I am collaborator, I make an Impact, I am a data scientists, I am an Engineer, I am a Stem Professional, I am Stem StoryTeller

Grupo de Investigación Biontessori (creado en 2017)

Colegio Montessori de Cartagena

Cartagena de Indias - Colombia

2023

1. RESUMEN

Las aves son muy sensibles a las condiciones que ofrece el bosque: la diversidad de flora y fauna, la disponibilidad de alimento, agua y abrigo, temperatura, pluviosidad y duración del día-luz, entre otros, son factores que determinan su riqueza y abundancia. (Morgan, M. 2004, p. 30). En 2022, esta unidad investigativa se planteó la pregunta: ¿Cuál es la relación que existe entre la Cobertura Terrestre y la diversidad de las comunidades de aves, en relictos de bosque de manglar, al norte del Cartagena, en inmediaciones de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, durante la época lluviosa del año, período 2013-2020? En el 2023, para esta segunda parte del proyecto, se completaron tres fases de esta investigación: (1) Planeación (2) Desarrollo de la investigación, colecta y análisis de datos: usando el programa ArcGIS se calcularon los índices NDVI y MTVI2 para la zona de estudio, período 2013-2020 (3) Comunicación de resultados: ante comunidades de pares, en el colegio y en otros espacios. Se pudo responder la pregunta de investigación al demostrar que los cambios en el uso del suelo y en la cobertura terrestre, conllevan consigo cambios en la diversidad de las comunidades de aves, particularmente grupos funcionales sensibles al suministro de alimento, con altos niveles de adaptación. En el presente estudio, se logró demostrar mediante el uso de herramientas de análisis de la estadística multivariada, que existe una relación directa entre el deterioro de la cobertura del bosque de Manglar al norte del Distrito de Cartagena, en inmediaciones de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, y la perdida de la diversidad de las comunidades de aves acuáticas propias de este humedal, y sobre el clima. Este estudio refuerza la iniciativa abrir de manera urgente una boca para el ingreso de agua oceánica al norte del humedal.

Palabras clave: Manglar, Aves, NDVI, MTVI2, Componentes y coordenadas principales.

2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la relación que existe entre la Cobertura Terrestre y la diversidad de las comunidades de aves, en relictos de bosque de manglar, al norte del Cartagena, en inmediaciones de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, durante la época lluviosa del año, período 2013-2020?

Las diversidad y la abundancia de las comunidades de aves son factores muy sensibles a las condiciones que ofrece el bosque tales como la diversidad de flora y fauna, la disponibilidad de una dieta balanceada, el abrigo, la protección, la temperatura, la pluviosidad, la disponibilidad de fuentes de agua limpia, la duración del día-luz, entre otros, resultando ser un excelente indicador para medir el impacto en los cambios en el uso del suelo (Morgan, B. 2004, p. 30 Guevara-Ochoa, C et al, 2017, Rurangwa, M.L et al. 2021).

En las últimas tres décadas, en Colombia se ha venido perdiendo una enorme cantidad de superficie del bosque. La IUCN, estima que más de la mitad de los ecosistemas terrestres colombianos “presentan condiciones que amenazan su integridad y por consiguiente también su capacidad de proveer servicios a la sociedad ". (Instituto Humboldt, 2018 Hernández, J. R. et al, 1992, Myers, N. et al, 2000, Orme et al, 2005, Pimm et al, 2006, citados por el Instituto Humboldt, 2018).

A cifras del 2017, el Instituto Humboldt reportaba que 22 ecosistemas de Colombia, representando el 27% de su superficie, se encontraban en estado crítico (CR), siendo precisamente, los ecosistemas secos, los humedales del Caribe y los Andes y el piedemonte llanero. (ibid, p. 2 de la versión digital).

De otro lado, Colombia es el país más biodiverso del mundo en aves con 1980 especies reportadas. Solamente para la Ciénaga de la Virgen, los científicos ciudadanos hemos reportado en la plataforma e-bird, 180 especies (https://ebird.org/colombia/explore).

3. INTRODUCCION Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Problema

Esta unidad investigativa busca comprender la relación entre el uso del suelo, la Cobertura Terrestre y la diversidad de las comunidades de aves expresada en términos de abundancia y riqueza, asociadas al Bosque de Manglar, en inmediaciones de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, al norte de Cartagena (Latitud 10.48340, Longitud –75. 48408), entre 2013 y 2020. Igualmente, explicar las causas de la evidente desaparición de algunas especies y la sustitución de otras por especies más generalistas.

Para ello se utilizaron imágenes satelitales Landsat 8, descargadas de las plataformas USGS Earth Observatory: https://earthexplorer.usgs.gov/ y Planet.com https://www.planet.com/, con las que se calcuaron los índices de Vegetación de Diferencia Normalizada - NDVI y el índice Vegetación Triangular Modificado - MTVI2, utilizando el programa ArcGIS, para el período de estudio. La serie de datos de las aves para el período comprendido entre 2013-2020, temporada lluviosa (Julio-Septiembre), nos fueron proporcionadas por los ornitólogos de la Asociación Calidris (Ruiz-Carlos y Cifuentes-Yanira, 2014-2021), representantes para Colombia del Censo Neotropical de Aves Acuáticas, actividad de ciencia ciudadana organizada a nivel continental por Bird Life International, y en la cual esta unidad investigativa participa como coordinador local, conjuntamente con la ONG Fundación Serena del Mar, y nosotros los estudiantes, participamos como científicos ciudadanos apoyados por los científicos de Calidris, en la

recolección y conteos de las aves, y en la consolidación y análisis de la información recogida.

El NDVI es uno de los llamados Índices de Baja Resolución Espectral (Gilabert, M.A. et al, 1997), y uno de los más utilizados (Ibid). Fue propuesto por primera vez por J.W Rouse Jr. y colaboradores, en 1973. Se calcula como la razón entre la reflectancia de infrarrojo cercano y la reflectancia del rojo (Gilabert, M.A., et al 1997, Rouse, J.W. et al, 1973). Cuanto más denso es el follaje, mayor es la reflectancia del infrarrojo cercano y el índice se acerca a 1, no obstante, en vegetaciones dispersas, este índice puede estar influenciado por la reflectancia del suelo de fondo o por las condiciones atmosféricas (Gilabert, M.A. 1997). Los valores de este índice varían de 1 a –1.

El Índice de vegetación triangular modificado por otra parte, MTVI2, es un índice de vegetación que permite detectar el contenido de clorofila de las hojas a escala de dosel arbóreo, y es relativamente insensible al Índice de Área Foliar (Recuperado de ArcGIS, 2021) al suprimir el efecto causado por el contenido de Clorofila en las hojas (Naichen X, et al., 2020). Los valores de este índice varían de 1 a –1.

Hipótesis

Hipótesis de trabajo 1: Las parcelas de bosque con menores índices de vegetación de diferencia normalizada, y de vegetación triangular modificada, presentan las menores

coberturas arbóreas, las menores abundancias, los más bajos índices de diversidad de aves especialistas, y los más altos índices de especies generalistas.

Hipótesis de trabajo 2: Los índices de diversidad de las aves y las condiciones de cobertura terrestre, así como los NDVI y MTVI2 en la zona de estudio, han venido deteriorándose a lo largo del período de estudio 2013-2021, para la segunda temporada lluviosa del año.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Objetivo General

Hallar la relación que existe entre la Cobertura Terrestre del Bosque y la diversidad de las poblaciones de aves, en relictos de Bosque de Manglar al norte de Cartagena, en inmediaciones de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, para el período 2013-2020, durante la segunda temporada lluviosa del año.

Objetivos Específicos

Planear la investigación, incluyendo el planteamiento del problema, la pregunta de investigación, una revisión bibliográfica de autores con trabajos en temas afines, el estado del arte y posibles cursos de acción para llevarla a cabo.

Recoger los datos de campo respectivos, tales como conteos de aves, parámetros fisicoquímicos, en campo, e imágenes satelitales, datos meteorológicos y parámetros físico-químicos históricos, en repositorios abiertos de organizaciones reconocidas y con entidades gubernamentales.

Hacer los análisis, las interpretaciones y el informe respectivo, utilizando algoritmos matemáticos de la ecología y la ciencia de datos, y software especializado en georreferenciación y estadística.

Divulgar los resultados, los hallazgos y las conclusiones en comunidades de práctica, y en eventos de socialización de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Sitio de Estudio

Nuestro proyecto se ubica en la región Caribe colombiana, al norte del Distrito de Cartagena, entre los corregimientos de La Boquilla, Manzanillo del Mar, Tierra Baja y Puerto Rey, en inmediaciones de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo y la Ciénaga del Totumo, corregimiento de Lomita Arena. La Ciénaga de la Virgen es el segundo humedal en importancia en la región Caribe colombiana, lamentablemente uno de los más afectados por la tala de manglar, la falta de recirculación de agua de mar, las invasiones ilegales, el urbanismo caótico y desmedido y las obras civiles recientemente ejecutadas, tal como lo señaló esta misma unidad investigativa en 2018, en el informe Expedición ONDAS BIO al

ecotono Bosque Seco Bosque de Manglar, trabajo de investigación que representó a Colombia en la Feria Internacional de Mostratec en 2019 y que ocupó el tercer puesto.

Recolección de Datos

Se llevaron a cabo dos salidas de campo a las Ciénagas del Totumo, La Virgen y Juan Polo, en agosto de 2019 y 2021. A la salida asistieron estudiantes investigadores, maestros co-investigadores y padres de familia. A tempranas horas de la mañana se hizo un recorrido en lancha a dos estaciones denominadas Norte y Sur, en la Ciénaga del Totumo (Latitud 10,74 Norte y Longitud 75,23 Oeste, Latitud 10.74 Norte y Longitud 75,23 Oeste, respectivamente). En el recorrido hacia la Estación Sur se hizo un recuento de las especies de aves observadas y se anotaron en el espacio denominado especies entre puntos. Ya en la estación se hizo un conteo de individuos por especie en un radio de 100 metros, durante 10 minutos, cuidando de no recontar. Con base en los protocolos de Atmósfera e Hidrósfera del Programa GLOBE de NASA se tomaron datos de parámetros fisicoquímicos del agua, la nubosidad y color del cielo, usando la carta de Nubes. Igualmente, temperatura del agua y temperatura libre del aire usando un termómetro de alcohol (-10 a 100 grados Celsius) de carcaza. Se midió la transparencia del agua usando el disco Secchi, y se tomaron muestras de agua para ser analizadas posteriormente en el laboratorio. Así mismo, se evaluó el estado de la marea, y de ocurrir, la precipitación, vegetación flotante y vegetación emergente, así como cualquier otro hecho notable en la estación. Este mismo procedimiento se repitió en la estación norte, y en la tarde después de las 15:00, en la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo en las estaciones: Bajo Aves, Bajo Meza y Juan Polo.

En el laboratorio dentro de las siguientes 24 horas, se hicieron pruebas de pH, salinidad, Oxígeno Disuelto por el método de titulación y Nitratos como NO3-N.

Con una precisión de 4.7 metros por pixel, en el Infrarrojo, y mapas de calor de los Índices NDVI y MTVI2, se compararon los mapas de calor, alojados en plataforma Planet de Planet Lab (https://www.planet.com/), correspondientes a los meses de junio años 2016-2020. En cuanto a los datos de cobertura, se utilizaron polígonos de las zonas de estudio en Google Earth Pro y de la plataforma Global Forest Watch (https://www.globalforestwatch.org/).

Con la asistencia del Profesor Milton Guerrero, y la estudiante de Ingeniería Ambiental Luisa Ospina, de la Universidad Tecnológica de Bolívar, recibimos formación y capacitación en el procesamiento de las imágenes en color real en Google Earth Pro, y en el uso del programa ArcGIS de ESRI. Con el Profesor Andy Dominguez de la UTB, recibimos asesoría en el uso de herramientas de la estidística multivariada.

En Google EARTH Pro, se utilizaron entre otras las funciones “historial de imágenes”, “polígonos” y “rutas” y para cotejar datos de temperaturas del agua, superficial y libre del aire de las zonas de estudio, se utilizó la plataforma My NASA DATA (https://mynasadata.larc.nasa.gov/).

Para obtener las imágenes de satélite Landsat 8, se descargaron vistas de ambas zonas de estudio del reservorio de la USGS, para el período 2013-2020. Utilizando la función polígonos de Google Earth, se crearon 9 polígonos de 30 x 30 m, en Tierra y nueve en el agua, en cada una de las estaciones de muestreo (Imágenes 3 y 4, Anexo IV). Con el programa ArcGIS Pro 2.9.3, se cargaron las imágenes satelitales correspondientes a las bandas 3, 4, 5 y 7 (Imágenes 5 y 6. Anexo IV), así como los polígonos elaborados en Google Earth. Utilizando las herramientas Raster Calculator y Extract by Mask de ArcGIS Pro, "historial" de Google Earth pro, y Excel de Microsoft, se obtuvieron los valores de los NDVI y MTVI2 de los cuadrantes de 30x30, así como las áreas de las zonas deforestadas (Imágenes 7 y 8 del Anexo IV).

Esta unidad investigativa agradece a la Universidad Tecnológica de Bolívar y al Programa ONDAS del Minciencias, su apoyo en la capacitación y el entrenamiento en el uso de herramientas de interpretación de imágenes satelitales y de estadística multivariada..

En cuanto al dataset de los censos de aves correspondientes al período 2013-2020, se solicitaron a la Asociación Calidris y estos le fueron enviados por correo a esta unidad investigativa en un archivo en Google Sheets, discriminados por estación, especie, número de individuos por especie y época del año. Se debe tener en cuenta que se llevan a cabo dos

censos Neotropicales al año, uno en el mes de febrero y el otro en julio. Los datos utilizados en el presente estudio corresponden al mes de julio y a la localidad de La Boquilla. En el mes de septiembre de 2021, se llevó a cabo un censo de aves en la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, en el cual esta unidad investigativa participó, datos que también se incluyeron en el presente análisis.

Análisis de Datos

Los datos de los conteos de aves se organizaron en un único dataset, incluyendo los siguientes campos: año, fecha del conteo, localidad, mes, especie, y número de individuos. Con la función VlookUp de Microsoft Excel en la hoja "Línea Base", se extrajo y se adjuntó al dataset original la categoría Grupo Funcional, actualizada con la reciente clasificación de Ruiz y Cifuentes (2021), seleccionándose dos grupos de aves acuáticas: limícolas y vadeadoras (Ver Figuras 1 y 2, Anexo III).

En una tabla en Excel se organizaron los NDVI y MTVI2 promedio de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, para cada uno de los años de la serie 2013-2020, y 2019 y 2021 para la Ciénaga del Totumo tomada como control (Tabla 1 del Anexo III).

Los datos físico-químicos de la salida de agosto del 2019 y 2021, se tabularon y graficaron (Figuras 5 a 9, del Anexo III). Desde la página del IDEAM para estas mismas fechas correspondientes a la zona de estudio, se descargaron y tabularon los datos Pluviosidad (Figura 3 y Tabla 6 del Anexo III).

Desde la plataforma Planet de Planet Labs, se tomaron vistas del NDVI, MTVI2 y CIR de la zona de estudio para el mes de junio, serie 2016 a 2020 (ver Imágenes 10 a 14 del Anexo IV).

Comparando las imágenes de 1969 (Polígonos en verde, imagen 8 del Anexo IV) con fotos más recientes, alojadas en la plataforma Google EARTH Pro para la zona de estudio, se construyeron polígonos sobre relictos de Bosque de Manglar que han desaparecido por acción antrópica y se pudo calcular el área de bosque que se ha perdido, estimándose en 35 hectáreas (Polígonos en amarillo).

De los archivos fotográficos de la Fundación Ecoprogreso, se escogieron fotografías hechas con DRONES en los Bioconteos de 2014, 2015 y 2016, y fotografías tomadas por los censistas que mostraban en detalle las intervenciones antrópicas (Imágenes 20 y 21, Anexo IV).

Se calcularon las diversidades de Margalef y Shannon, para los grupos de aves Limícolas y Vadeadoras, (Tabla 3 y Figura 4 del Anexo III). Se extrajeron los valores de las diferentes longitudes de onda y se calcularon el NDVI promedio/año y el MTVi2 promedio/año, tomando como base los datasets de los mismos índices para las parcelas en tierra, para las parcelas en agua y para las las parcelas en agua y tierra, de todas las estaciones. (Tabla 1 del Anexo III).

Se observaron y se analizaron las imágenes satelitales en color real, y de análisis espectrales: infrarrojo, NDVI y MTVI2, buscando hechos que llamaran la atención o marcaran diferencias entre los años de la serie 2013-2021 (Imágenes 10 á 14, Anexo IV).

Se graficaron los datos de pluviosidad para la serie 2013-2021 (Figura 3, Anexo III).

Se calculó el Índice de correlación de Pearson entre los índices de diversidades y los NDVI y MTVI2, para la zona de estudio (Tabla 10 del Anexo III).

Para comprender las razones de las diferencias entre los años de la serie 2013-2021, se hicieron varios análisis de la llamada estadística multivariada: componentes principales (Figuras 10 a 12 del Anexo III, Anexo VI) , distancias de “Bray Curtis” (análisis de disimilaridad de Bray-Curtis y Jaccard, ver tablas 4 y 5 del Anexo III, Anexo VI), y el Análisis de Coordenadas Principales” (Tabla 11, Figuras 13 y 15, del Anexo III, Anexo VI). Se analizaron tres escenarios, en el primero se compararon el índice de diversidad de Margalef de las aves limícolas, para la serie 2013-2019 como la variable dependiente, y como variables independientes el NDVI Terrestre, el Oxígeno Disuelto y la Salinidad. El segundo escenario se compararon el Índice de diversidad de las Aves Limícolas, el MTVI2 Total, el Oxígeno Disuelto y la Salinidad, y en un Tercer Escenario, se compararon el Índice de Diversidad de Margalef de las Aves Limícolas y las variables Oxígeno Disuelto,

pH, Salinidad, Conductividad y Sólidos Disueltos Totales (Figuras 13, 14 y 15 del Anexo III).

RESULTADOS

La diversidad de Margalef osciló entre 4.34 (2020) y 6.44 (2017), y la de Shannon entre 2.98 (2021) y 3.93 (2016) (Toda la comunidad) (Tabla 7 del Anexo III). Para el caso de Limícolas y Vadeadoras (Figura 4 del Anexo III), se observa una tendencia similar.

En la tabla 1 del Anexo III, se reportan los datos de los NDVI y MTVI2 promedio/año para la Ciénaga de la Virgen, en tres categorías: promedios de las parcelas en tierra, parcelas en agua, y totales. Es notorio el deterioro del NDVI Total promedio/año al correr de la serie, comparándolos con el del 2013 (0,1973), excepto para los años 2016, 2017 y 2018 (0.1723, 0.1541 y 0.1625, respectivamente). Algo similar sucede con el MTVI2, siendo el del 2013 el más alto de la serie (3.67 x 10E-5), y 2016, 2017 y 2018 (1.98 x10E-5, 1.91 x 10E-5 y 2.02 x10E-5, respectivamente).

En la imagen espectral correspondiente al MTVI2 de 2017, se observa abierta la boca natural de la Ciénaga (Imagen 11 del Anexo IV). Se destaca la alta productividad primaria (verde), y las zonas moradas de baja productividad, particularmente al noreste del Bajo Meza (ver recuadro).

En la Figura 3 del Anexo III, se observan que los años con los más altos niveles de pluviosidad, corresponden al 2017 y 2018, hecho que explica la apertura de la Boca Natural.

El Índice de correlación de Pearson muestra correlaciones positivas entre en el NDVI Promedio/año "Total" y el Índice de Margalef para las aves limícolas (0,46) , y entre el MTVI2 Promedio/año "Total" y el Índice de Margalef (0,40) (Tabla 10 del Anexo III).

El Análisis de Distancias de Bray-Curtis (Análisis de Disimilaridaad), (Tabla 4 del Anexo III, Anexo VI), corrobora que a medida que pasan los años estos se van haciendo cada vez más disimiles al 2013, el indicador más alto lo tiene la pareja 2020-2013 con un 0,84. Otro dato interesante es el de la pareja 2017-2015 con 0,63, mientras que la pareja 2017-2016 es 0,36. Las mismas tendencias se mantienen en el análisis de disimilaridad basado en presencia-ausencia (Índice de Jaccard) (Tabla 5 del Anexo III).

El análisis de Componentes Principales (Figura 10 del Anexo III) para las especies Limícolas corrobora lo anotado en párrafos anteriores, donde el 2017 (número 5 en el diagrama) es el año que más se aleja de la nube de puntos.

En la Figura 13 del Anexo III se presentan la gráfica de coordenadas principales, donde queda demostrado que la Diversidad de las Aves Limícolas varía de manera directa al NDVI, e inversa a la salinidad. En la Figura 14 del Anexo III se observa una tendencia similar entre el MTVI2 y la salinidad; igualmente, existe una relación directa entre la diversidad de Margalef de las Aves Limícolas y la concentración del Oxígeno Disuelto, la

que se mantiene en el gráfico de la Figura 15 del Anexo III. En esta gráfica se observa una relación opuesta entre la concentración de Sólidos Disueltos Totales (SST) y la Diversidad de Margalef de las Aves Limícolas. La escasa recirculación hace que aumente la sedimentación, y con esta, aumentos de la temperatura, la evaporación, la concentración de las sales y sólidos en suspensión y la caída en la concentración del oxígeno disuelto. Ello explica las relaciones de proporcionalidad directa entre el oxígeno disuelto y la diversidad, e inversa entre la salinidad y la diversidad, y entre los sólidos disueltos totales y la diversidad.

Estos datos permiten explicar la pérdida de la diversidad de las comunidades de aves, particularmente las aves limícolas. Adicionalmente, se demuestra que existe a su vez un deterioro de los índices de vegetación de diferencia normalizada y de vegetación triangular modificado. Igualmente, se demuestras que paralelamente al deterioro de estos índices, se operan deterioros en la calidad de los parámetros fisicoquímicos de la ciénaga. No obstante. lo que más llamó la atención a esta Unidad Investigativa es que cuando se abrió una de las bocas naturales, que había permanecido cerrada a través del tiempo por sedimentación, en este caso por las intensas lluvias, y el agua de mar recirculó y se mezcló con el agua de la Ciénaga, esos mismos parámetros mostraron una mejoría notable.

5. CONCLUSIONES

Se pudo responder la pregunta de investigación al demostrar que cambios en el uso del suelo y en la cobertura terrestre, conllevan consigo cambios en la diversidad de las comunidades de aves.

En el presente estudio se logró demostrar el alarmante deterioro de los bosques de Manglar al norte del Distrito de Cartagena, en inmediaciones de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, con consecuencias directas sobre la diversidad de las comunidades de aves acuáticas; a medida que se degrada el bosque se pierde la diversidad Alfa.

El uso de imágenes satelitales, ayudan a entender y explicar la gravedad del problema de la deforestación. En el caso particular de la Ciénaga de la Virgen, la importancia que tendría abrir una boca adicional en el sector norte del humedal.

Se destaca el rol de los jóvenes como actores de una comunidad activa y participativa, desarrollando una mirada sistémica del territorio. Este papel se ve potencializado a partir de la llamada *Ciencia Ciudadana* en actividades, proyectos y programas como la campaña de las aves en Cartagena que coordina y promueve el Montessori, dentro de las que se destaca el Censo Neotropical de Aves Acuáticas, y el uso de datos a partir de plataformas como el programa GLOBE de NASA, INaturalist, e e-bird, entre muchas otras.

Se aceptan como verdaderas las dos hipótesis de trabajo:

Hipótesis de trabajo 1: Las parcelas de bosque con menores índices de vegetación de diferencia normalizada, y de vegetación triangular modificada, presentan las menores coberturas arbóreas, las menores abundancias, los más bajos índices de diversidad de aves especialistas, y los más altos índices de especies generalistas,

Hipótesis de trabajo 2: Los índices de diversidad de las aves y las condiciones de cobertura terrestre, así como los NDVI y MTVI2 en la zona de estudio, han venido deteriorándose a lo largo del período de estudio 2013-2021, para la segunda temporada lluviosa del año.

6. RECOMENDACIONES Y PROYECCIONES

Para una siguiente fase de esta investigación esta UI pretende complementar estos hallazgos con la modelación de fenómenos generados a partir del aprendizaje de máquina, que permita una mayor comprensión del fenómeno.

Se destaca la participación de los estudiantes Biontessori como oradores en el conversatorio: “Los humedales a vuelo de pájaro: un diálogo entre niños y jóvenes sobre el cuidado de las aves y los ecosistemas” (Imágen 16 del Anexo IV), aportando no solo los

resultados de la investigación, como también preocupaciones y anhelos acerca de las estrategias de conservación del humedal (Imagen 17 del Anexo IV). Igualmente, los resultados del proyecto se divulgaron en el VI Congreso de Jóvenes Comprometidos con el Medio Ambiente, organizado por la Fundación Solydeus de Argentina. Estrategias como estas se deben seguir llevando a cabo para así despertar en los habitantes del distrito de Cartagena, particularmente las comunidades que viven cerca a la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, y en las autoridades competentes, las cuatro consciencias de la que nos habla María Montessori: del ser, de la comunidad, de la cultura y del entorno, recordando que " LOS BOSQUES DE MANGLAR SON DIGNOS DE PROTECCIÓN (ARTICULO 128 DEL. DECRETO 1681 DE 1978 Y LA RESOLUCIÓN 1263 DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, DEL 11 DE JULIO DE 2018).

Resaltar el papel de los estudiantes Biontessori en la coordinación y conducción de Conversatorio "Cartagena, su bahía y cuerpos de agua, una oportunidad para construir una comunidad consciente y participativa" en abril del 2021 y en el que se contó con las directivas de prestigiosas instituciones como la Fundación Serena del Mar, la Fundación Niños de la Tierra, la Fundación Bahía, La Fundación Planeta Azul Caribe, Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Tecnológica de Bolívar, y el grupo de investigación IDAB (A+ en SNCTI) de la Universidad de Cartagena, todos actores de gran incidencia en el futuro de estos ecosistemas. Se deben contar con más espacios donde escuchemos la voz de los jóvenes sobre los problemas de sostenibilidad de territorio, con un enfoque STEAM.

Destacar la presentación que hicieron del presente proyecto los estudiantes del grupo Biontessori en la reciente visita del Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación de

Colombia, Dr. Arturo Luna, al Colegio Montessori. En dicha visita se contó con también con la presencia del Vicerrector de la Universidad Tecnológica de Bolívar y funcionarios de Cardique (Imágenes 18 y 19, Anexo IV).

7. INSIGNIAS

Esta Unidad Investigativa aspira a obtener las siguientes insignias y se expresan las razones con las que se soporta esta aspiración.

"**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 especificas 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 a lo con los datos, los hechos y las cifras aportadas, así como con la mirada sistémica del problema y el abordaje desde las mirada ambiental y social que hace la Unidad Investigadora.

"***I am Stem Story Teller***": se evidencia con la manera como se van relatando la cascada de evidencias (story maps), en el análisis de las pruebas aportadas, para demostrar la gravedad del problema de la falta de recirculación de la ciénaga y la importancia de abrirle nuevas bocas a la ciénaga al norte.

"***I am an Engineer***": a partir del análisis y las conexiones que se hacen de las causas y los efectos del problema en las variaciones del clima, así como la propuesta del abordaje de la Adaptación basada en Ecosistemas.

8. BIBLIOGRAFIA

Ahumada, D. 2017. **Fauna. En: Jardín Botánico Guillermo Piñeres. Guía de especies de flora y fauna de la Ciénaga de la Virgen, sector UCG6**.

Análisis Multivariado Aplicado al Estudio Ambiental con R-Studio y Software GIS. 2021. En Alpíncula, O. (Comp.). Hormart Studio. Recuperado el 17 de septiembre de 2022, de https://hotmart.com/es

ArcGIS Pro versión 2.9.3. 2021. ESRI, 2022

Bailey, S.-A., Horner-Devine, M. C., Luck, G., Moore, L. A., Carney, K. M., Anderson, S., Betrus, C., & Fleishman, E. (2004). **Primary productivity and species richness: relationships among functional guilds, residency groups and vagility classes at multiple spatial scales.** Ecography, 27(2), 207–217. https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2004.03631.x

Bula, J.D. et al. 2018. **Expedición BIO al ecotono Bosque Seco Bosque de Manglar; una mirada a los factores antrópicos a partir de fotografías áreas del uso del suelo, inventarios de las aves y testimonios ancestrales.** Biontessori. Encuentro Nacional Yo Amo La Ciencia 2018

Cambell, N.A, et al. 2004. Biology, concepts & connections. 5 ed. Pearson. San Francisco. 783 p.

Cifuentes-Sarmiento Yanira y L. F. Castillo Cortés. 2014-2021. Colombia: informe anual. Censo Neotropical de Aves Acuáticas 2013-2020. [en línea]. El Censo Neotropical de Aves Acuáticas 2013-2020. Wetlands International, Buenos Aires, Argentina http://lac.wetlands.org/.

Clements, J. F., T. S. Schulenberg, M. J. Iliff, S. M. Billerman, T. A. Fredericks, J. A. Gerbracht, D. Lepage, B. L. Sullivan, and C. L. Wood. 2021. The eBird/Clements checklist of birds of the world: v2021. Downloaded from https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/

Cole, E. F., Long, P. R., Zelazowski, P., Szulkin, M., & Sheldon, B. C. (2015). **Predicting bird phenology from space: satellite-derived vegetation green-up signal uncovers spatial variation in phenological synchrony between birds and their environment.** Ecology & Evolution (20457758), 5(21), 5057–5074. https://doi.org/10.1002/ece3.1745

Cornell Lab of Ornithology. Recuperado el 26 de octubre de 2021 desde https://www.birds.cornell.edu/home/

E-bird Colombia. Recuperado el 16 de octubre de 2021 desde https://ebird.org/colombia

Etter, A. et al (2017)**. Lista Roja de Ecosistemas de Colombia.** Pontificia Universidad Javeriana y Conservación Internacional. Bogotá DC

Ferrer-Sánchez, Y., Plasencia Vazquez, A. H., Abasolo-Pacheco, F., Denis Ávila, D., & Ruiz Companioni, I. (2017). **Pertinencia del uso de las características espectrales del hábitat como predictor de la estructura en comunidades de aves de un humedal de Cuba.** HUITZIL: Journal of Mexican Ornithology, 18(1), 141–156.

Gilabert, M.A., 1997. Acerca de los índices de Vegetación. Revista de Teledetección. No. 8, Diciembre de 1997.

Global Forest Watch. Recuperado el 26 de octubre de 2021 desde https://www.globalforestwatch.org/my-gfw/

Globe Program (2022). Recuperado el 17 de mayo de 2022 de https://globe.gov/

Guevara-Ochoa, C. et al. 2017. A methodology for the characterization of land use using medium-resolution spatial images . Una metodología para la caracterización del uso del suelo mediante imágenes de media resolución espacial. http:/dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.10.061

González Calvillo, A. 1983.Balances de calor y sal y circulación termohalina en la ensenada de La Paz, Baja California Sur. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. 107 pp.

Google Earth Pro. Recuperado el 26 de octubre de 2021 desde https://www.google.com/earth/versions/

Guevara-Ochoa, C. et al. 2017. A methodology for the characterization of land use using medium-resolution spatial images . Una metodología para la caracterización del uso del suelo mediante imágenes de media resolución espacial. http:/dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.10.061

Hanson, A & J. Kerekes. 2006 (Editors). **Limnology and Aquatic Birds Proceedings of the Fourth Conference Working Group on Aquatic Birds of Societas Internationalis Limnologiae (SIL), Sackville, New Brunswick, Canada, August 3–7, 2003**. Springer.

Helmer, E. H., Ruzycki, T. S., Wunderle, J. M., Vogesser, S., Ruefenacht, B., Kwit, C., Brandeis, T. J., & Ewert, D. N. (2010). **Mapping tropical dry forest height, foliage height profiles and disturbance type and age with a time series of cloud-cleared Landsat and ALI image mosaics to characterize avian habitat.** Remote Sensing of Environment, 114(11), 2457–2473. https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.05.021

Hernández, J et al. 2020. **Expedición Bio a dos humedales del Norte de Colombia: Ciénagas de la Virgen y Juan Polo, y el Totumo.** Grupo Biontessori. IVSS 2020: Virtual Science Report. Recuperado de Http:// http://globe.gov/

INaturalist. Recuperado el 26 de octubre de 2021 desde https://www.inaturalist.org/

Index Data Base. Recuperado el 16 de mayo de 2022 desde https://www.indexdatabase.de/

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (2022). Mapa de Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, versión 2.1 100 K 2001. Recuperado el 17 de mayo de 2022 de http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas

Instituto Humbolt Colombia. 2022. Recuperado el 12 de septiembre de 2022, en http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2017/cap2/204/#seccion1

López C. R., Sarmiento C., Espitia L., Barrero A.M., Consuegra C., Gallego C., B. 2016. **100 plantas del Caribe colombiano. Usar para conservar: aprendiendo de los habitantes del bosque seco.** Fondo Patrimonio Natural, Bogotá D.C. Colombia. 240 pp.

McCune, B. & Grace, J.B. (2002). Analysis of Ecological Communities. MjM Software design. Gleneden Beach, Oregon.

Mcfarland, T. M., Van Riper, C., & Johnson, G. E. (2012). Evaluation of NDVI to assess avian abundance and richness along the upper San Pedro River. Journal of Arid Environments, 77, 45–53. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.09.010

Minciencias. Tipología de Proyectos calificados como de carácter científico, tecnológico e innovación. Versión 5. Consejo Nacional de beneficios tributario en ciencia, tecnología e innovación.

Montero, J. 2011. Recuperado el 29 de octubre de 2021 desde https://jesusmsaiz.wordpress.com/2011/05/30/estudios-de-la-estructura-de-las-comunidades/?utm_source=pocket_mylist

Morgan, B. 2004. Guide to Birds. A Dorling Kindersley Book. Verona. Italy. 64 p.

Mourra, V. et al. 2014. Informe de Ejecución Bioconteo Ciénaga de la Virgen. Fundación Ecoprogreso.

Naichen, X. et al. 2020. **A Transformed Triangular Vegetation Index for Estimating Winter Wheat Leaf Area Index.** Remote Sens. **2020**, 12(1), 16; **https://doi.org/10.3390/rs12010016**

Planet. Recuperado el 26 de octubre de 2021 desde https://www.planet.com/

R studio. 2021.09.1 build 372. RStudio, PBC, all rights reserved. 2021

R version 4.1.2. The R Foundation for Statistical Computing Platform. 2021

Rouse, J.W. et al. 1973. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation. [Great Plains Corridor]. NASA. Public document, recuperado en https://ntrs.nasa.gov/citations/19730017588

Ruiz-Guerra, C. & Cifuentes-Samiento, Y. 2021. **Aves Acuáticas de Colombia.** Asociación Calidris.

Ruiz-Carlos y Cifuentes-Yanira, 2014-2021.

Rurangwa, M. L., Aguirre, G. J., Matthews, T. J., Niyigaba, P., Wayman, J. P., Tobias, J. A., Whittaker, R. J., & Benítez López, A. (2021). Effects of land‐use change on avian taxonomic, functional and phylogenetic diversity in a tropical montane rainforest. Diversity & Distributions, 27(9), 1732–1746. https://doi.org/10.1111/ddi.13364

Sánchez, M. et al, 2006. **Spatial and temporal fluctuations in presence and use of chironomid prey by shorebirds in the Odiel saltpans, south-west Spain.** Hydrobiology (2006) 567:329–340 Springer 2006 A.R. Hanson & J.J. Kerekes (eds), Limnology and Aquatic Birds DOI 10.1007/s10750-006-0060-0

Selwood, K. E., McGeoch, M. A., Clarke, R. H., & Mac Nally, R. (2018). **High‐productivity vegetation is important for lessening bird declines during prolonged drought.** Journal of Applied Ecology, 55(2), 641–650. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13052

Melles, S. Glenn, S. and Martin, K. (2003). Conservation Ecology: Urban bird diversity and landscape complexity: Species–environment associations along a multiscale habitat gradient. 2003. https://www.ecologyandsociety.org/vol7/iss1/art5/main.html (accessed Oct. 14, 2021).

Tesis y Masters Colombia. Recuperado el 12 de septiembre de 2022, en https://tesisymasters.com.co/tipos-de-investigacion/

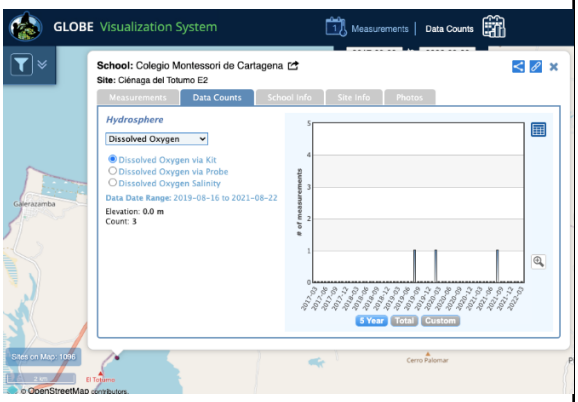
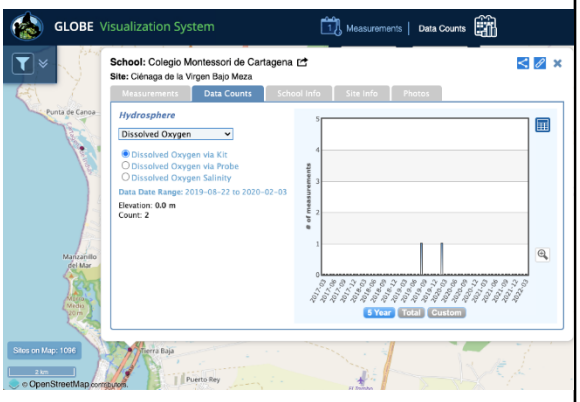
USGS Earth Explorer. Recuperado el 16 de mayo de 2022 de https://earthexplorer.usgs.gov/

9. ANEXOS

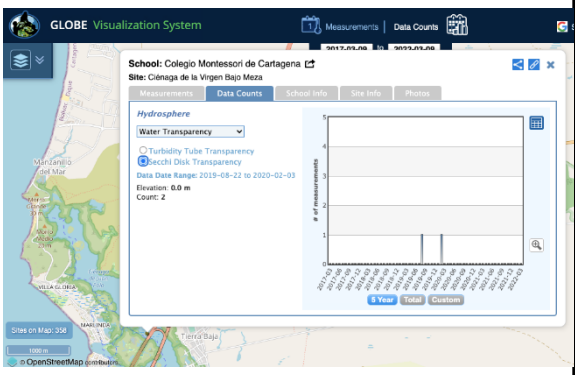
Anexo I

CAPTURAS DE PANTALLA VISUALIZACIÓN DE DATOS DE GLOBE

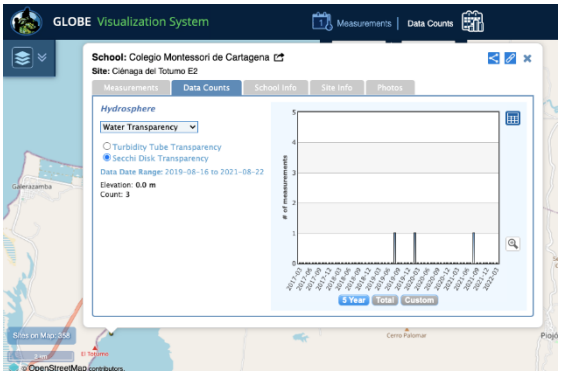
Ciénagas del Totumo (Imágenes 22, 25, 27 y 29) y Ciénagas de la Virgen y Juan Polo (Imágenes 23, 24, 26 y 28)

22	23
	

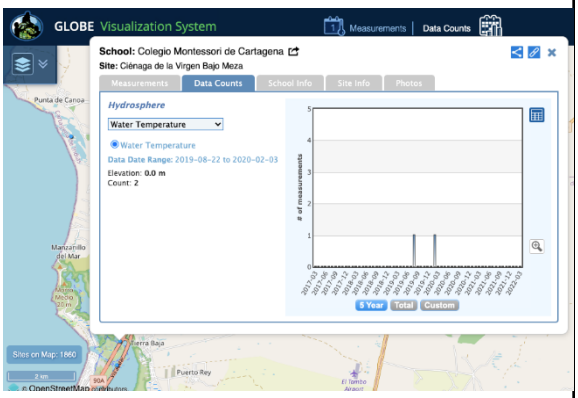
24



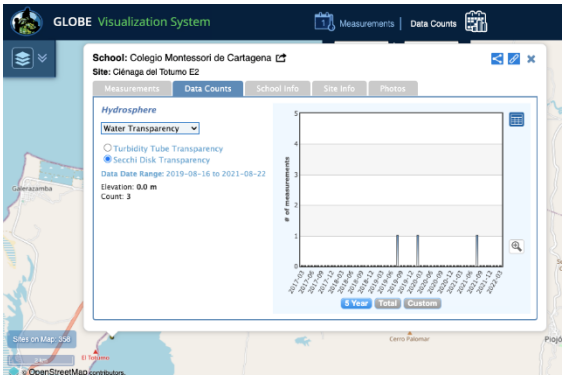
25



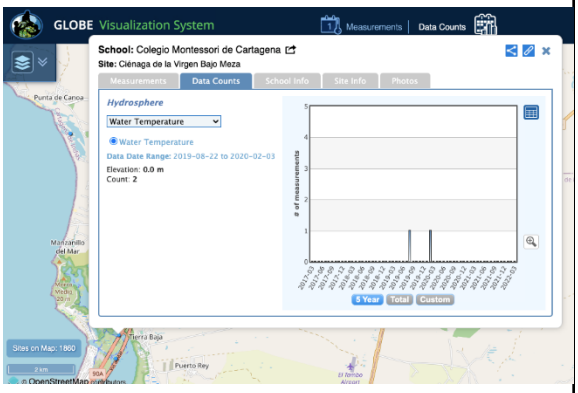
26



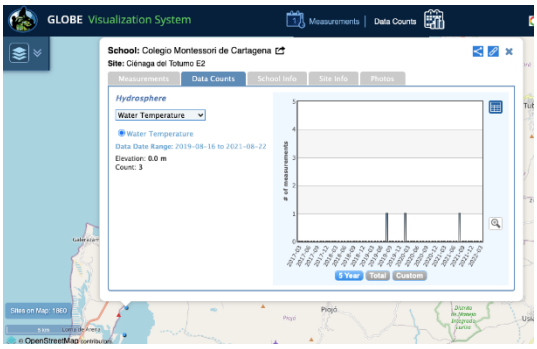
27

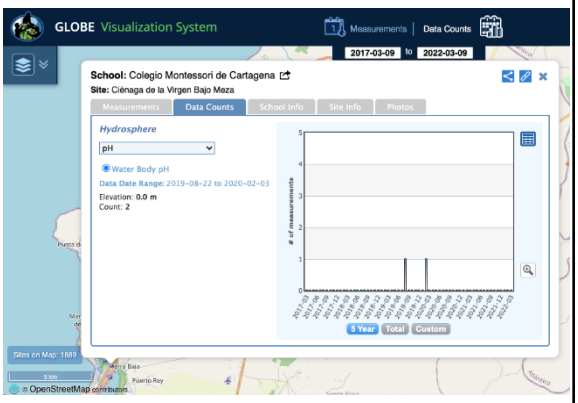
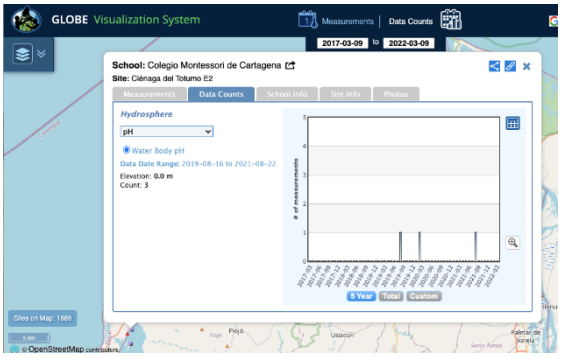


28



29



30	31
	

Anexo II

Copia del correo remitido por la Ornitóloga Yanira Cifuentes Sarmiento de la Asociación Calidris, autorizando el uso de los datos del CNAA a esta Unidad Investigativa

Yanira Cifuentes-S <ycifuentes@calidris.org.co> sáb, 28 ago 16:20

para mí, Kathy

Buena tarde a ambos
Que pena la demora, como les comenté estoy en campo y ahora resfriada 😠. Anexo envió la base de datos de las especies de aves acuáticas registradas en el marco del CNAA de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, observaciones realizadas entre 2013 y 2020.
Por favor tener en cuenta los términos de uso plasmados en el documento firmado y en el caso de utilizar los datos en publicaciones, sean divulgativas o científicas, incluir la cita del CNAA, dependiendo de los datos usados por año, es decir, si utilizas los datos de 2013 la cita sería:
Cifuentes-Sarmiento Yanira y L. F. Castillo Cortés. 2014. Colombia: informe anual. Censo Neotropical de Aves Acuáticas 2014. [en línea]. El Censo Neotropical de Aves Acuáticas 2013. Wetlands International, Buenos Aires, Argentina http://lac.wetlands.org/.
Por favor me confirman recepción del archivo
Feliz tarde

Yanira Cifuentes-Sarmiento, MSc.
Coordinador Nacional del Censo Neotropical de Aves Acuáticas-CNAA
Programa AICA-Colombia.
Asociación para el estudio y conservación de las aves acuáticas en Colombia
CALIDRIS.

Anexo III

Tablas y Gráficos

TABLA 1
Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada - NDVI y de Vegetación Triangular Modificado, para la Ciénaga de la Virgen, Período 2013-2021

AÑO	NDVI_TERRA	NDVI_AQUA	NDVI_TOTAL	MTVI2_TERRA	MTVI2_AQUA	MTVI2_TOTAL
2013	0,39804372	-0,015827463	0,197346166	3,9143E-05	2,21628E-06	3,6761E-05
2014	0,341094111	-0,056693261	0,148092714	1,82352E-05	1,50356E-05	1,98696E-05
2015	0,288110657	-0,004131478	0,145094135	1,50057E-05	1,24349E-05	1,52384E-05
2016	0,374053768	-0,041103556	0,172355364	1,82243E-05	1,5273E-05	1,98597E-05
2017	0,335124419	-0,037348438	0,154155669	1,82622E-05	1,34146E-05	1,91254E-05
2018	0,329075032	-0,012397442	0,162516089	1,91022E-05	1,67604E-05	2,02228E-05
2019	0,289808929	-0,000406296	0,150471916	1,86122E-05	9,3849E-06	1,66459E-05
2020	0,290639989	-0,001917999	0,14664194	1,84536E-05	1,40334E-05	1,81575E-05
2021	0,316023086	-0,021838944	0,146363319	1,80456E-05	1,51599E-05	1,88106E-05

Fuente: los datos fueron calculados a partir de imágenes Landsat 8, alojadas en la página de Servicio de Geología de los Estados Unidos – USGS Earth Explorer.

TABLA 2

Parámetros Fisicoquímicos del agua: Clorofila, Conductividad, Oxígeno Disuelto, pH, Salinidad y Sólidos Disueltos Totales S.S.T. Ciénaga de Virgen. Período 2013-2021.

AÑO	CLOROFILA	CONDUCTIVIDAD	OXIGENO DISUELTO	PH	SALINIDAD	SST
2013	28,12	31,60	7,95	8,41	20,37	**44,00**
2014	16,04	42,07	8,42	8,38	27,30	**23,75**
2015	12,45	51,30	7,81	8,43	33,67	**74,47**
2016	7,52	61,20	9,31	8,52	35,40	**31,00**
2017	18,09	31,54	7,74	8,22	20,02	**25,48**
2018	62,85	42,75	7,15	8,41	27,71	**68,15**
2019	NA	45,55	8,02	8,56	29,48	**63,66**
2020	NA	NA	NA	NA	Na	**Na**
2021	804,00	NA	NA	8,48	NA	**56,67**

Fuente: Laboratorio de Química de la Corporación Autónoma Regional del Dique CARDIQUE. Estación #8. Derechos de autor reservados 2021, CARDIQUE. Adaptados con autorización del autor.

TABLA 3

Índices de Diversidades: MARGTODAS y SHANTODAS, Índices de diversidad de Margalef y Shannon de toda la comunidad de aves. MARGLIM y MARGVAD, índices de diversidad de Margalef para los grupos de Limícolas y Vadeadoras respectivamente. Período 2013-2021.

AÑO	MARGTODAS	SHANTODAS	MARGLIM	MARGVAD
2013	4,81	3,38	2,52	1,72
2014	5,18	3,99	2,22	1,52
2015	4,5	3,77	1,2	1,77
2016	5,8	3,93	2,76	2,1
2017	6,44	3,89	2,46	2,31
2018	5,14	3,9	1,39	1,67
2019	5,29	3,89	2,26	1,84
2020	4,34	3,69	1,61	2,06
2021	5,85	2,98	2,22	1,8
Promedio	5,26	3,71	2,07	1,87
Desv Std	0,68	0,33	0,54	0,25

Fuente: Elaboración propia; fuente de datos: Asociación Calidris, y Datos tomados por el grupo en el censo de septiembre de 2021

Tabla 4

Análisis de Distancia: aplicación del índice de Bray Curtis de disimilitud entre todos los años de la serie, para los datos de especies de limícolas y vadeadoras por año.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
2014	0,6765499							
2015	0,6217949	0,3333333						
2016	0,6610644	0,5136418	0,5331633					
2017	0,7892216	0,6161826	0,6309392	0,3680184				
2018	0,7524752	0,4371482	0,5105485	0,6050228	0,6930792			
2019	0,7675351	0,6379769	0,6629213	0,2761905	0,2998114	0,6344828		
2020	0,8405316	0,5567715	0,5625	0,4264432	0,4493724	0,5340314	0,4167894	
2021	0,6862745	0,6773428	0,6428571	0,3642496	0,3420046	0,6050228	0,2816327	0,396648

Fuente: Elaboración propia; fuente de datos: Asociación Calidris, y Datos tomados por el grupo en el censo de septiembre de 2021

Tabla 5

Análisis de Distancia: aplicación del índice de Jaccard (Presencia y Ausencia) de disimilitud entre todos los años de la serie, para los datos de especies de limícolas y vadeadoras por año.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
2014	0,807074							
2015	0,7667984	0,5						
2016	0,7959528	0,6786834	0,6955075					
2017	0,8821954	0,762516	0,7737127	0,5380313				
2018	0,8587571	0,6083551	0,6759777	0,7539118	0,8187204			
2019	0,8684807	0,7789816	0,7972973	0,4328358	0,4613153	0,7763713		
2020	0,9133574	0,71529	0,72	0,5979112	0,6200924	0,6962457	0,5883576	
2021	0,8139535	0,8076379	0,7826087	0,5339926	0,5096921	0,7539118	0,4394904	0,568

Fuente: Elaboración propia; fuente de datos: Asociación Calidris, y Datos tomados por el grupo en el censo de septiembre de 2021

Tabla 6

Pluviosidad total diaria acumulada para la ciudad de Cartagena de Indias (Serie 2013-2020)

.

Año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	Total
2013	62,3	46,1	327,9	0,3	65,7	59,3	52	55,5	81,8	99,2	136,4	201,5	1188
2014	415,5	54,6	0,3	0,7	7,8	19,1	147,4	230,2	4,2	0	0	0	879,8
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	0	0	0	996,5	3189	2737,8	6452,6	4186,2	18,5	12,7	0,1	0	17593,4
2017	514,3	146	10,4	119,6	28	240,2	357,1	231,2	225,3	465,1	427,8	309,3	3074,3
2018	10,7	0,2	4,8	20,3	226,6	259,4	23,8	11,6	43,6	5	1,5	2,1	609,6
2019	0	0	0	0	0,4	3,4	2,8	7,8	0	0	0	0,2	14,6
2020	1,7	0	0	0	43,1	14,9	4,5	22,3	1,3	0	0,1	0	87,9

Fuente: Elaboración propia; fuente de datos: CIDEAM, estación Escuela Naval de Cadetes

TABLA 7

Resumen de datos de las Comunidades de Aves observadas en la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo (período 2013-2021)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Prom	Desv Estándar

Individuos	181,00	329,00	324,00	981,00	1085,00	417,00	898,00	798,00	59,00	651,71	385,58
Especies	25,00	21,00	21,00	31,00	27,00	27,00	26,00	22,00	22,00	25,14	3,63
Índice de Margalef	4,81	5,18	4,50	5,81	6,44	5,14	5,29	4,34	5,85	5,34	0,76
Índice de Shannon	3,38	3,99	3,77	3,93	3,89	3,90	3,89	3,69	2,98	3,72	0,34

Fuente: Datos Censo Neotropical de Aves Acuáticas, Elaboración Propia

TABLA 10

Índice de Correlación de Pearson entre los índices de diversidad y los NDVI y MTVI2.

PEARSON	NDVI_TERRA	NDVIA_QUA	NDVI_TOTAL	MTVI2_TERRA	MTVI2:AQUA	MTVI2_TOTAL
MARGTODAS	0,273403507	-0,568442256	-0,01149075	-0,189668839	0,273991579	-0,121594563
SHANTODAS	-0,075169088	-0,238989933	-0,128332511	-0,359306377	0,268007243	-0,342800165
MARGLIM	0,661609518	-0,570750417	0,46694423	0,373433131	-0,297328834	0,406735565
MARGVAD	-0,035163169	-0,011670904	-0,045746947	-0,202796208	0,120663825	-0,209668317

MARGTODAS = Índice de Margalef de todos los grupos funcionales de la comunidad de aves, SHANTODAS = Índice de Shannon de todos los grupos funcionales. MARGLIM = Índice de Margalef de las especies limícolas, SHANVAD = Índice de Margalef de las especies Vadeadoras. NDVI = Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, MTVI2 = Índice de Vegetación de Diferencia Triangular Modificado. AQUA = cuadrantes sobre el agua, TERRA = cuadrantes en tierra, TOTAL = tanto cuadrantes sobre el agua, como en tierra.

Tabla 11

Análisis de Coordenada Principales

Serie 2013-2019	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
	MARGLIM	NDVITerra	Oxígeno Disuelto	Salinidad
Eugene Value	2,15120598	1,45104978	0,361015	0,03672924
Desviación Estándar	1,466699	1,2045953	0,60084524	0,191648749
Proporción de la Varianza	0,5378015	0,3627624	0,09025375	0,009182311
Proporción Acumulada	0,5378015	0,9005639	0,99081769	1

Análisis estadísticos utilizando el programa R y RStudio, versiones 4.1.2. y 2021.09.1

Figuras

Gráfico de las especies Limícolas y su abundancia. Ciénaga de la Virgen y Juan Polo (Período 2013-2021)

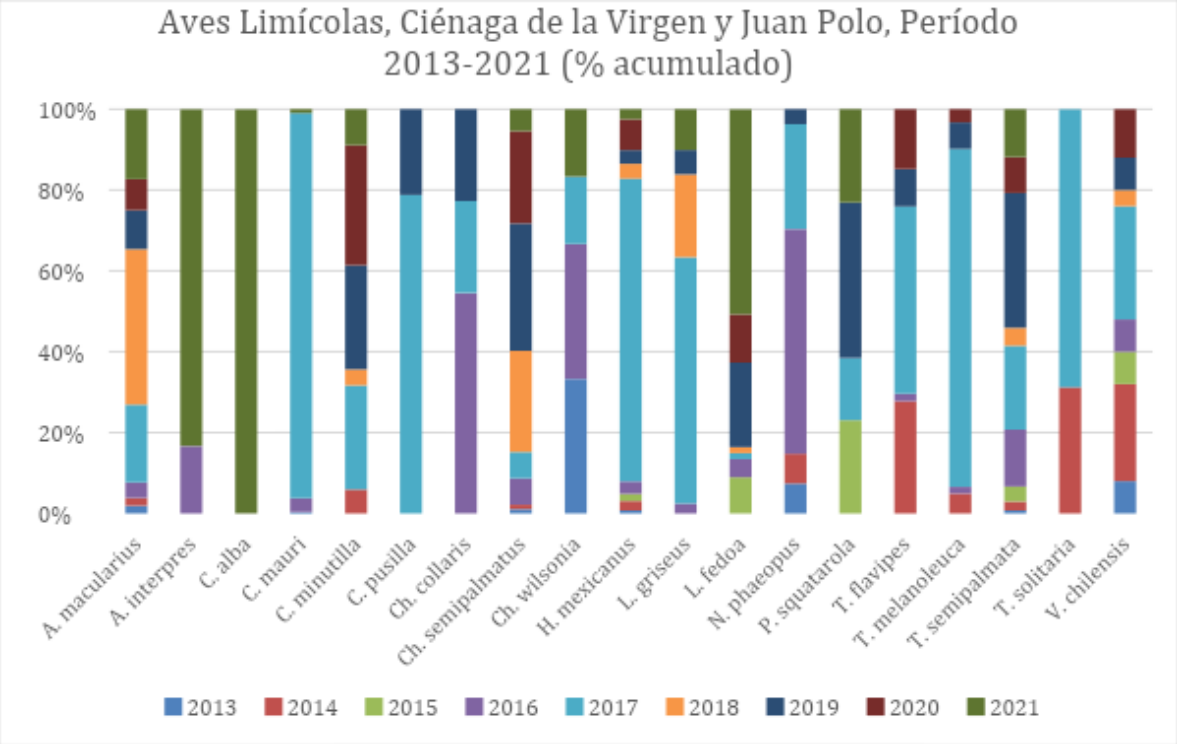


FIGURA 1
Especies de Aves Limícolas registradas en la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, durante el Período 2013-2021.
Fuente: Elaboración propia; fuente de datos: Asociación Calidris, y Datos tomados por el grupo en el censo de septiembre de 2021

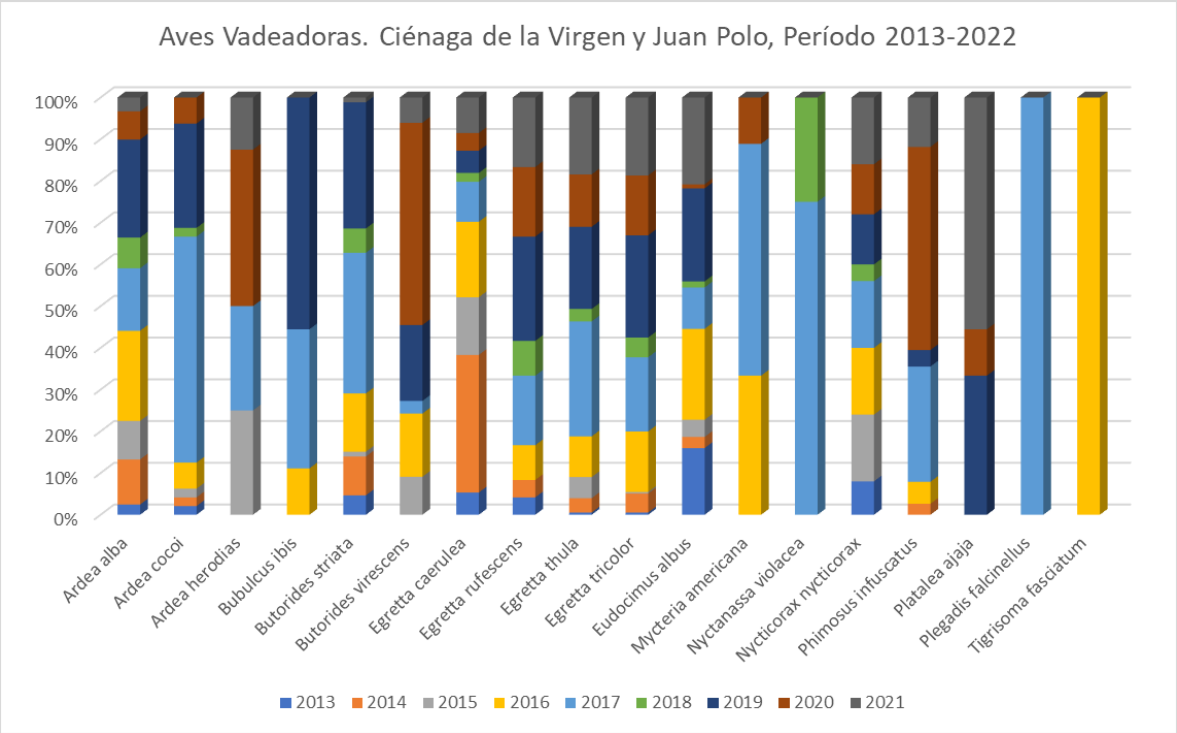


FIGURA 2
Especies de Aves Vadeadoras registradas en la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, durante el Período 2013-2021.
Fuente: Elaboración propia; fuente de datos: Asociación Calidris, y Datos tomados por el grupo en el censo de septiembre de 2021

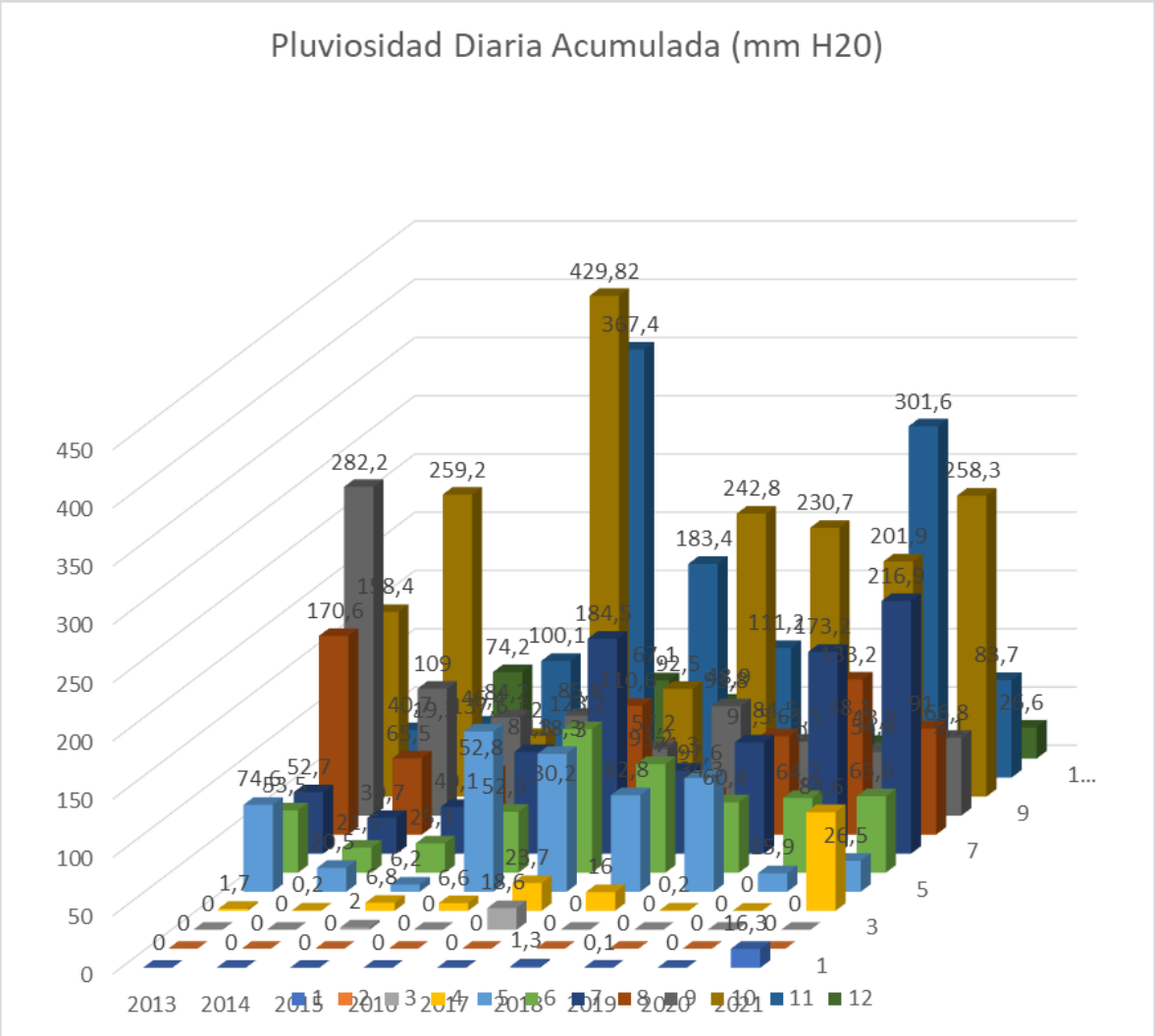


FIGURA 3

Pluviosidad total diaria acumulada para la ciudad de Cartagena de Indias (Serie 2013-2020)

Fuente: Elaboración propia; fuente de datos: CIDEAM, estación Escuela Naval de Cadetes.

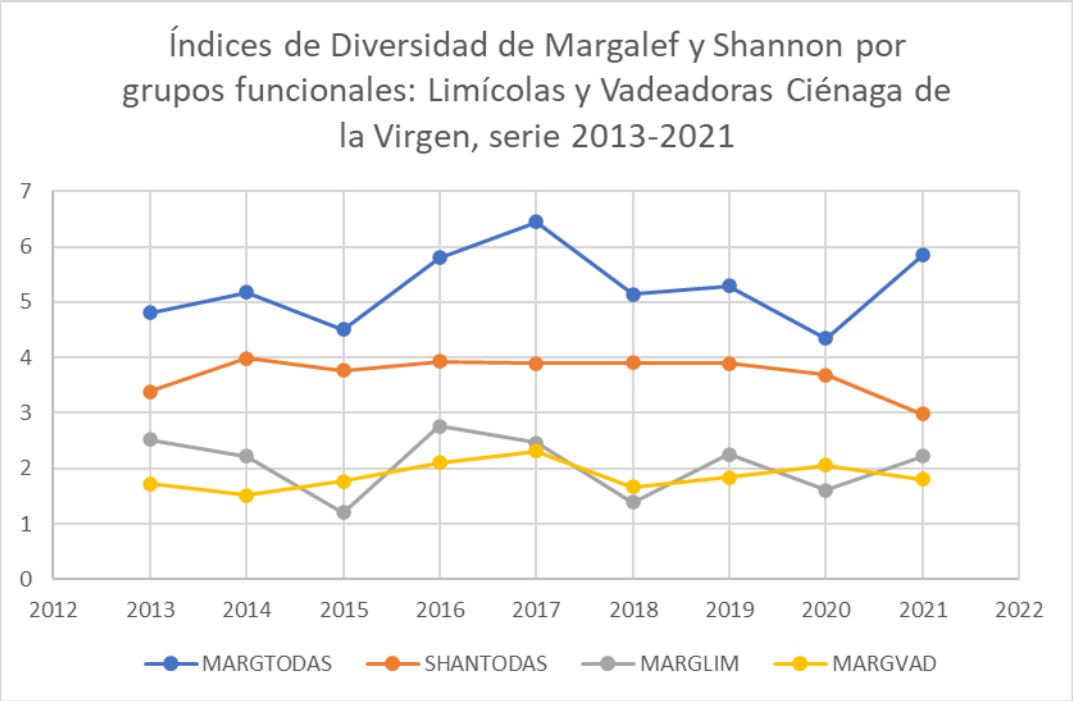


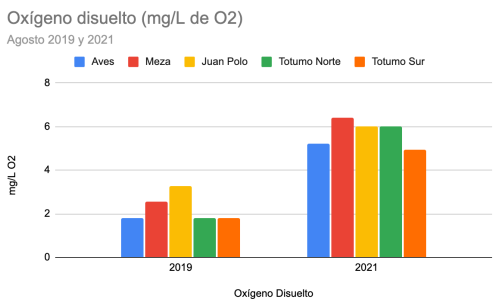
FIGURA 4

Índices de Diversidad de Margalef y Shannon, para todos los grupos y para los grupos funcionales de Vadeadoras y Limícolas, Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, Serie 2013-2021

Fuente: Elaboración propia; fuente de datos: Asociación Calidris, y Datos tomados por el grupo en el censo de septiembre de 2021

Figuras 5 a 9
Parámetros Fisicoquímicos tomados en las salidas de agosto de 2019 y 2021 a las Ciénagas de la Virgen y el Totumo (Control).

FIGURA 5	**FIGURA 6**
Oxígeno Disuelto (mg/L O_2)	Salinidad (ppt)
Fuente: Elaboración propia	Fuente: Elaboración propia



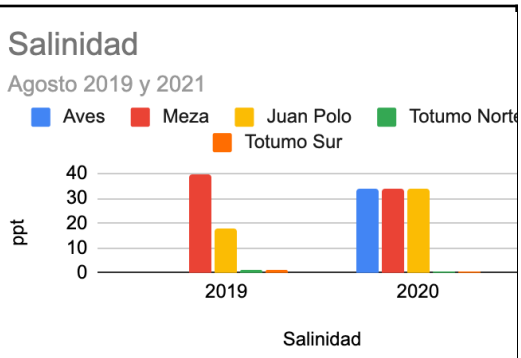


FIGURA 7

Transparencia (cm)

Fuente: Elaboración propia

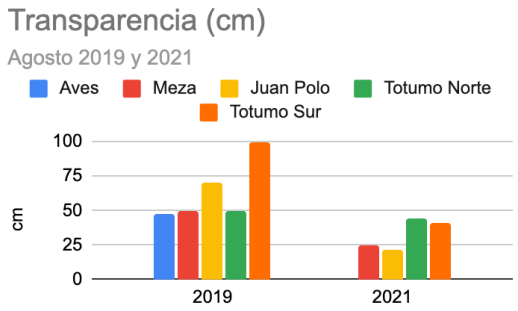


FIGURA 8

pH

Fuente: Elaboración propia

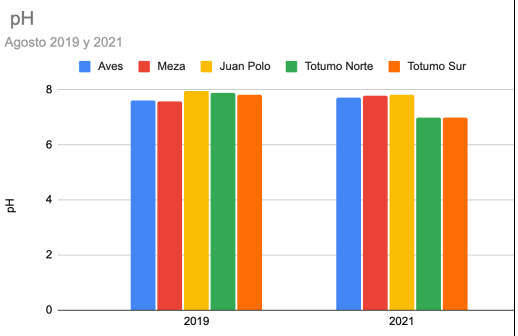


FIGURA 9

Temperatura del Agua (grados Celsius)

Fuente: Elaboración propia

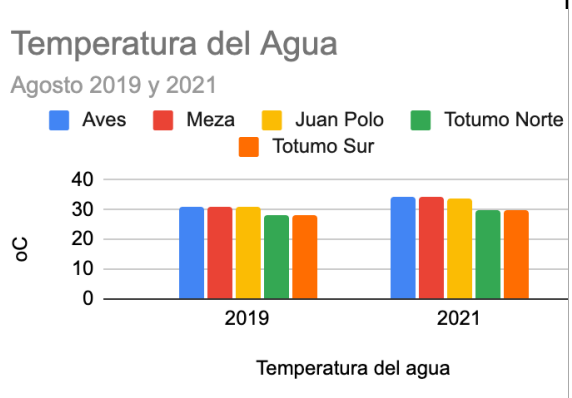


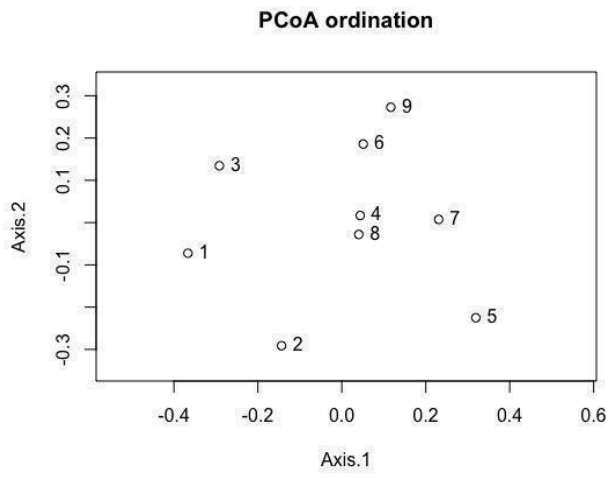
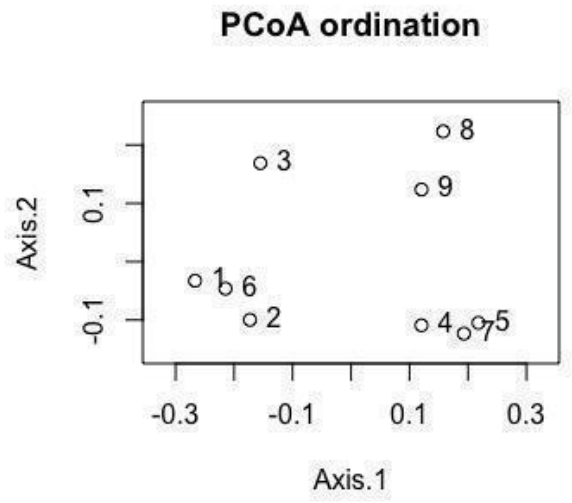
FIGURA 10 Plot de Componentes Principales. Basado en las especies Limícola observadas en la zona de estudio, para los años de la serie 2013-2021. 1 corresponde al año 2013, y así sucesivamente. Análisis estadísticos utilizando el programa R y RStudio, versiones 4.1.2. y 2021.09.1,	
FIGURA 11 Plot de Componentes Principales. Basado en las especies Vadeadoras observadas en la zona de estudio, para los años de la serie 2013-2021. 1 corresponde al año 2013, y así sucesivamente. Análisis estadísticos utilizando el programa R y RStudio, versiones 4.1.2. y 2021.09.1,	

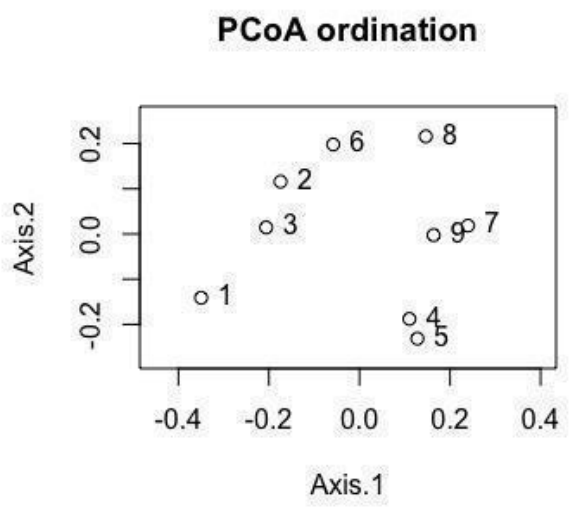
FIGURA 12 Plot de Componentes Principales. Basado en las especies Limícola & Vadeadoras observadas en la zona de estudio, para los años de la serie 2013-2021. 1 corresponde al año 2013, y así sucesivamente. Análisis estadísticos utilizando el programa R y RStudio, versiones 4.1.2. y 2021.09.1,	

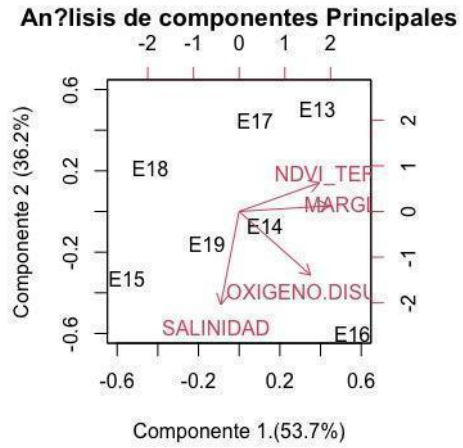
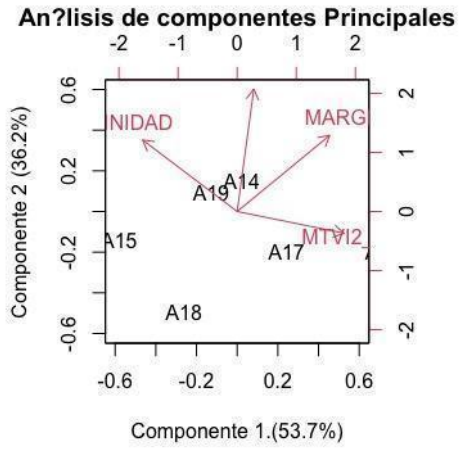
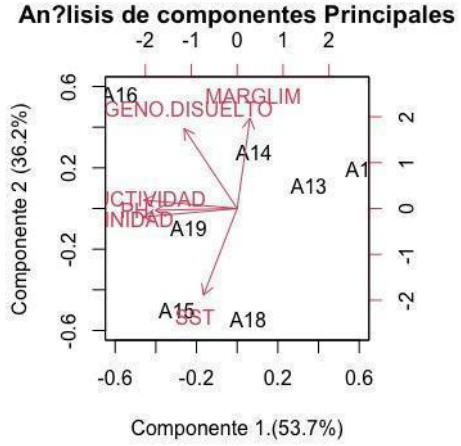
FIGURA 13 Plot de Coordenadas Principales. Las variables analizadas son Diversidad de Margalef de las aves limícolas, el NDVI Terrestre, el Oxígeno Disuelto y la Salinidad, para la serie 2013-2019. Análisis estadísticos utilizando el programa R y R Studio, versiones 4.1.2. y 2021.09.1,	

FIGURA 14 Plot de Coordenadas Principales. Las variables analizadas son Diversidad de Margalef de las aves limícolas, el MTVI2 Total, el Oxígeno Disuelto y la Salinidad, para la serie 2013-2019. Análisis estadísticos utilizando el programa R y R Studio, versiones 4.1.2. y 2021.09.1,	
FIGURA 15 Plot de Coordenadas Principales. Las variables analizadas son Diversidad de Margalef de las aves limícolas, el Oxígeno Disuelto, el pH, la alcalinidad, y los sólidos disueltos totales, para la serie 2013-2019. Análisis estadísticos utilizando el programa R y R Studio, versiones 4.1.2. y 2021.09.1,	

Anexo IV

Imágenes

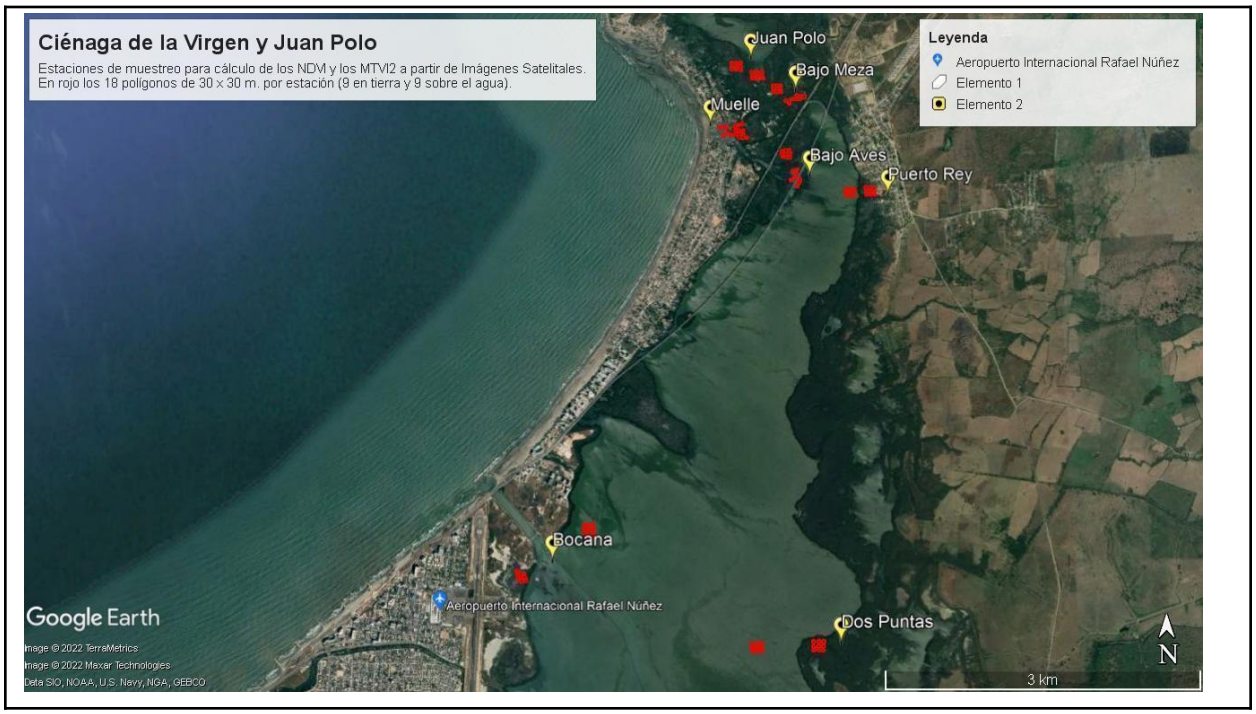


IMAGEN 3

Vista en colores reales de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, con las seis estaciones y los 18 polígonos de 30 x 30 por estación. Adaptado de: Zona Norte de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, de Google Earth Pro. Todos los derechos reservados 2021 por Google. Adaptado con permiso del autor.

IMAGEN 4
Vista en colores reales de la Ciénaga del Totumo, con las dos estaciones y los 18 polígonos de 30 x 30 por estación. Adaptado de: Ciénaga del Totumo, de Google Earth Pro. Todos los derechos reservados 2021 por Google. Adaptado con permiso del autor.

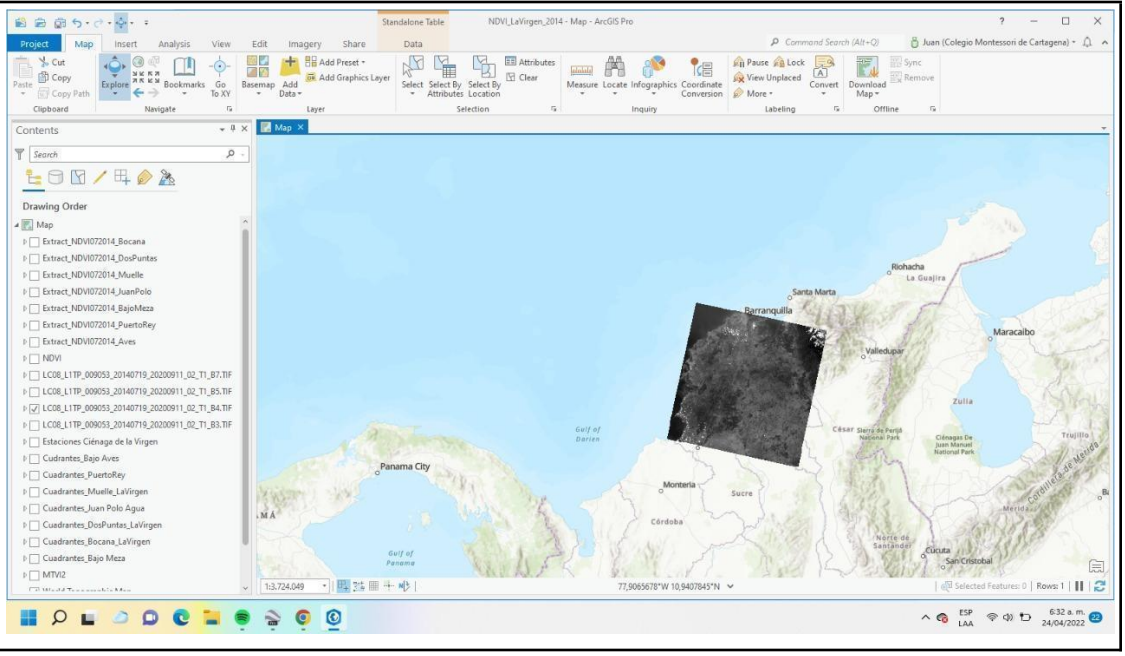


IMAGEN 5
Imagen satelital incorporada al proyecto. Adaptado de: Zona Caribe colombiana, ArcGIS Pro Desktop. Todos los derechos reservados 2021 por ESRI. Adaptado con permiso del autor.

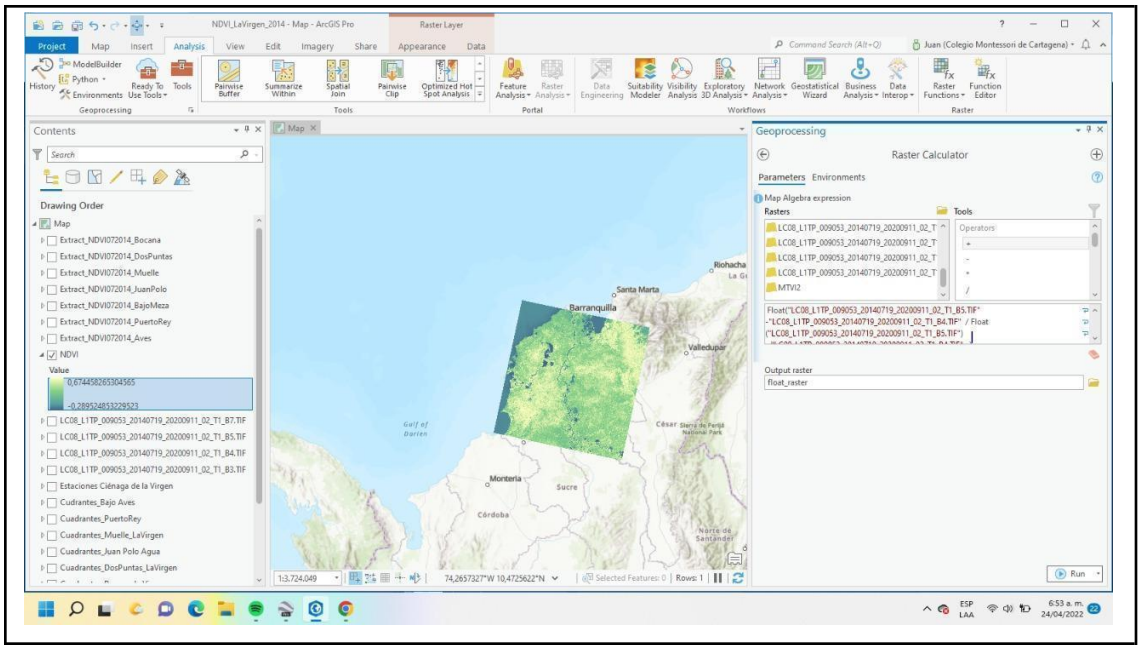


IMAGEN 6
Nuevo Raster con el NDVI calculado. Adaptado de: Zona Caribe colombiana, ArcGIS Pro Desktop. Todos los derechos reservados 2021 por ESRI. Adaptado con permiso del autor..

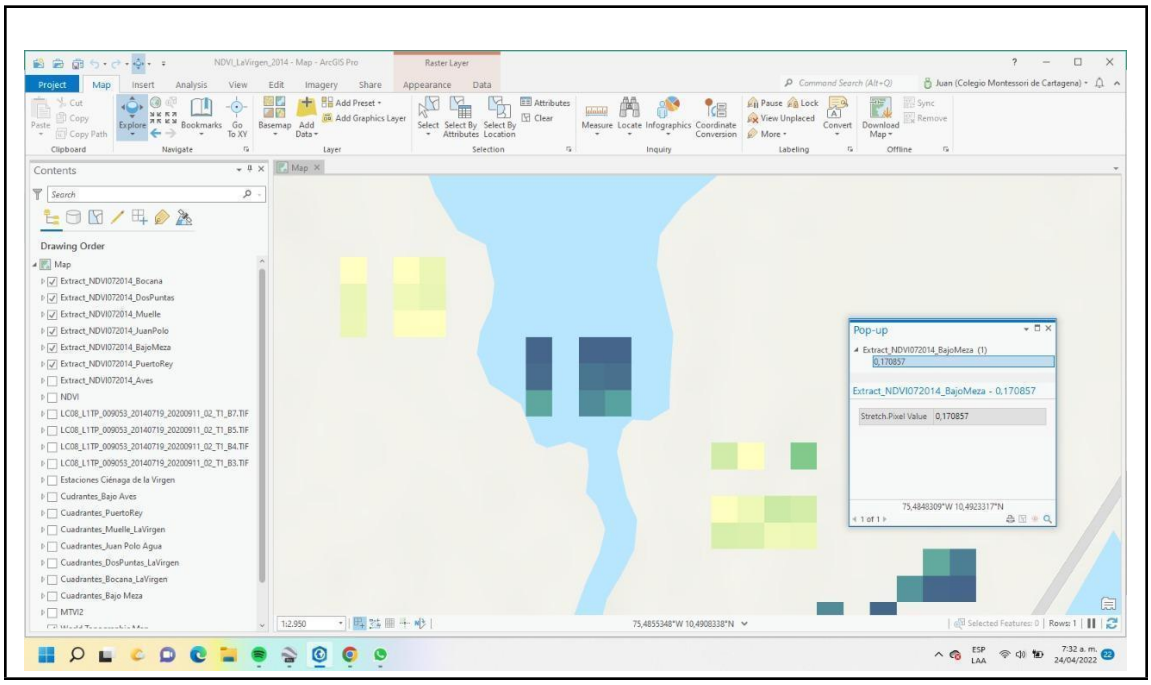


IMAGEN 7
Valores individuales del NDVI por cuadrante de 30 x 30 m (pixel). Adaptado de: Zona Caribe colombiana, ArcGIS Pro Desktop. Todos los derechos reservados 2021 por ESRI. Adaptado con permiso del autor.

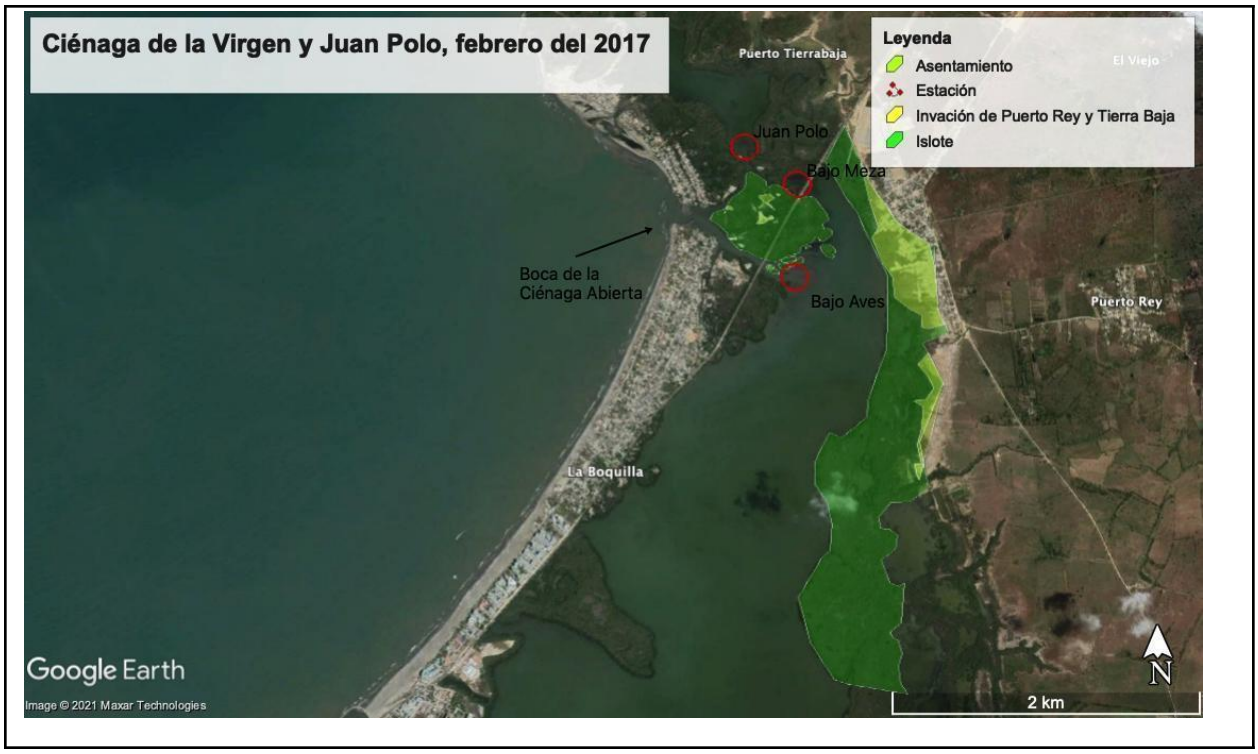


IMAGEN 8
Vista en colores reales de las zonas deforestadas (amarillo), al Norte de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, de febrero de 2017.
Adaptado de: Zona Norte de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, de Google Earth Pro. Todos los derechos reservados 2021 por Google. Adaptado con permiso del autor

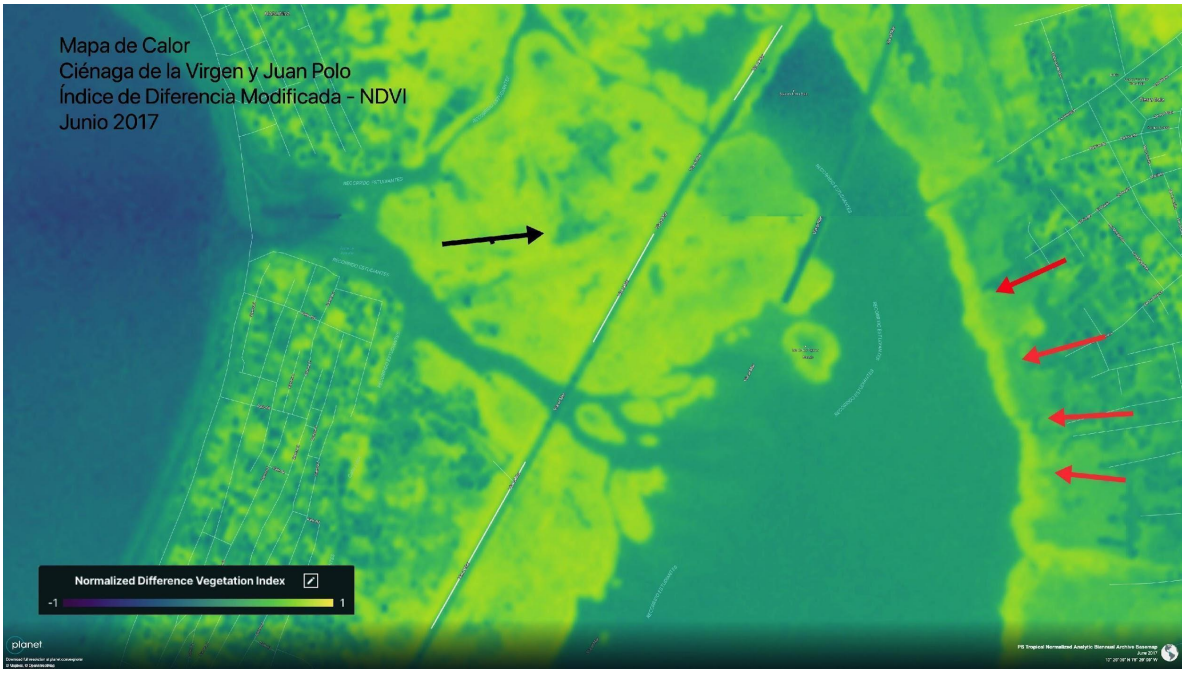


IMAGEN 10

Mapa de calor del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada -NDVI de la zona Norte de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, correspondiente al mes de junio de 2017.

Adaptado de: Zona Norte de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, de Planet.com Todos los derechos reservados 2021 por Planet.com. La Fecha en negro muestra zonas deforestadas. Las flechas en rojo indican el área de ocupación ilegal y la franja remanente de bosque de manglar. Adaptado con permiso del autor.

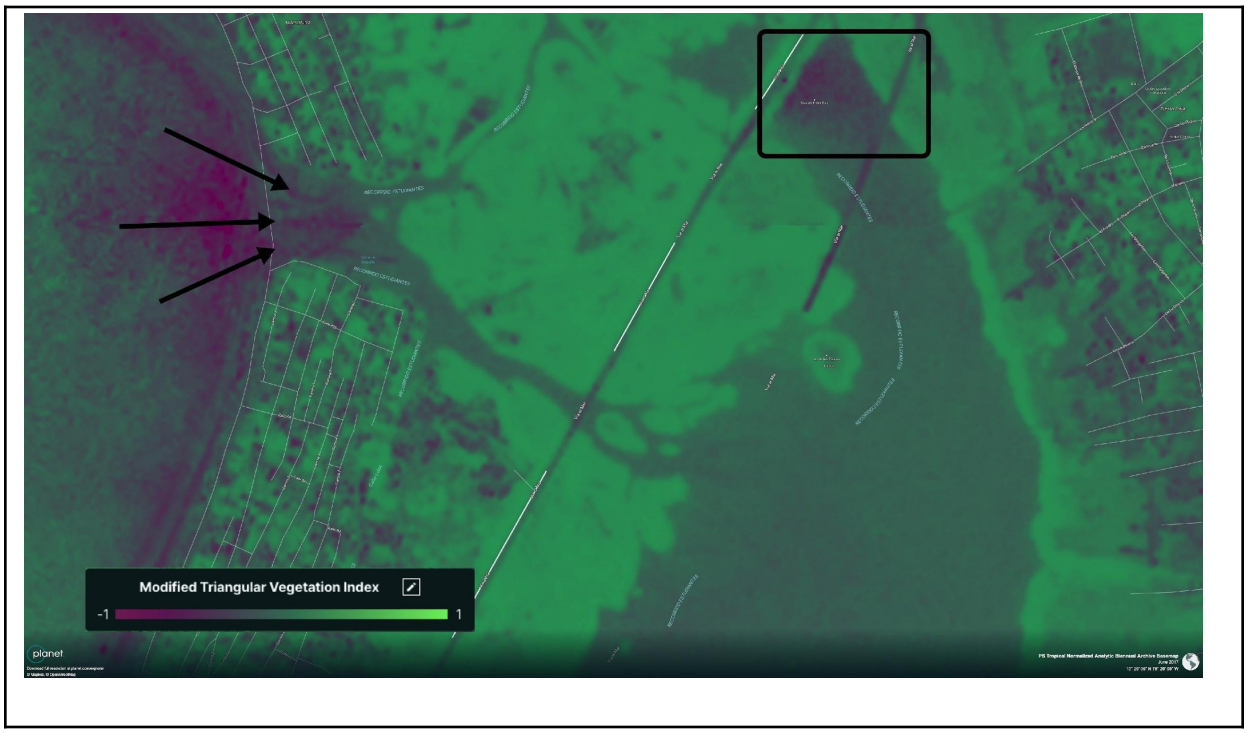


IMAGEN 11

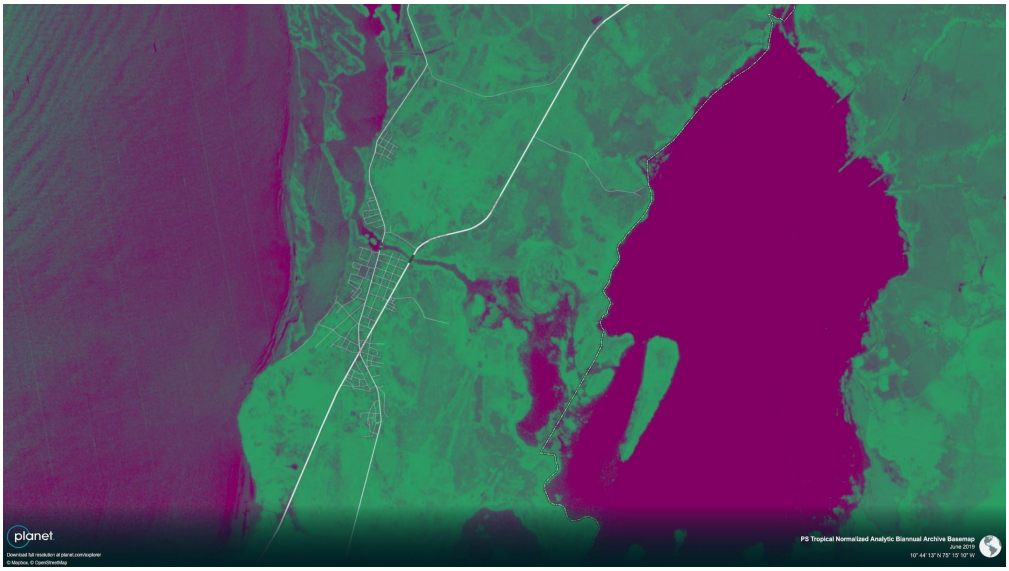
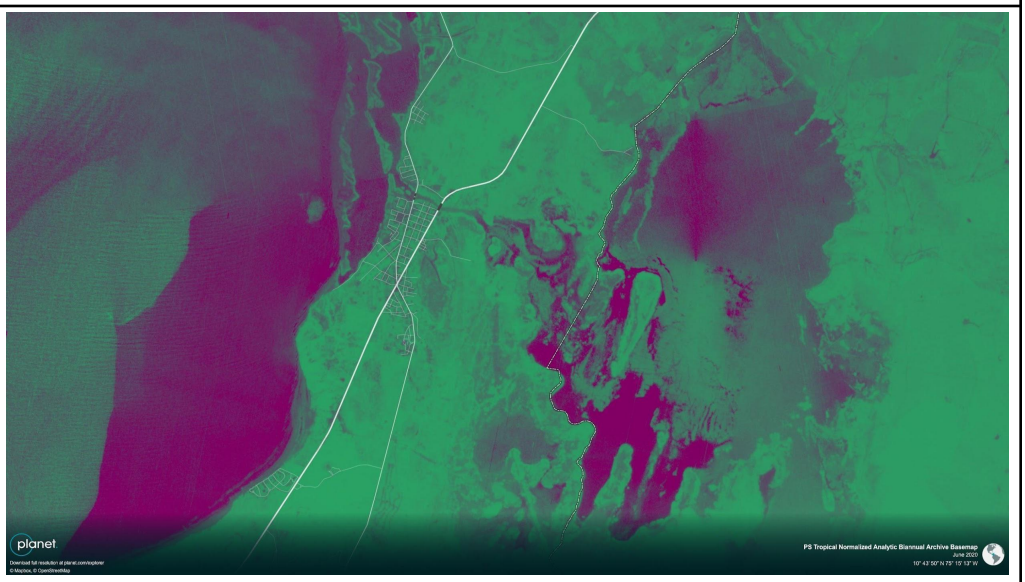
Mapa de calor del Índice de Vegetación Triangular Modificado -MTVI2 de la zona Norte de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, correspondiente al mes de junio de 2017. Las Flechas en negro muestran la boca natural abierta y el flujo de agua ingresando a la Ciénaga. El recuadro muestra una zona de baja productividad al noroeste, producto de una corriente residual, o bien a la escasa recirculación del agua.

Adaptado de: Zona Norte de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, de Planet.com Todos los derechos reservados 2021 por Planet.com. Adaptado con permiso del autor.

IMAGEN 12
Mapa en el Infrarrojo Cercano de la zona Norte de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, correspondiente al mes de junio de 2018. En el recuadro se puede ver la barra de arena que cierra la boca natural. as fechas muestran zonas de deforestación usadas como sabaleras.
Adaptado de: Zona Norte de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, de Planet.com Todos los derechos reservados 2021 por Planet.com. Adaptado con permiso del autor.

IMAGENES 13 y 14

Mapas de calor del MTVI2 de la Ciénaga del Totumo, serie junio 2019-2020.
Adaptado de: Ciénaga del Totumo, de Planet.org. En este par de imágenes se aprecia un incremento en la productividad primaria (color verde), debido posiblemente a una descarga de materia orgánica: fertilizantes de fincas aledañas a la ciénaga. Todos los derechos reservados 2021 por Planet. Adaptado con permiso del autor.

IMAGEN 13 Junio de 2019	
IMAGEN 14 Junio de 2020	

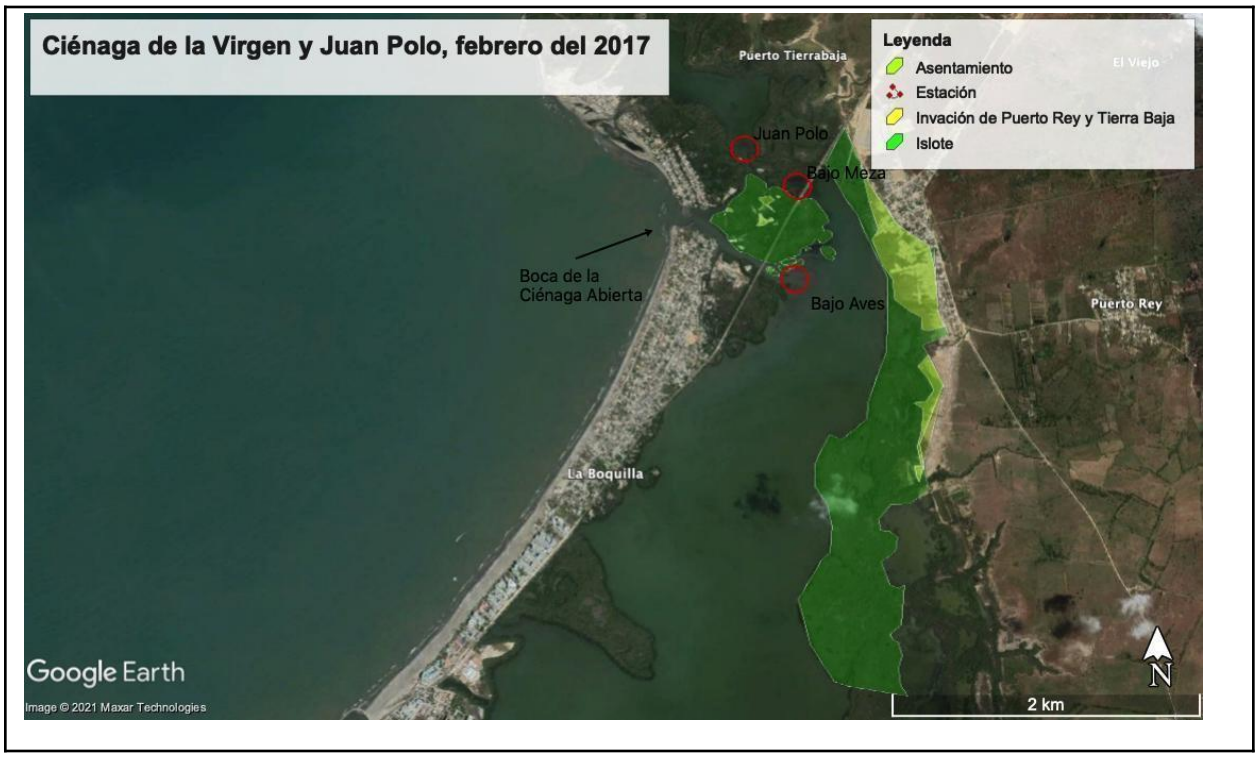


IMAGEN 8
Vista en colores reales de las zonas deforestadas (amarillo), al Norte de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, de febrero de 2017.
Adaptado de: Zona Norte de la Ciénaga de la Virgen y Juan Polo, de Google Earth Pro. Todos los derechos reservados 2021 por Google. Adaptado con permiso del autor.

IMAGEN 16

Captura de Pantalla del Video del Conversatorio “Los humedales a vuelo de pájaro: un diálogo entre niños y jóvenes sobre el cuidado de las aves y los ecosistemas”. En el marco

del VI Festiva de las Aves Migratorias. Intervención de los estudiantes Diego Luna (8), Ana Vergara (8) y Gabriela Ariza (11) como moderadora del evento.

Adaptado de: Facebook Fan Page de la Asociación Calidris. Recuperado el 27 de octubre de 2021 desde https://www.facebook.com/AsoCalidris/videos/546046739719746

IMAGEN 17

Captura de Pantalla Video del VI Encuentro de Jóvenes Comprometidos con el Medio Ambiente. Intervención de los estudiantes Diego Luna (8), Jaime Pinto (11), Lito D. Porto (9) y Jimena Sánchez (9). Adaptado de: YouTube de la Fundación Solydeus. Recuperado el 29 de octubre de 2021 desde https://www.youtube.com/watch?v=Ad_INH2bfQo

IMÁGEN 18

Visita del Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación, Dr. Arturo Luna, al colegio Montessori, el pasado 17 de febrero de 2023. Estudiantes y maestros co-investigadores con el Ministro.

IMAGEN 19

Visita del Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación, Dr. Arturo Luna, al colegio Montessori, el pasado 17 de febrero de 2023. El estudiante investigador del grupo Biontessori Lito Daniel Porto, socializando al Ministro y demás asistentes, el presente proyecto de investigación.

IMAGEN 20

Sabalera al norte de la Ciénaga de la Virgen.

Adaptada de: Mourra, V. et al. 2014. Informe de Ejecución Bioconteo Ciénaga de la Virgen. Fundación Ecoprogreso. Todos los derechos reservados.

IMAGEN 21

Tala de bosque en inmediaciones de Tierra Baja. Fuente: Juan Restrepo CC, BY-NC