

Análisis multitemporal del espejo de agua del humedal El Castillo, municipio de Barrancabermeja, Santander, Colombia

Multitemporal analysis of the water surface wetland El Castillo, municipality of Barrancabermeja, Santander, Colombia

Meza Naranjo Carlos¹, Corredor Barrios Fernando², Mendez Medina Johanna³, Lobo Vesga Hevertson⁴.

Resumen

El humedal El Castillo ubicado en las comunas 1 y 4 del municipio de Barrancabermeja (Colombia), a través de los años ha sufrido transformaciones en su espejo de agua, inducidos por procesos naturales como las inundaciones y la sucesión vegetal; así, como por factores antropogénicos como los vertimientos de aguas residuales, la deforestación de la cuenca y los procesos de ocupación, perturbaciones consideradas como severas. Para el desarrollo de la investigación se recolectó información de fotografía aérea del área de estudio en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, donde se obtuvieron fotografías de los años 1976, 1984, 1988, 1992 y 2004, con el fin de analizar multitemporalmente la dinámica del espejo de agua del humedal, usando técnicas de fotointerpretación, procesamiento digital de imágenes y sistemas de información geográfica. Para determinar el área del espejo de agua en las fotografías aéreas, se realizó la corrección geométrica a partir de puntos de control, tomando como referencia una ortofotografía del IGAC de 2009 del municipio de Barrancabermeja. Se realizó el geoprocusamiento de cada uno de los polígonos que representan el área del espejo de agua, para establecer la dinámica de éste, entre los años correspondientes a cada fotografía. Analizando la evolución temporal de la superficie del espejo de agua del humedal El Castillo, se logró establecer que esta se ajusta a un modelo de regresión cuadrática $R^2=0,972$. Sin embargo, esta variación espacial está gobernada por los procesos naturales y antropogénicos.

Palabras claves: humedal, geoprocusamiento, análisis multitemporal, dinámica espacial.

¹ Ingeniero Ambiental y de Saneamiento, Docente, Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ. Carlos.meza@unipaz.edu.co

² Ingeniero Forestal, Docente, Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ,

³ Ingeniera Ambiental y de Saneamiento

⁴ Ingeniero Ambiental y de Saneamiento

Abstract

The wetland “El Castillo” located in the districts 1 and 4 of Barrancabermeja municipality, through the years has undergone changes in its water surface, induced by natural processes like flooding and vegetal succession; as well as anthropogenic factors such as wastewater discharges, deforestation and migration processes, considered as severe disturbances. For the research development, aerial photography information of the site was collected from Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. The information collected corresponds to the years of 1976, 1984, 1988, 1992 y 2004, with the purpose of analyzing the dynamics of wetland water surface in function of time using photo interpretation techniques, digital image processing and geographic information system (GIS). In order to determine the area of the water surface in the aerial photographs, geometric correction was performed from the checkpoints, by reference to the IGAC´ ortho photography of the municipality of Barrancabermeja in 2009. Geographic processing of these polygons of the water surface area was needed in order to establish its dynamics. Analyzing the temporal evolution of the surface of the “El Castillo” wetland, a quadratic regression model fits with a $R^2 = 0.972$. However, this spatial variation is governed by natural and anthropogenic processes.

Key words: wetland, geoprocessing, multitemporal analysis, spatial dynamics.

Introducción

Los humedales representan atributos, productos y funciones de cuya existencia se beneficia la sociedad. Dichas funciones son Físicas: regulación del ciclo hídrico superficial y de acuíferos, retención de sedimentos, control de erosión y estabilización microclimática; Químicas: regulación de ciclos de nutrientes (retención, filtración y liberación) y descomposición de biomasa terrestre como base de la productividad de los sistemas acuáticos; Bio- Ecológicas: productividad biológica, estabilidad e integridad de ecosistemas y retención de dióxido de carbono; y Sociales: sistemas productivos y socioculturales (economías extractivas, pesca artesanal, caza, recolección, pastoreo y agricultura en épocas de estiaje), recursos hidrobiológicos y soporte de acuicultura. Según Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia (2001).

Algunos humedales sustentan procesos comerciales, tales como la industria del palmito, y la explotación forestal en cativales y guandales. También proveen servicios de recreación, investigación científica y educación. De igual forma estos beneficios ecosistémicos pueden resumirse en dos categorías que son según sus funciones, productos o atributos, como puede verse en el cuadro 1.

Según la Convención Ramsar (1975) (ratificada en Colombia por la Ley 357 de 1997), se entiende por humedales “aquellas extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. En este sentido, es importante considerar que cualquier superficie que pueda retener permanente o transitoriamente un volumen de agua, puede corresponder a un humedal, haciendo de alguna forma compleja su delimitación en terreno, ya que se deben considerar no solo los límites naturales, sino también los culturales y aquellas modificaciones inducidas en el paisaje.

Cuadro 1. Valores de los humedales

CATEGORIA	VALOR DEL HUMEDAL
FUNCIONES	Recarga de acuíferos Descarga de acuíferos Control de flujo Retención de sedimentos y tóxicos Retención de nutrientes Estabilización de la línea costera Protección contra tormentas Transporte acuático Soporte de cadenas tróficas Hábitat para vida silvestre Recreación activa
PRODUCTOS	Recursos de vida silvestre Pesquerías Recursos forrajeros Recursos agrícolas Fuentes de agua Recursos forestales
ATRIBUTOS	Diversidad biológica Importancia cultural e histórica

Fuente: Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia 2001.

Las actividades transformadoras del entorno desarrolladas por el hombre han inducido la alteración de la estructura de los ecosistemas de humedales, generando pérdida de la biodiversidad y extensión territorial; el desarrollo económico y los continuos cambios del uso del suelo (urbanización, agricultura, ganadería y minería) constituyen los principales agentes generadores del

deterioro, degradación, la pérdida de servicios ecosistémicos y de resiliencia. Vilardy, *et al.* (2014).

Otros factores que afectan directa e indirectamente estos ecosistemas son la inadecuada planificación y manejo, que no reflejan la articulación de las políticas que contemplen los humedales en el contexto de la cuenca a la que pertenecen. De igual forma, se puede sumar el panorama histórico socioambiental que manifiesta una visión extractiva del ecosistema. Vilardy, *et al.* (2014).

De esta forma, es importante considerar que el municipio de Barrancabermeja hace parte de la denominada cuenca de los humedales del Magdalena Medio Santandereano junto con los municipios de Bolívar, Cimitarra, Puerto Parra, Puerto Willches, Sabana de Torres, San Vicente de Chucurí y Simacota Bajo (POT 2002). En total se encuentran 64 ciénagas, de las cuales Barrancabermeja posee 8 cuerpos de agua principales entre ellos se encuentran las ciénagas El Llanito, San Silvestre, Palotal, Miramar, Juan Esteban, Opón, San Rafael de Chucurí y humedal El Castillo, este último objeto de estudio de la presente investigación.

Estudios desarrollados en donde se aplicaron índices de contaminación (ICOMO, ICOTRO e ICOMI) Ramírez *et al.* (1997) y biológico (BMWP/col) Roldán (1999) demuestran el grado de contaminación e intervención que ha sufrido el ecosistema acuático del humedal El Castillo es así como según Cuellar & Rojas (2012) éste humedal presenta aguas eutrofizadas con niveles altos de contaminación.

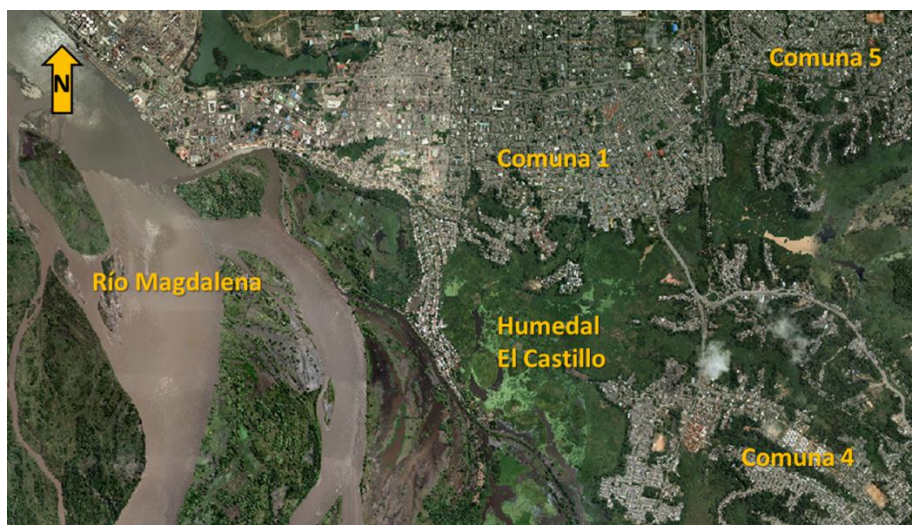
Así mismo, Nieto & Navarro (2013) evaluaron la calidad del agua a través del análisis de bioindicadores de microalgas del perifiton en el humedal El Castillo encontrando 87 especies de las cuales 39 son diatomeas pennales, 1 euglenófito, 24 cianofíceas, 3 diatomeas centrales, 11 clorofíceas indicadoras de eutrofización y empleando el índice compuesto de Nygaard según Pinilla (1998) categorizando el humedal El Castillo en un estado de eutrofización.

Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolló en el municipio de Barrancabermeja, ubicado en el departamento de Santander (Colombia), con una latitud Norte de 7° 03' 48"; una Longitud Oeste de 73° 51' 50" y con una altitud sobre el nivel del mar de 75,94 metros. La ciudad cuenta con siete comunas las cuales conforman la zona urbana del Municipio, la extensión territorial es de 1347,83 km², abarcando un segmento del fondo del valle interandino del Magdalena Medio, desde la terrazas aluviales altas, cubriendo hacia el noroccidente terrazas bajas, colinas, bajos y ciénagas hasta la planicie aluvial del Río Magdalena. De esos 1.347,83 km² al área urbana le pertenece 30,37 km² y al área rural 1317,46 km².

El humedal El Castillo se encuentra ubicado en el área urbana del municipio, limitando al norte con la comuna 1 y al sur con la comuna 4, La extensión del humedal el castillo es de 134.5 hectáreas y su profundidad es de 1.75 metros aproximadamente (Ver Figura 1).

Figura 1. Ubicación del humedal el Castillo



Fuente. Secretaria de Planeación Municipal de Barrancabermeja (2009).

Para la realización de la investigación se siguieron lineamientos metodológicos representados en 3 etapas fundamentales que comprenden: la adquisición de fotografías aéreas, el procesamiento (Georreferenciación y Geoproceso) y análisis de información, como se describe a continuación:

Adquisición de Fotografías aéreas: se recopiló información de fotografía aérea de los años 1976, 1984, 1988, 1992 y 2004 del área de estudio en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. Lobo & Mendez (2013). En el cuadro 2 se presenta la información correspondiente a cada una de las fotografías disponibles.

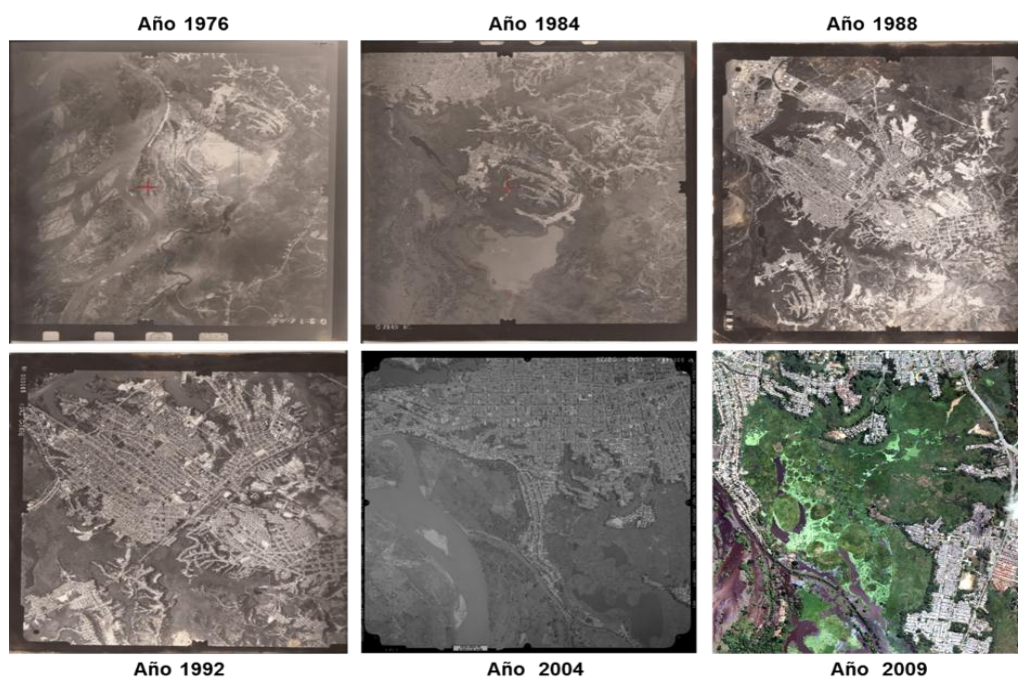
Cuadro 2. Información de fotografías aéreas

Fotografía/ FECHA	ESCALA
11 de mayo de 1976	1:555000
15 de octubre de 1984	1:224000
14 de julio de 1988	1:224000
24 de octubre de 1992	1:147000
octubre de 2004	1:197000

Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Estas fotografías aéreas inicialmente se encontraban en medio físico (excepto fotografía de 2004 que se encontraba en medio digital) por lo cual se hizo necesario someterlas a un proceso de digitalización por medio de un escáner, generándose así una imagen digital de 24 bits. Sin embargo estas imágenes digitales deben ajustarse a un sistema de proyección, denominada corrección geométrica. Sobrino (2000). En la figura 2 se puede observar el resultado del proceso de digitalización de las fotografías aéreas.

Figura 2. Fotografías aéreas digitalizadas.



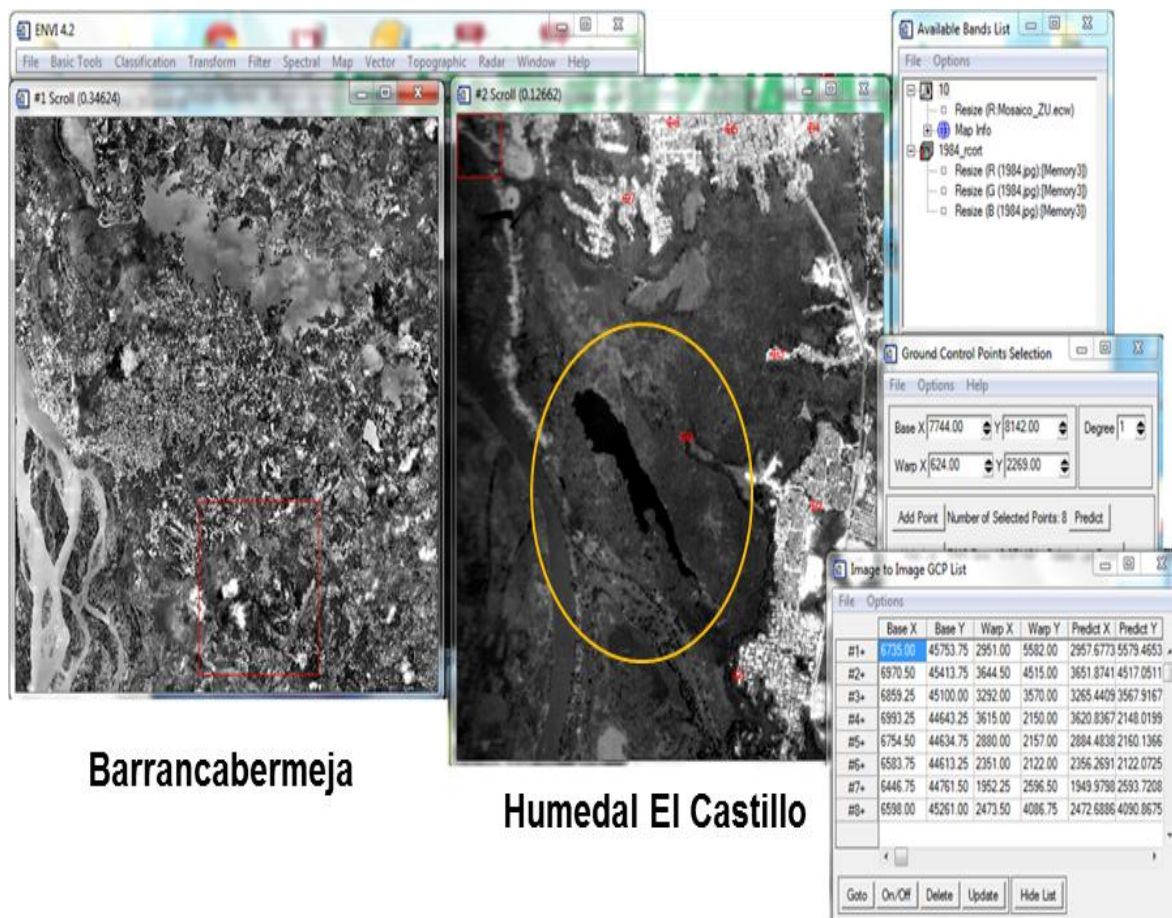
Fuente: Autor

Por otra parte, mediante técnicas de fotointerpretación fueron analizados los elementos de interpretación de la imagen como: tono, color, tamaño, forma, textura, patrón, sombras, altura y profundidad, volumen y asociación; para de esta forma poder delimitar adecuadamente el espejo de agua del humedal. Jense (2007).

Procesamiento (Corrección geométrica y Geoproceso): para poder determinar el área del espejo de agua en las fotografías aéreas, se realizó la corrección geométrica a partir de puntos de control (GCP's) y funciones de transformación tomando puntos comunes de la imagen y el mapa. Sobrino (2000). En este proceso de corrección geométrica se utilizó del software ENVI 4.2 el menú georreferenciación imagen a imagen, en donde la primera imagen corresponde a

la imagen digitalizada y la segunda es la imagen de referencia, correspondiendo a una Ortofotografía del IGAC 2009 del Municipio de Barrancabermeja. Revisión POT Barrancabermeja (2009).

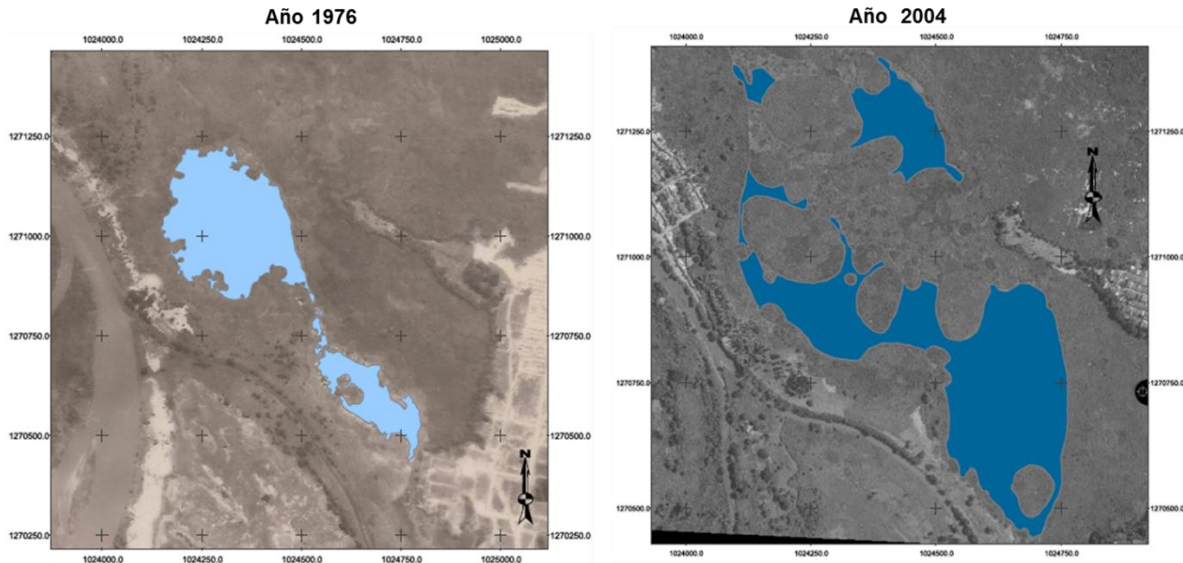
Figura 3. Proceso de corrección geométrica de las fotografías aéreas.



Fuente: Autor

Una vez realizada la georreferenciación de las fotografías aéreas se realizó el geoproceto de áreas, que consiste en la digitalización de cada uno de los polígonos que representan el área del espejo de agua del humedal en la imagen, transformándolo en una capa vectorial (SHP) soportado en el software gvSIG 2.0, para así establecer la dinámica entre los años correspondientes a cada imagen, como se puede observar en la figura 4.

Figura 4. Imágenes georeferenciadas y digitalización de áreas.



Fuente: Autor

Resultados y discusión

La digitalización de las fotografías aéreas permitió determinar el área del espejo de agua presente en cada uno de los años analizados, mediante técnica de fotointerpretación y el uso del software gvSIG 2.0 como se muestra en el cuadro 3, cabe destacar que en las imágenes no se aplicaron técnicas de clasificación (supervisada o no supervisada), ya que la información radiométrica resultante del proceso de digitalización impide la discriminación de la información contenida en cada pixel. Chuvieco (2008).

Cuadro 3. Área del espejo de agua

Año	Área M ²	Área Ha
1976	11.3648,254	11.36
1984	64.290,638	6.43
1988	73.624,845	7.36
1992	88.367,005	8.84
2004	15.5305,687	15.53

Fuente: Autor

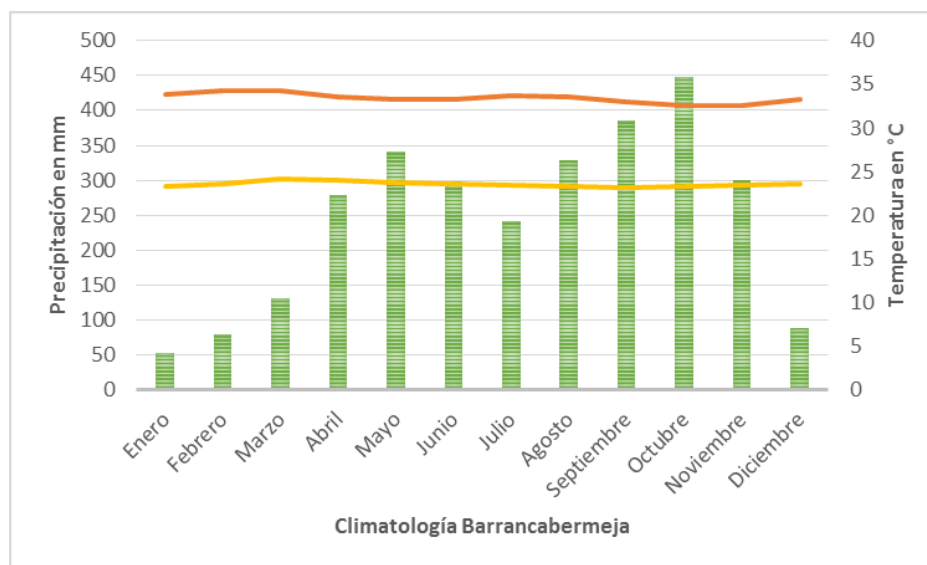
De esta forma se puede evidenciar la dinámica propia de un cuerpo de agua que actúa como cuerpo receptor y amortiguador de crecidas en los periodos de lluvia y de regulación del caudal en periodos secos. Es así como en 1976 el área del

espejo de agua correspondía al 11.36 Ha y en 1984 se existían 6.43 Ha y así sucesivamente.

Por otra parte es importante aclarar que en 2004 si bien se observa un aumento considerable del espejo de agua, esto no indica necesariamente un aumento del volumen almacenado; este fenómeno se puede atribuir al efecto que tiene la sedimentación del humedal debido a la alta intervención presente en su cuenca. Sin embargo esta información de la mayoría de cuerpos de agua del país es escasa y desconocida. Vilardy, et al. (2014).

Sin embargo, la información climatológica de Barrancabermeja permite establecer tendencias bimodales de los periodos secos y de lluvia a lo largo del año, como se puede apreciar en la figura 5, que representan el histórico del comportamiento de estos periodos y permite analizar las fluctuaciones del ecosistema de humedal con la variable de precipitación.

Figura 5. Climatología de Barrancabermeja



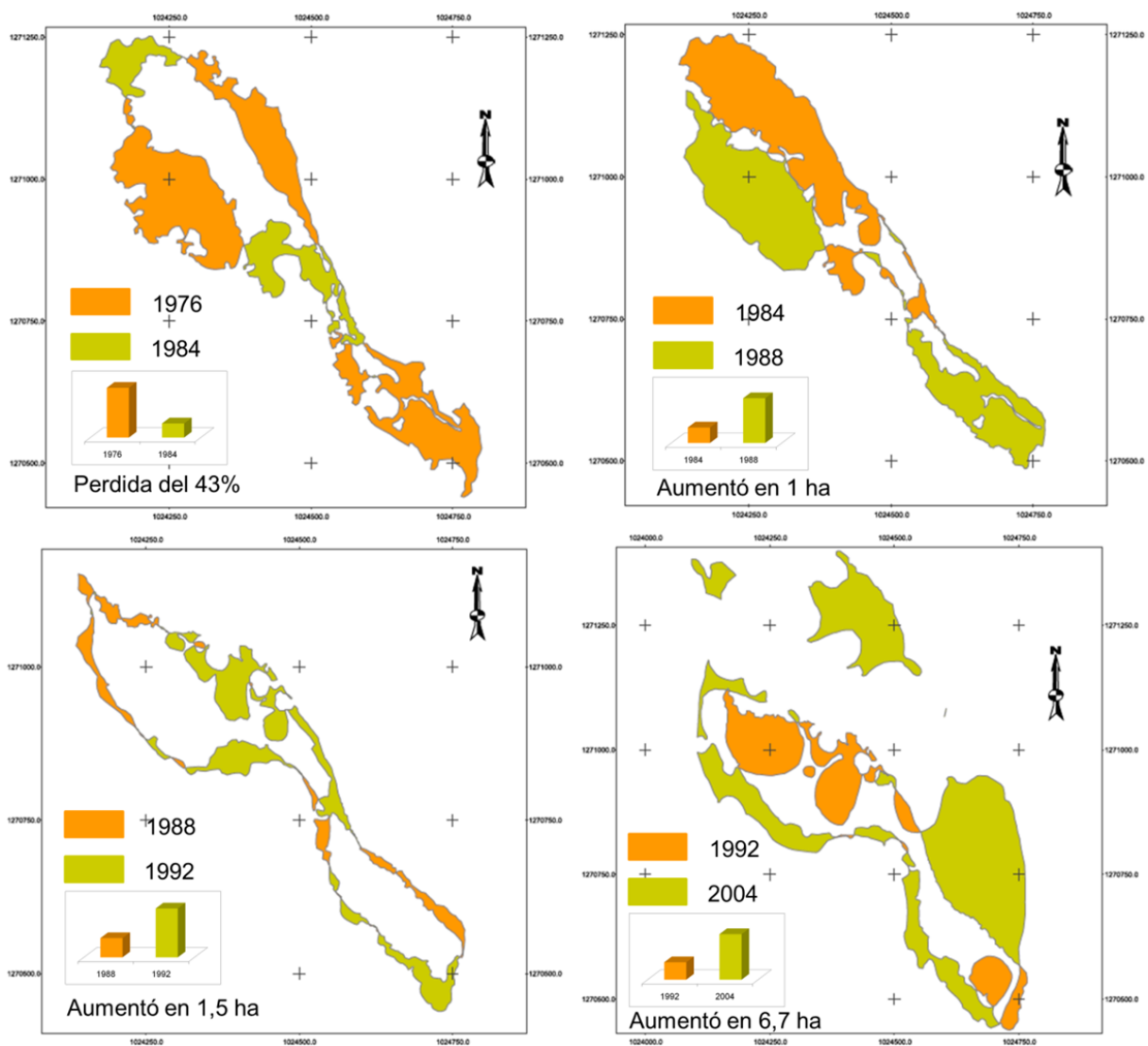
Fuente: Worldmeteo, Barrancabermeja (2015).

Si se analiza la tendencia climatológica del municipio, se puede lograr una aproximación a uno de los eventos que dinamizan el espejo de agua del humedal El Castillo como lo es la precipitación (ver figura 5), en ella se puede observar que históricamente los meses más lluviosos del año son Mayo y Octubre, mientras el mes más secos es Enero, determinando su régimen hidrológico.

Para calcular la diferencia del espejo de agua del humedal existente entre años analizados, fue necesario calcular la diferencia para cada año, ejemplo 1976-1984

y luego 1984-1976. Posteriormente para obtener una capa que contenga las diferencias, se emplea la herramienta Geoproceso unión (es importante conservar el orden) usando el software libre gvSIG 2.0. Resultando en la dinámica del espejo de agua del humedal El Castillo como se puede observar en la figura 6.

Figura 6. Dinámica del espejo de agua del humedal El Castillo entre 1976, 1984, 1988 y 2004.



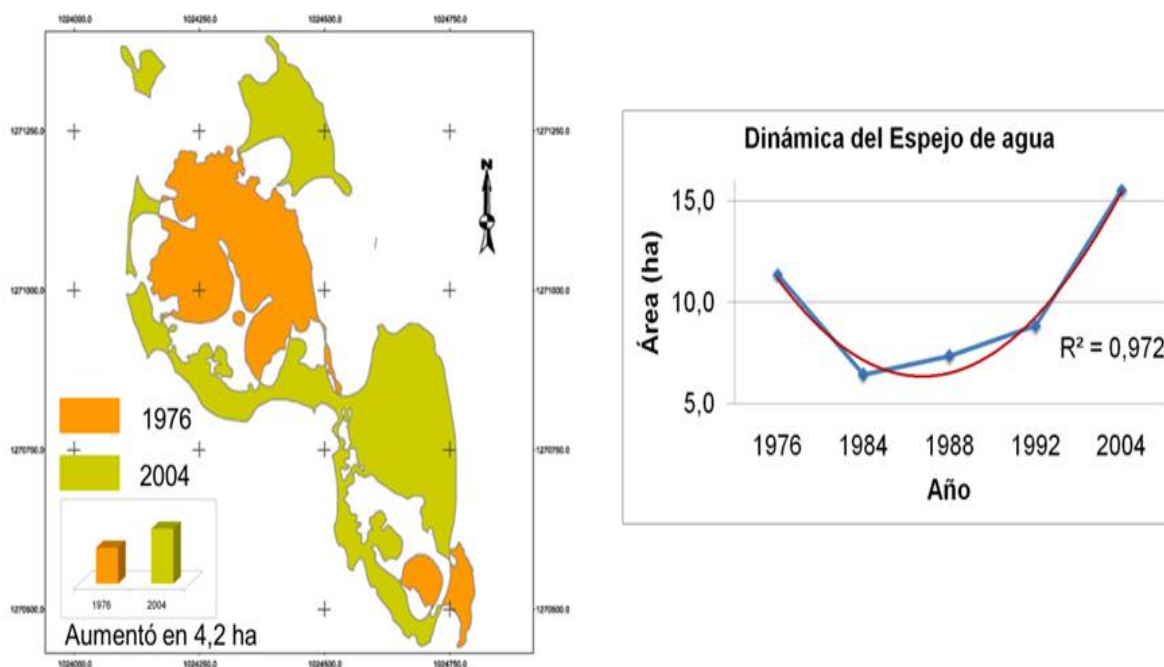
Fuente: Autor

De esta forma se puede analizar los avances y retrocesos de este tipo de ecosistemas respecto al tiempo, entre los años 1976 y 1984 se puede evidenciar

una pérdida del 43%; entre los años 1984 y 1988 un aumento de 1 Ha; entre los años 1988 y 1992 un aumento de 1,5 Ha; y finalmente en el periodo de 1992 y 2004 un aumento de 6,7 Ha.

Por último, se planteó una comparación entre los años de 1976 y 2004, que permitió identificar un aumento del espejo de agua en 4,2 Ha, que no necesariamente indica un aumento del volumen almacenado, ya que para determinarlo se hace necesario la realización de estudios batimétricos. Vilardy, et al. (2014). De igual forma se evidencia el avance de los procesos de eutrofización y colmatación, produciendo la segregación del espejo de agua en masas aisladas.

Figura 7. Dinámica del espejo de agua del humedal El Castillo entre 1976 y 2004.



Fuente: Autor

Analizando la evolución temporal de la superficie del espejo de agua del humedal El Castillo, se logró establecer que esta se ajusta a un modelo de regresión cuadrática $R^2=0,972$. Sin embargo, esta variación espacial está gobernada por los procesos naturales y antropogénicos.

Desde el punto de vista ambiental, la dinámica del espejo de agua hace parte de las características propias de un ecosistema como el humedal El Castillo. Sin embargo, el aumento de la vegetación flotante producto de la eutrofización del medio provoca la reducción de la penetración de los rayos del sol y la actividad fotosintética de los organismos fitoplanctónicos, provocando un decaimiento de la



producción de oxígeno libre, generando la anoxia en las zonas profundas que redundan en la pérdida de la diversidad acuática, baja productividad y aumento de la generación de gases de efecto invernadero producto de la sedimentación del humedal. Varis et al. (2012).

Conclusiones

Analizando la evolución temporal de la superficie del espejo de agua del humedal El Castillo, se logró establecer que esta se ajusta a un modelo de regresión cuadrática $R^2=0,972$. Sin embargo, esto no permite predecir el comportamiento del espejo de humedal, ya que estas variaciones espaciales están gobernadas por los procesos naturales y antropogénicos.

En cuanto a la escala temporal, es importante tener en cuenta que esta maneja un cambio en el tiempo muy amplio e irregular, por esta razón no se pueden observar alteraciones estacionales. Debido a la disponibilidad de fotografías aéreas del área de estudio.

Agradecimientos

Al semillero de investigación FOREST de la Escuela de Ingeniería Ambiental y de Saneamiento del Instituto Universitario de la Paz UNIPAZ, por su aporte a la generación de nuevo conocimiento.

Bibliografía

Chuvienco S. Emilio. (2008). Teledetección ambiental, La observación de la tierra desde el espacio, 3 edición actualizada. España. Ariel Ciencia.

Convención Ramsar. (1975). Humedales de importancia Internacional.

Cuellar D. Karol V., & ROJAS T. Madeleine. (2012). Evaluación de la calidad hídrica por medio de los índices biológico BMWP/Col y de contaminación (ICOMO, ICOMI, ICOTRO) en el sector que abarca la comuna 1 y 4 del humedal El Castillo, Barrancabermeja. Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ (Trabajo de Grado). Barrancabermeja, Colombia. 135 p.

GVSIG Asociación. (2015). Disponible en URL <http://www.gvsig.com/es/productos/gvsig-desktop>

Jense. Jhon R. Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. Prentice Hall series in geographic information science. 2nd ed. ISBN 0-13-188950-8. 587 p.



Lobo V. Hervertson. Méndez M. Johanna. (2013). Evaluación del estado actual del humedal El Castillo comuna 1 y 4 a través de la dinámica sucesional de la vegetación. Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ (Trabajo de Grado). Barrancabermeja, Colombia. 112 p.

Nieto M. Mayra A., & Navarro L. Viviana P. (2013). Evaluación de la calidad del agua a través del análisis de bioindicadores de microalgas del perifiton en el humedal El Castillo comuna 1 y 4 de Barrancabermeja – Santander. Instituto Universitario de la Paz – UNIPAZ (Trabajo de Grado). Barrancabermeja, Colombia. 129 p.

Oficina de Planeación Municipal, Barrancabermeja. (2009). Ortofotomosaico Municipio de Barrancabermeja. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Pinilla Gabriel. (1998). Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Compilación bibliográfica. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia. ISBN: 958-9029-15-9. , 67 p.

Plan de Ordenamiento Territorial POT de Barrancabermeja. (2002).

Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia. (2001). Estrategias para su conservación y uso racional. Colombia.

Ramirez. A., Restrepo. J., & Viña. G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación. CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro. ISSN. 0122-5383. Vol. 1 Núm. 3. p. 135-153.

Roldan P. Gabriel. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores del agua. Academia Colombiana de Ciencias. ISSN. 0370-3908. Vol. 23 Núm. 88. Pág. 375-387.

Secretaria de Planeación Municipal de Barrancabermeja. (2009).

Sobrino, José. (2000). Teledetección. Universidad de Valencia. España. AECl.

Varis, O., Kummu, M., Harkonen, S. & Huttunen, J. T. (2012) Greenhouse Gas Emissions from Reservoirs. In Impacts of Large Dams: A Global Assessment. Springer. ISBN 978-3-642-23571-9. p. 69-94.

Vilardy, S., Jaramillo, Ú., Flórez, C., Cortés-Duque, J., Estupiñán, L., Rodríguez, J., Aponte, C. (2014). Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales: una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al



cambio climático en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, 100 pág.

Worldmeteo, Barrancabermeja. (2015). Disponible en URL <http://www.worldmeteo.info/es/america-del-sur/colombia/barranca-bermeja/tiempo-106766/>