

**ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DEL COMPLEJO CENAGOSO DEL BAJO  
SINÚ EN ÉPOCAS SECAS DURANTE LOS PERIODOS 2014-2017-2020 EN EL  
DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA COLOMBIA**



**José Guillermo Acosta Ramos**

**Carolina Morales Fernández**

**UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
BOGOTÁ., DC  
2021**

ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DEL COMPLEJO CENAGOSO DEL BAJO SINÚ  
EN ÉPOCAS SECAS DURANTE LOS PERIODOS 2014-2017-2020 EN EL  
DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA COLOMBIA

José Guillermo Acosta Ramos

Carolina Morales Fernández

Proyecto de grado presentado como requisito fundamental para optar al título de  
Especialista en Sistemas de Información Geográfica.

Director

Dr. Andrés Felipe Carvajal Vanegas

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
BOGOTÁ., DC

2021

**NOTA DE ACEPTACION**

---

---

---

---

---

---

**Firma del Director**

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	9
1.1. Objetivos .....	11
1.1.1 Objetivo General .....	11
1.1.2 Objetivos Específicos.....	11
<b>2. MARCO TEORICO</b>	
2.1 Sistemas de Humedales.....	12
<b>3. ESTADO DEL CONOCIMIENTO</b> .....	15
<b>4. METODOLOGÍA</b>	
4.1 Zona de Estudio .....	17
4.1.2 Descarga de imágenes satelitales .....	18
4.1.3 Procesamiento de imágenes satelitales.....	19
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	25
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	31
<b>7. RECOMENDACIONES</b> .....	32
<b>8. REFERENCIAS</b> .....	33

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> características de las imágenes Landsat 8 seleccionadas para el estudio.....	18
<b>Tabla 2.</b> comparativa del retroceso del espejo frente a los humedales permanentes de agua y los periodos de época seca de los años 2014-2017-2020.....	27

## ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo 1.</b> Cálculos OIF 2014.....	35
<b>Anexo 2.</b> Cálculos OIF 2017.....	36
<b>Anexo 3.</b> Cálculos OIF 2020.....	37

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Localización de la zona de estudio del complejo Cenagoso del bajo Sinu. Fuente Autor 2021.....	17
<b>Figura 2.</b> Zona de trabajo Path 009 – Row 054 descargadas.....	18
<b>Figura 3.</b> Componente de archivo imágenes Landsat 8.....	19
<b>Figura 4.</b> Recorte imagen en la zona de interés.....	20
<b>Figura 5.</b> Imagen multiespectral B1 a B7 con resolución de 30 metro.....	21
<b>Figura 6.</b> Imagen Pan Sharpen, al unir las multiespectrales con la banda pancromática de 15 metros.....	21
<b>Figura 7.</b> Imagen con el ajuste del filtro de pasa bajas de 3x3.....	22
<b>Figura 8.</b> OIF 2014: combinación sugerida 2-4-6.....	23
<b>Figura 9.</b> OIF 2017: combinación sugerida 1-5-7.....	23
<b>Figura 10.</b> OIF 2020: Combinación sugerida 2-4-6.....	23
<b>Figura 11.</b> Selección de polígonos de muestra de cuerpos de agua para crear las firmas espectrales.....	24
<b>Figura 12.</b> Espejo de agua en épocas secas – 29 marzo de 2014.....	25
<b>Figura 13.</b> Espejo de agua en épocas secas – 05 marzo de 2017.....	26
<b>Figura 14.</b> Espejo de agua en épocas secas – 29 marzo de 2020.....	26
<b>Figura 15.</b> Comparativo del espejo de agua permanente y las épocas secas de los años 2014-2017-2020.....	28

## RESUMEN

Dada la problemática que existe en Colombia de los humedales se realiza un análisis espacial y temporal del Complejo Cenagoso del Bajo Sinú en épocas secas durante los periodos 2014-2017-2020 en el departamento de Córdoba Colombia, el cual es considerado como uno de los espejos naturales de agua más importantes del departamento, el cual se ha visto muy afectado en el retroceso espacial en épocas secas a medida que pasan los años. La metodología empleada describe el uso de imágenes Landsat 8 para épocas secas procesadas con el software ERDAS IMAGINE 2014 y ArcMap 10.7. con los procesos empleados se identificó el espejo de agua en cada periodo y posteriormente al realizar un análisis comparativo, se demuestra el retroceso que sufre el complejo cenagoso, que en 2014 era 6126,1 ha, luego 4871,7 ha en 2017 y finalmente en 2020 el espejo de agua fue de 3840,0 ha.

**Palabras Claves:** *modelo espacio temporal, complejo de humedales, Imágenes Landsat 8*

## ABSTRACT

Given the problem that exists in Colombia of wetlands, a spatial and temporal analysis of the Bajo Sinú swamp complex in dry seasons during the periods 2014-2017-2020 in the department of Córdoba Colombia, which is considered one of the most important natural water mirrors of the department, which has been greatly affected in the spatial retreat in dry seasons as the years go by. The methodology used describes the use of Landsat 8 images for dry seasons processed with ERDAS IMAGINE 2014 and Arcmap 10.7 software. with the processes used, the water mirror was identified in each period and later, when a comparative analysis was performed, the recession suffered by the swamp complex was demonstrated, which in 2014 was 6126,1 ha, then 4871,7 ha in 2017 and finally in 2020 the water mirror was 3840,0 ha.

**Keywords:** *spatio-temporal modelling, wetlands complex, Landsat images,*

## 1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país privilegiado por su riqueza en humedales los cuales son clave para el equilibrio del medio ambiente. sin embargo, éstos se han visto afectados por la reducción de sus fronteras espaciales. La preocupación por el tema de los humedales se viene abordando desde 1971, cuando se hace la Convención sobre los Humedales en Ramsar-Irán, y su objeto fue promover un tratado intergubernamental por la conservación y uso equilibrado de los humedales. El Convenio en Ramsar da prioridad a la cartografía de zonas húmedas y sugiere el uso de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica para la elaboración de inventarios de humedales (Camelo-Mendoza et al., 2016).

Los humedales, representan varios beneficios relacionados con la parte ecológica y ambiental, sirven como soporte de actividades productivas, socioculturales y mantienen parte de la biodiversidad. Los ecosistemas han sido sujetos a cambios antrópicos y naturales. En Colombia se estima que una cuarta parte de los humedales ha sido cambiada a otro tipo de coberturas terrestres debido a la subsidencia, erosión, cambio climático, nivel freático, temperatura, dinámica fluvial y sedimentos (Camelo-Mendoza et al.,2016).

En Colombia la distribución de humedales se divide por regiones: la región Andina cuenta con el 76%, la región Caribe con el 14%, la región Orinoquia con el 7% y la región Amazónica con el 3%. Los problemas que afectan los humedales son la contaminación hídrica, cambio en la dinámica, la alteración de los humedales, calidad de las aguas que ocasionan trasformaciones en el estado ecológico a partir de la pérdida de biodiversidad y anoxia en los humedales (Senhadji-Navarro et al., 2017).

Los humedales han sido estudiados mediante mapas, fotointerpretación, trabajo de campo y análisis de laboratorio, las imágenes satelitales suministraron más información en las diferentes coberturas de la superficie terrestre no perceptibles en las fotografías aéreas convencionales (García et al., 2006). Las imágenes satelitales permiten obtener una cartografía con exactitud, extensión, intensidad y variabilidad en un rango de tiempo y espacio (De Roeck et al.,2008).

El complejo cenagoso del Bajo Sinú es un cuerpo de agua formado por la dinámica hídrica del río Sinú, hay periodos de alta y baja precipitación. De igual forma, recibe aportes de un conjunto de caños ubicados en la zona baja del valle de dicho río, antes de que éste forme un delta para desembocar en el mar Caribe (Salazar, 2008). Debido a lo anterior, se propone realizar este estudio que tiene como propósito principal, la caracterización de espejos de agua a partir de imágenes espaciales y temporales del Complejo Cenagoso del Bajo Sinú en épocas secas, mediante los Sistemas de Información Geográfico en que se plantea un análisis comparativo en épocas secas en los periodo 2014-2017-2020 y se presentan las variables con mayor relevancia.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo General**

Evaluar los cambios espaciales y temporales en épocas secas en el complejo cenagoso del bajo Sinú en el departamento de Córdoba, durante el periodo 2014-2017-2020.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Identificar espacialmente el espejo de agua en el Complejo Cenagoso del Bajo Sinú en épocas secas de 2014, 2017 y 2020.
- Realizar el análisis comparativo del espejo de agua en el Complejo Cenagoso en las épocas secas de los años 2014, 2017 y 2020

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Sistemas de Humedales**

Los humedales son “zonas de agua y es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella o donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas”. (Ramsar et al., 2006). Los ecosistemas de humedales y su valor para la humanidad se han llegado a comprender y documentar a lo largo de los años, se ha invertido para restablecer las funciones hidrológicas y biológicas de humedales degradados o interrumpidos. El grado de fluctuación de los humedales, puede variar de acuerdo a la regulación y balance de las cuencas hidrográficas o captación. Estos cambios varían de acuerdo a las condiciones geográficas, que influyen en la variación climática (Ramsar et al., 2006). Los componentes biológicos y físico-químicos de los humedales determinan el balance hídrico, los cuales están asociadas al almacenamiento de agua, mitigación de crecientes, equilibrio de costas, erosión, recarga, descarga de acuíferos, tratamiento de aguas y condiciones climáticas. Estas pueden conservarse si los procesos ecológicos de los humedales son estables. Actualmente, estos sistemas representan los ecosistemas más amenazados por la contaminación y explotación de sus recursos (Ramsar et al., 2006).

Es importante tener en cuenta la clasificación de tipos de humedales: marinos, lacustres, ribereños, palustres y artificiales (Ramsar et al., 2006). La convención ha seleccionado un sistema de clasificación de 42 tipos de humedales, agrupados en tres distintas categorías: Costeros, Continentales y Artificiales.

Para realizar los estudios de los humedales es importante realizar los análisis multispectrales, teniendo en cuenta la clasificación de imágenes satelitales para lograr obtener información en áreas y coberturas de difícil acceso, realizando la interpretación de la cobertura vegetal con diferentes bandas espectrales de los sistemas de percepción remota, y así determinar las características físico-químicas y ambientales que pueden exponer los diferentes contrastes débiles o fuertes según la región del espectro observado en superficie (Etter A et al., 2017)

Queda en evidencia que las características espectrales del agua tienen propiedades de radiación electromagnética en el espectro infrarrojo las cuales permiten que sean identificables mediante teledetección. En algunos estudios se realizan análisis en la superficie de agua absorbiendo la mayor parte de la radiación visible, siendo que sea mayor la longitud de onda y este es evaluado en las longitudes de onda más cortas (azul y verde), que se relacionan con la profundidad y los materiales en suspensión. (Hadjimitsis et al., 2010). Es importante la obtención y uso de imágenes satelitales mediante el programa Landsat, ya que ha permitido establecer algoritmos que estimen parámetros de calidad de agua, tanto en cuerpos de agua continentales como no continentales obteniendo un monitoreo mediante técnicas de percepción remota. (Hadjimitsis et al., 2010)

Con la identificación de su variabilidad y distribución espacial mediante procesos estadísticos, el cual permite realizar combinaciones óptimas de tres bandas de todas las imágenes satelitales, mediante el cálculo del OIF (Factor Índice) sobre la mayor cantidad de información de una combinación de color entre bandas en las que se obtiene los resultados más altos de las sumas de las desviaciones estándar y la menor redundancia se obtiene al comparar la correlación entre bandas, a menor correlación menor cantidad de datos requeridos. (Tri Dev Acharya et al., 2018)

Finalmente se obtiene las clasificaciones de los valores OIF que aportara una mejor interpretación y obtener la máxima información visual de las zonas de estudio.

La propuesta de realizar estudios a escalas pequeñas y grandes zonas, está relacionado con los avances tecnológicos en percepción remota, sistemas de información geográfica y métodos para cuantificar el manejo de humedales en ambientes alterados ha demostrado ser adecuada para la conservación de dichos ecosistemas. Ratti et al. (2001).

### 3. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

El estudio y monitoreo de los humedales es de gran importancia para determinar los impactos ambientales y problemáticas regionales que afecten la dinámica de los humedales. En la actualidad se ha avanzado en las técnicas geoespaciales, considerando los sensores remotos como una herramienta útil en el monitoreo de la calidad de aguas y cobertura terrestre.

Torres (2020) analizo la Ciénaga de Ayapel Córdoba, realizando una variación espacial y temporal del espejo de agua, estudiando los recursos hídricos de la ciénaga utilizando imágenes landsat para los periodos 2000-2018 es los que evidencio cambios en los espejos de agua de la Ciénega. Como resultado obtuvo en superficie 13806,84 ha en el año 2000 y en el año 2018 adquirió una mayor superficie de 8472,89 ha en la que presento la mayor reducción del espejo de agua y reducción en la cobertura del bosque natural. En conclusión, se determinaron los principales factores antrópicos que precipitaron los cambios en el espejo de agua de la Ciénega de Ayapel.

Según el estudio realizado por Bustamante et al., (2020) mediante modelación espacio-temporal del Complejo Cenagoso de Ayapel-Córdoba, propusieron distintos métodos para cartografiar la zona para un periodo de 33 años, considerando datos pluviométricos de 7 estaciones del ecosistema cenagoso de Ayapel, teniendo en cuenta la temporalidad climática de la zona en épocas seca y de lluvias. Obtuvieron como resultado la modificación de las cuencas aportantes al Complejo Cenagoso determinando el aumento en los sedimentos y su consecuente colmatación.

Mejia Ávila et al., (2019) Realizaron una investigación del Complejo de Humedales del Bajo Sinú – Colombia, donde analizaron una serie de imágenes temporales Landsat evaluando la

dinámica antrópica y los cambios climáticos, comparándolas en diferentes períodos estacionales e interanuales, realizando la cuantificación de los cambios y pérdidas de los recursos hidrológicos y ecosistemas de los humedales relacionados durante los últimos 20 años, y así mejorar en la planificación y conservación del humedal. Esta investigación aporta nuevos resultados ya que no había estudios previos que cuantificaran el impacto en el Complejo de Humedales del Bajo Sinú y en la concluyen que extensión de los humedales disminuyó aproximadamente un 30% entre 1970 y 2008.

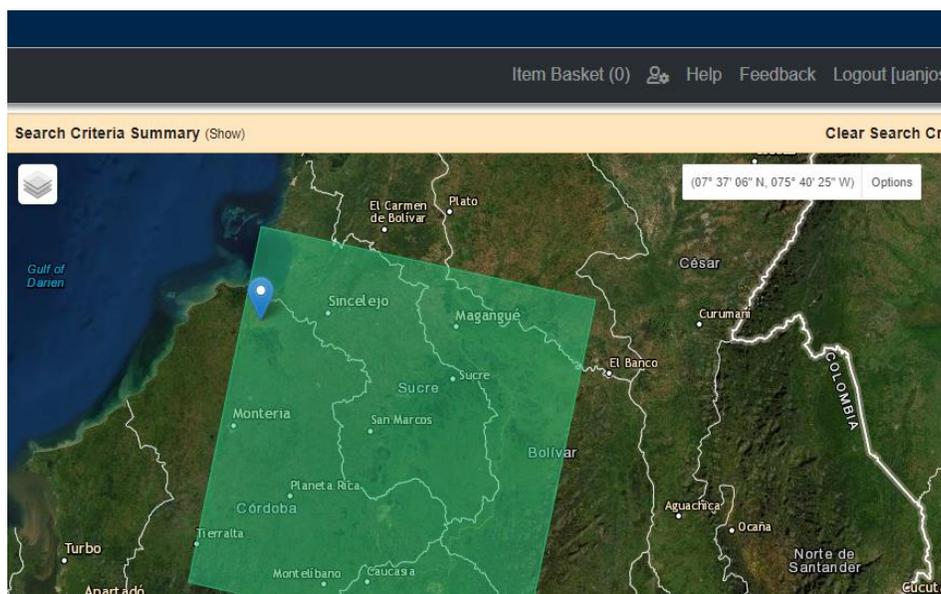
Diaz Carvajal & Mercado Fernández (2017) realizaron el estudio de Teledetección y SIG en la subcuenca de Betancí, Córdoba – Colombia, los resultados se basan en la clasificación supervisada en la cuenca de Betancí donde registraron los valores altos del número de curva en la mayor parte del territorio, los análisis obtenidos encontraron que la escorrentía sin control conduce a la degradación de los recursos naturales y el numero de la curva resume las variaciones hidrológicas

Flórez et al., (2016) realizaron la investigación espacial de los Sistemas de Humedales en Colombia, en donde los resultandos se basan en diferentes categorías de humedales: Permanente, temporal y potencial. Los humedales permanentes se asocian a la presencia de agua constante, según los análisis realizados por Flórez et al., (2016) obtenidos de la información de radar determinaron que las frecuencias de inundaciones en algunos casos se presentaban un numero de inundaciones superior >6. En los que concluyen que los humedales abiertos temporales tienen valores más altos en el Magdalena – Cauca y los más bajos más bajos en el Caribe.



#### 4.1.2 Descarga de Imágenes Landsat

Para seleccionar las imágenes Landsat 8, se evaluaron distintas imágenes antes de ser descargadas, en las que se debían cumplir unos criterios como : nubosidad inferior al 40% , Path y Row que cubriera totalmente la zona de interes, epocas de las imágenes preriblemente en el mes de marzo. Las descargas fueron realizadas desde la página <https://earthexplorer.usgs.gov/> con las siguientes características: Path 009 - Row:054, fechas de las imágenes del mes de mazo. (Figura 2).



**Figura 2.** Zona de trabajo Path 009 – Row 054 descargadas. Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov/>

SENSOR	FECHA	PATH/ROW	RESOLUCIÓN
Landsat 8 OLI	29 de marzo de 2014	009/054	30M MULTIESPECTRAL -15M PANCROMÁTICA
Landsat 8 OLI	05 de marzo de 2017	009/054	30M MULTIESPECTRAL -15M PANCROMÁTICA
Landsat 8 OLI	29 de marzo de 2020	009/054	30M MULTIESPECTRAL -15M PANCROMÁTICA

**Tabla 1:** características de las imágenes Landsat 8 seleccionadas para el estudio.

este equipo > Disco local (D:) > ANTONIO NARIÑO > TESIS > imagenes > 2020 > E SECA > Archivo TIF, Documento de texto

Photo Print

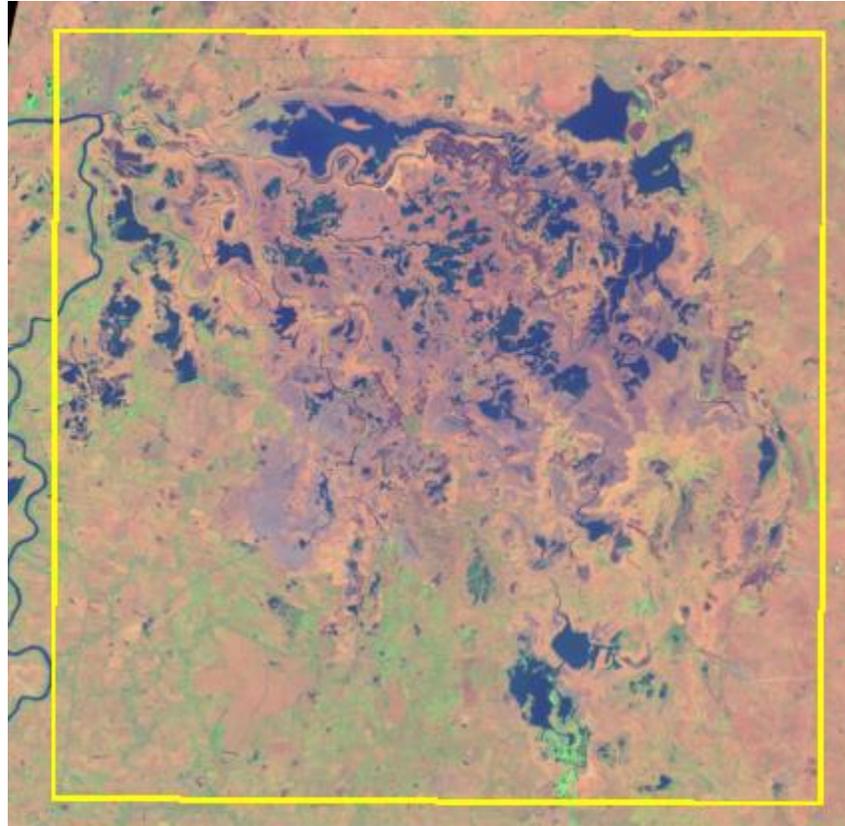
Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_ANG.txt	9/04/2020 6:13 p. m.	Documento de te...	115 KB
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_B1.TIF	14/05/2021 1:22 p. m.	Archivo TIF	114,740 KB
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_B2.TIF	14/05/2021 1:22 p. m.	Archivo TIF	114,740 KB
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_B3.TIF	14/05/2021 1:22 p. m.	Archivo TIF	114,740 KB
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_B4.TIF	14/05/2021 1:22 p. m.	Archivo TIF	114,740 KB
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_B5.TIF	14/05/2021 1:22 p. m.	Archivo TIF	114,740 KB
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_B6.TIF	14/05/2021 1:22 p. m.	Archivo TIF	114,740 KB
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_B7.TIF	14/05/2021 1:22 p. m.	Archivo TIF	114,740 KB
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_B8.TIF	14/05/2021 11:59 a. m.	Archivo TIF	458,656 KB
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_B9.TIF	14/05/2021 1:22 p. m.	Archivo TIF	114,740 KB
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_B10.TIF	9/04/2020 6:15 p. m.	Archivo TIF	114,680 KB
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_B11.TIF	9/04/2020 6:15 p. m.	Archivo TIF	114,680 KB
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_BQA.TIF	9/04/2020 6:15 p. m.	Archivo TIF	114,680 KB
LC08_L1TP_009054_20200329_20200409_01_T1_MTL.txt	9/04/2020 6:15 p. m.	Documento de te...	9 KB

**Figura 3.** Componente de archivo imágenes Landsat 8

#### 4.1.3 Procesamiento de imágenes

Después de descargar las imágenes, con el programa ERDAS IMAGINE 2014 se procedió a combinar las bandas multiespectrales (B1 a B7) aplicando el proceso <<Layer Stack>>. Seguidamente se definió la proyección de las imágenes espectrales y la pancromática, seleccionando la opción <<Raster – Spatial>> luego <<Reproject>> para el caso del tamaño del pixel de la imagen multiespectral, el tamaño del pixel será de 15 metros porque tiene que corresponder con la resolución espacial de la imagen pancromática de LANDSAT 8.

Para el caso de la zona de interés de la presente investigación, se realizó un recorte de la imagen multiespectral y pancromática en la zona descrita del Complejo Cenagoso del Bajo Sinú, con la herramienta <<inquire box>> se puede calcular el tamaño de corte, luego con la herramienta <<subset>>.

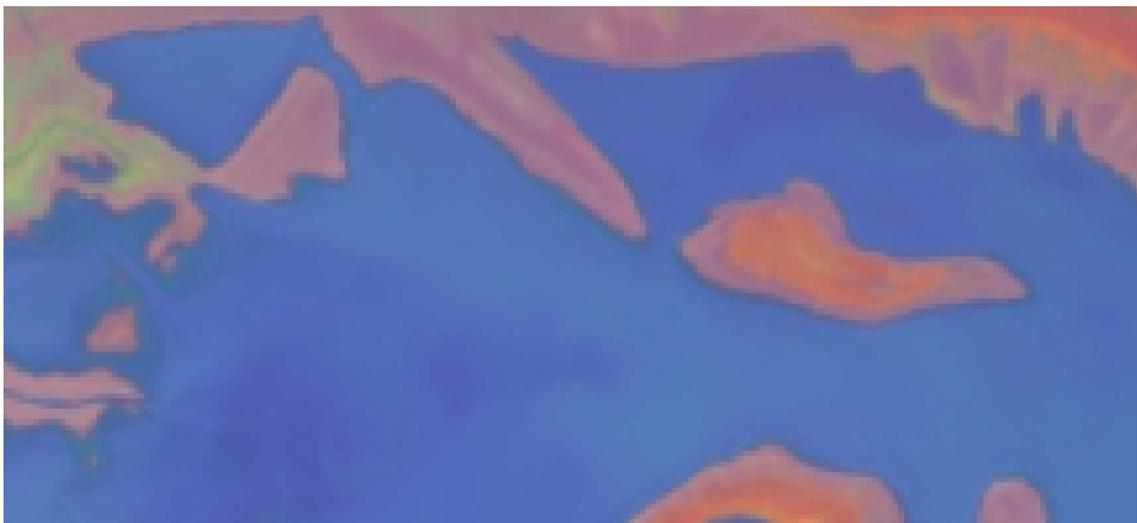


**Figura 4.** Recorte imagen en la zona de interés. Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Luego de tener el recorte, se procedió a realizar el proceso de Pan Sharpening que consiste en realizar la fusión de la imagen multiespectral con la pancromática y crear una imagen de color de mejor resolución. <<**Raster**>>, <<**Pan Sharpen**>>, <<**Resolution Merge**>> (Figuras 5 y 6)



**Figura 5.** Imagen multispectral B1 a B7 con resolución de 30 metros Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov/>



**Figura 6.** Imagen Pan Sharpen, al unir las multispectrales con la banda pancromática de 15 metros. Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov/>

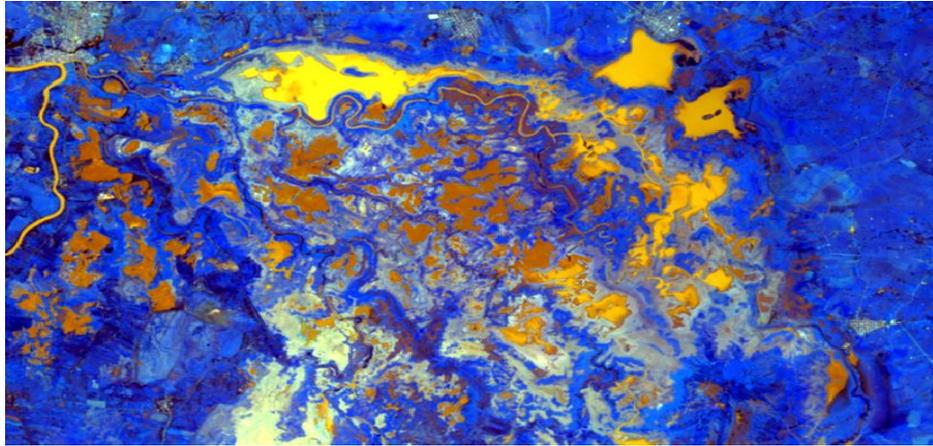
Al mejorar la calidad visual de la imagen, se procede a aplicar un filtro de Pasa Bajas de 3 x 3, el cual ayudara a evitar frecuencias indeseadas con el objetivo de suavizar la imagen.

<<Raster>>, <<Spatial>>, <<Convolution>>, se escogió <<3x3 Low Pass>>.

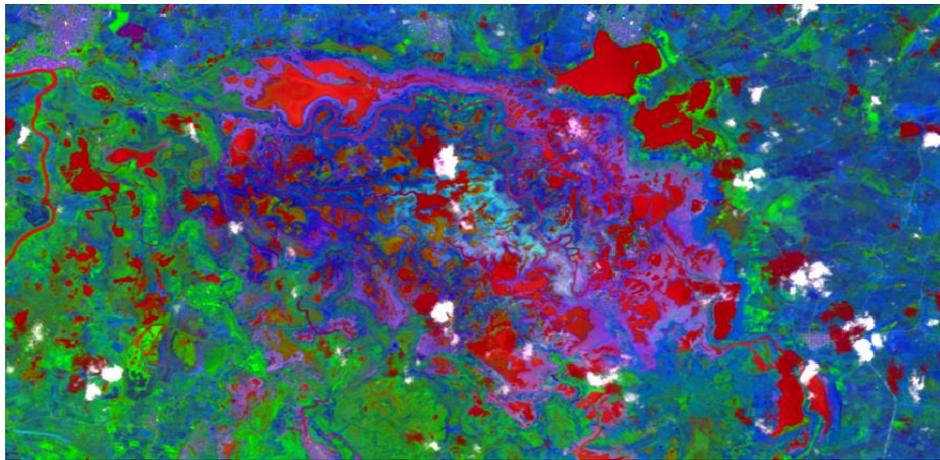


**Figura 7.** Imagen con el ajuste del filtro de pasa bajas de 3x3 Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov/>

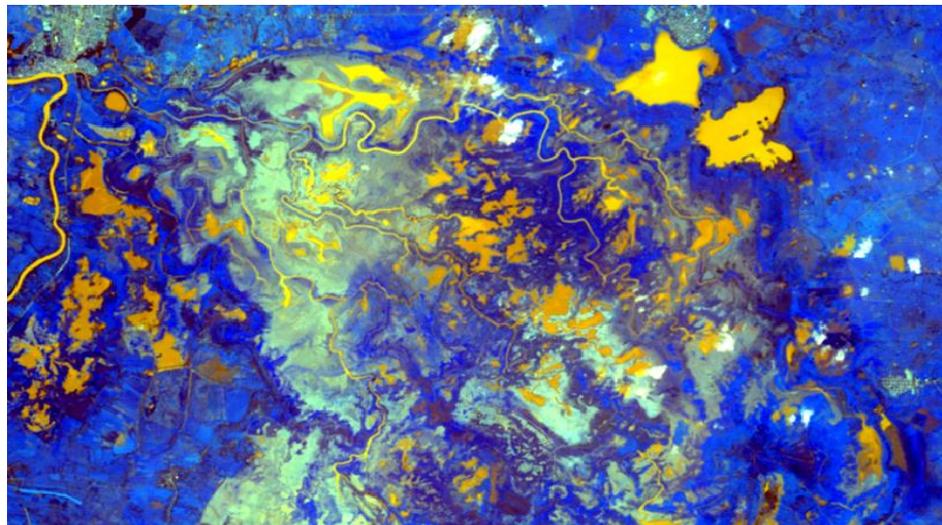
Con la imagen corregida en esta etapa, se selecciona la mejor combinación de bandas, con el cálculo del factor del índice óptico (OIF) el cual emplea la desviación estándar y la correlación de las bandas, (Figuras 8,9 y 10) las cuales son calculadas por el módulo de <<**Model Maker**>> que se encuentra en el menú <<**Toolbox**>>. Los cálculos son ajustados y procesados en Excel (ver anexos 1,2, y 3).



**Figura 8.** OIF 2014: combinación sugerida 2-4-6

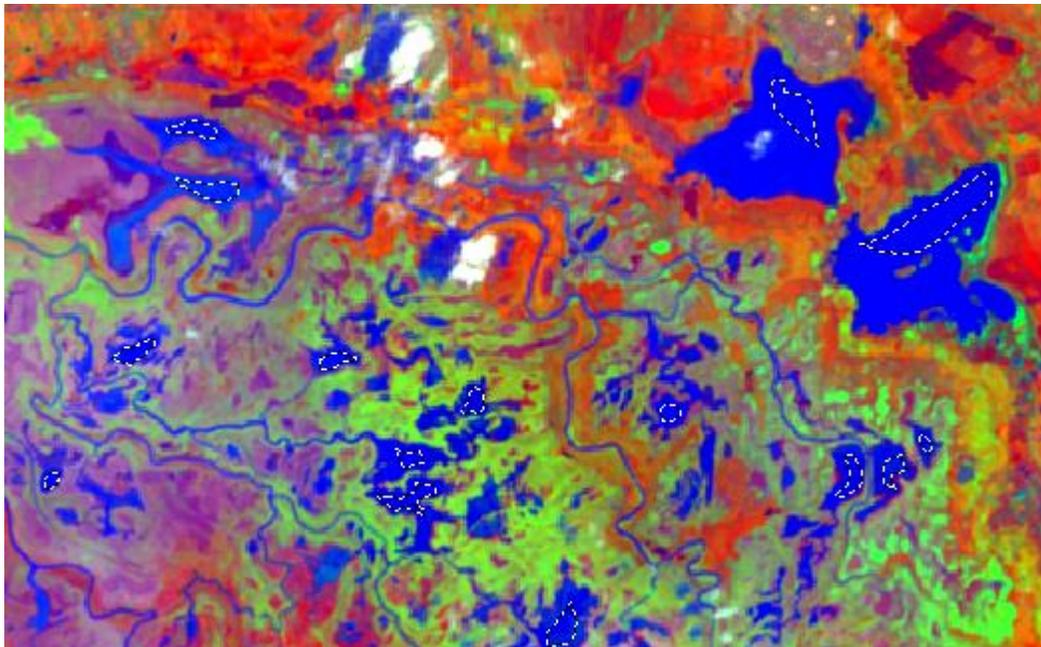


**Figura 9.** OIF 2017: combinación sugerida 1-5-7



**Figura 10.** OIF 2020: Combinación sugerida 2-4-6.

Con el cálculo del OIF ideal, se despliega la combinación indicada para la delimitación de los cuerpos de agua y se procede a realizar la clasificación supervisada, en la que se requiere tomar las muestras de firmas espectrales <<**Raster**>>, <<**Supervised**>>, <<**Signature Editor**>>, y sin cerrar la venta, <<**Drawing**>>, se crearon los polígonos de muestras y se fueron adicionando a las firmas de cada periodo (más de 30 muestras por cada periodo) para realizar el geo proceso <<**Raster**>>, <<**Supervised**>>,<<**Supervised Classification**>>. (Figura 11)



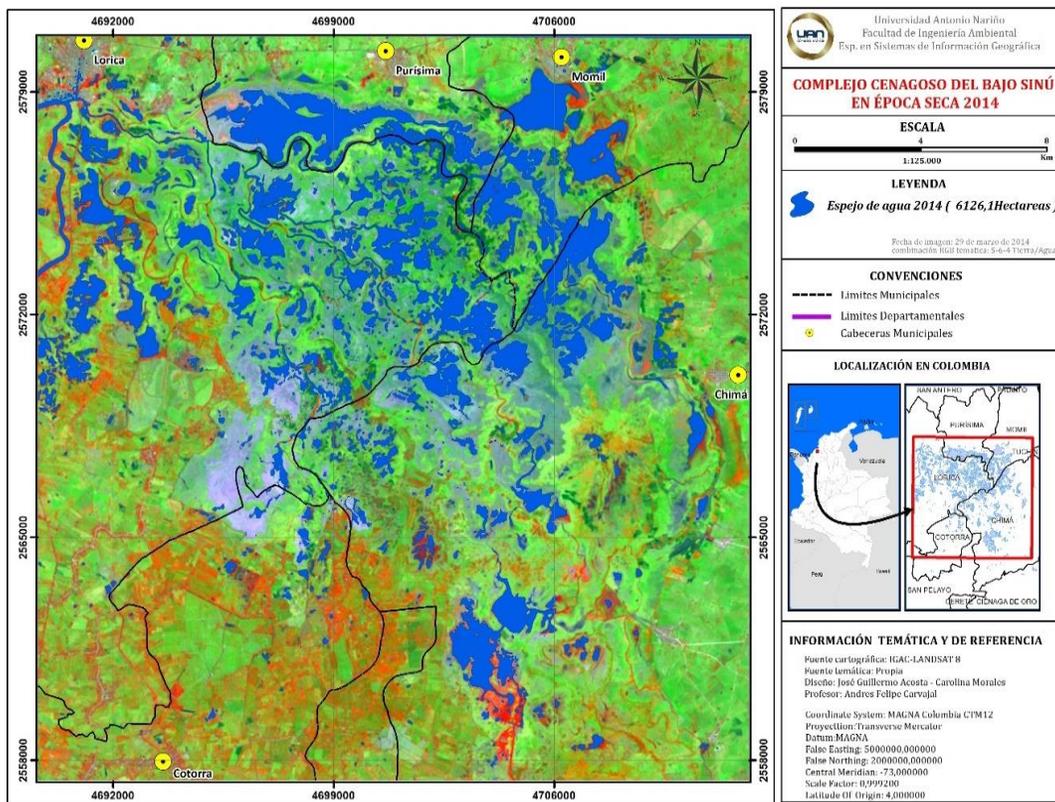
**Figura 11.** Selección de polígonos de muestra de cuerpos de agua para crear las firmas espectrales Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Los resultados obtenidos se pasaron de raster a vector <<**Manage Data**>>, <<**Raster to Shapefile**>>, con el fin de evaluar los cambios de los cuerpos de agua en hectáreas en los periodos 2014 -2017- 2020 en épocas secas. finalmente, los mapas finales se trabajaron las salidas visuales con ArcMap

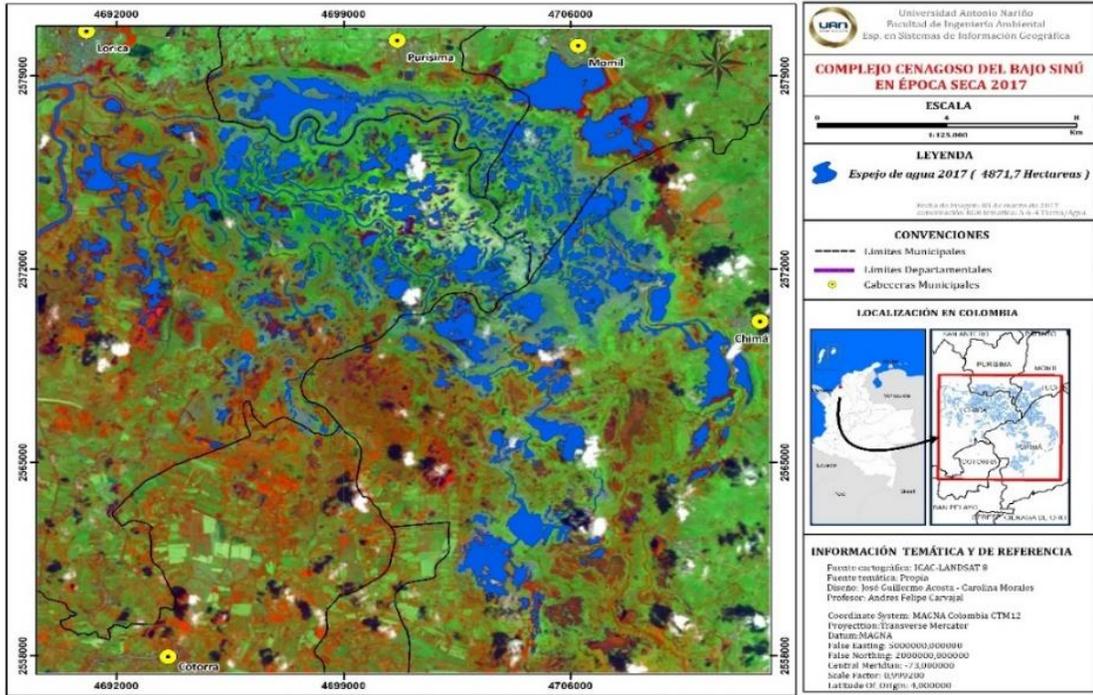
## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los objetivos planteados en la investigación, luego de realizar la clasificación supervisada de los cuerpos de agua en cada periodo evaluado de época seca se pudieron determinar cambios espaciales significativos, luego de comparar los resultados en hectáreas.

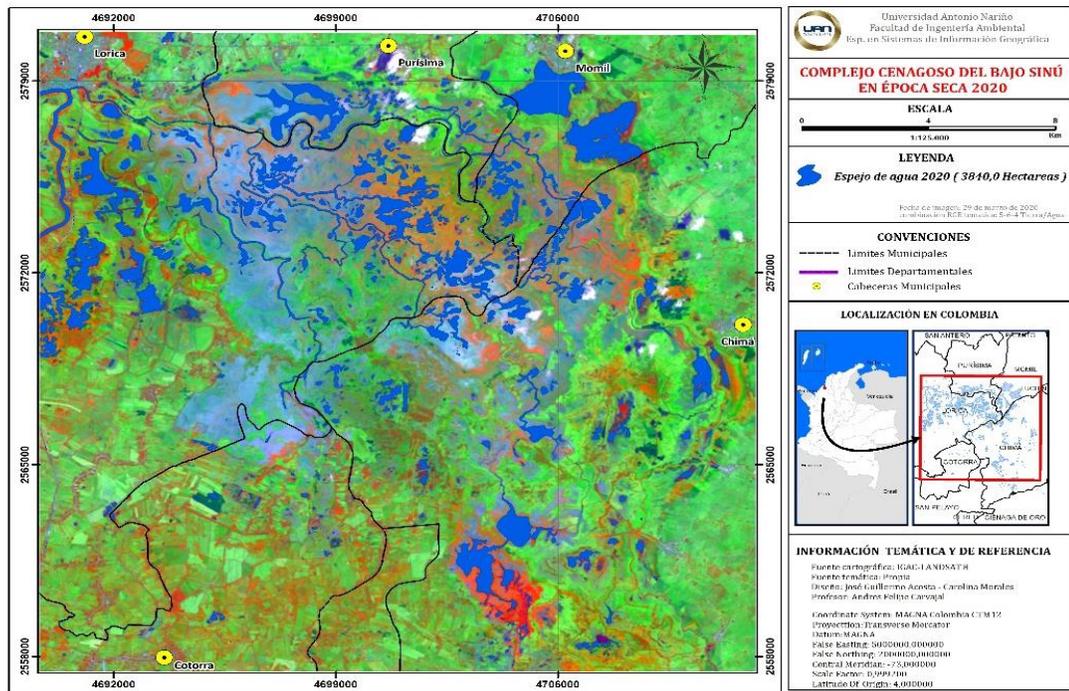
Cada periodo fue analizado espacialmente las técnicas descritas en la metodología (filtros, Pansharpen, OIF, clasificación supervisada, y cálculos de polígonos en hectáreas) para obtener los mapas de los años 2014,2017 y 2020 (Figuras 12-13-14) y posteriormente se realizó el análisis comparativo en los 3 periodos analizados (Figura 15).



**Figura 12.** Espejo de agua en épocas secas – 29 marzo de 2014 Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov/>



**Figura 13.** Espejo de agua en épocas secas – 05 marzo de 2017 Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov/>



**Figura 14.** Espejo de agua en épocas secas – 29 marzo de 2020 Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov/>

A comienzos del año 2014 el insumo de trabajo fue una Imagen Landsat 8 del 29 de marzo, de la cual se obtuvo un área de cuerpos de agua de 6126,1 ha (Figura 12). Para el año 2017 la Imagen de trabajo fue una Landsat 8 del 05 de marzo, y espacialmente el espejo de agua tenía una cobertura de 4871,7 ha. (Figura 13). Finalmente, para el año 2020 se trabajó una Imagen Landsat 8 del 29 de marzo y el recubrimiento en hectáreas fue de 3840,0 ha (Figura 14).

Al obtener los resultados en hectáreas de los cuerpos de agua por cada periodo estudiado, se analizaron los análisis espaciales comparativos del espejo de agua en las épocas secas en el Complejo Cenagoso durante los años 2014, 2017 y 2020. (Figura 15). Donde se evidencian los contrastes espaciales mayores en la parte norte de la zona de estudio, cerca de las cabeceras municipales de Lorica, Purísima y Momil.

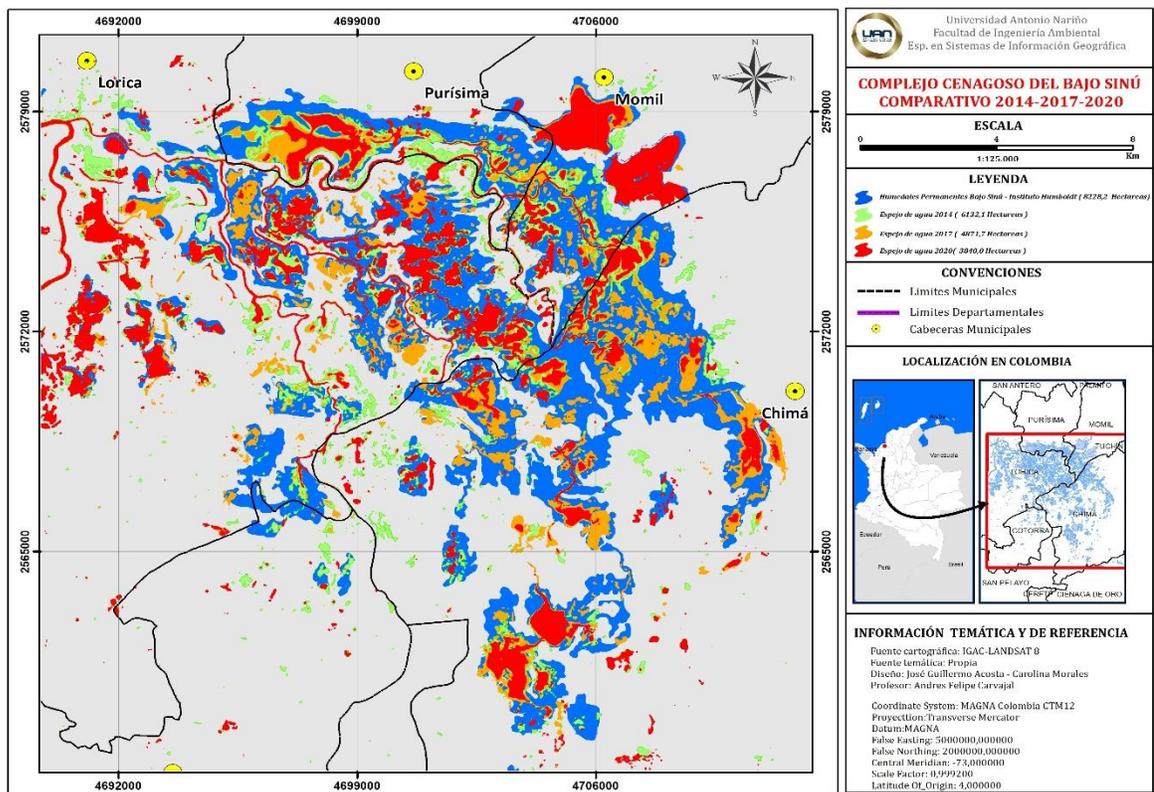
Año	ha espejo de agua	Disminución en % frente a los humedales permanentes	Disminución en % frente al año 2014	Disminución en % frente al año 2017
<b>Humedales permanentes 2015 - Instituto Humboldt</b>	<b>8228,2</b>			
2014	6126,1	-25,5		
2017	4871,7	-40,8	-20,5	
2020	3840	-53,3	-21,2	-21,2

**Tabla 2.** comparativa del retroceso del espejo frente a los humedales permanentes de agua y los periodos de época seca de los años 2014-2017-2020.

Se observa que los humedales permanentes de la clasificación del Instituto Alexander Von Humboldt. (2016) tienen un retroceso en épocas secas al compararlos con los años 2014 en los que

observa una disminución del 25,5%, para el año 2017 fue del 40,8% finalmente en el año 2020 el espejo de agua retrocedió mas de la mitad del área permanente con un 53,3%.

En los análisis comparativos de los periodos en épocas secas en el mes de marzo, se evidencia cómo cambia abruptamente el espejo de agua en porcentajes superiores al 20%, durante el periodo 2017 con respecto al año 2014 que en hectáreas de agua paso de 6126,1 a 4871,7 ha. Disminuyendo hasta el 20,5%. Para el año 2020 se observan grandes cambios respecto al 2014, donde la perdida es del 37,3% puesto que de 6126,1 ha se pasó a tener 3840,0 ha en tan solo 6 años. De igual manera se hace un comparativo con el año 2017 y la perdida con este periodo y la perdida es del 21,2% que pasó a tener 4971,7 ha a 3870,0 ha.



**Figura 15.** Comparativo del espejo de agua permanente y las épocas secas de los años 2014-2017-2020

Podemos observar como el espejo de agua cambia durante los periodos 2014-2017-2020 aportar más información a los estudios realizados en el Complejo Cenagoso y contrastar estos resultados con los obtenidos por Mejía Ávila et al., (2019) a partir del modelado de la dinámica de la llanura aluvial en los que analizaron la disminución de la capacidad superficial máxima en la fue de (32,9%) al comprar los periodos 1991 a 2003 en épocas secas, lo cual indica que complejo cenagoso viene sufriendo los impactos del retroceso del espejo de agua desde los años noventa.

El cambio del espejo de agua en el Complejo del Bajo Sinú entre 2014,2017 y 2020 proporciona evidencia cuantitativa de los resultados de la investigación de Vélez Flórez (2009) quien descubrió que la Represa Hidroeléctrica Urrá incrementaba los caudales de agua del río Sinú en el período de bajo nivel de agua (diciembre-abril), y disminuía los caudales en la temporada de invierno (mayo-noviembre); pero a pesar de eso el complejo cenagoso que recibe aguas del Rio Sinú, para los meses de marzo se evidencia que con el pasar de los años el retroceso del espejo de agua es muy alto.

De acuerdo a los resultados obtenidos con la metodología de utilizar imágenes libres como son las Landsat 8 de 30 metros de resolución espacial para realizar estudios multitemporales, son muy provechosos cuando se emplean técnicas de mejoramiento de resolución como el Pansharpen que utiliza la imagen pancromática de 15 metros para mejorar visualmente las imágenes. Las correcciones atmosféricas como son los filtros de pasa bajas empleados, se pueden establecer que son de gran importancia para mejorar algunos errores que traen las imágenes de acceso libre como son las de Landsat 8.

Los cálculos del OIF sirven para determinar las mejores combinaciones en una zona determinada de acuerdo a las coberturas que presenten y tienden a cambiar según el estado de las

coberturas en la época como fue el caso de los periodos 2014 y 2020 que sugirió el OIF 2-4-6, pero intermedio en el periodo 2017 el OIF ideal según los cálculos fue el 1-5-7, que para la etapa de clasificación supervisada, tuvieron gran utilidad puesto que se tuvieron mejoras visuales de interpretación las coberturas, que en este caso las de más interés fueron las de los cuerpos de agua.

## 6. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran la variación espacial de espejo de agua del Complejo Cenagoso del Bajo Sinú en el departamento durante los periodos de épocas secas (mes de marzo) en los años 2014-2017-2020 en los cuales se nota un decrecimiento de 6126,1 ha, 4871,7 ha y 3840,0 ha respectivamente.

Los resultados de los análisis comparativos realizados entre los tres periodos demuestran que el espejo de agua del Complejo Cenagoso del Bajo Sinú tiene un decrecimiento superior al 20% en lapsos de tiempo de cada 3 años y para cada 6 años entre 2014 y 2020 la perdida es del 37%. Y en lo que respecta al retroceso en épocas frente a los cuerpos de aguas permanentes la disminución aumenta cada 3 años en los periodos estudiados a un ritmo superior al 25,5%, 40,8% y 53,3%.

Los análisis espaciales realizados, afirman el retroceso del espejo de agua en épocas secas en los que se evidencia cada vez los periodos de sequias, los cuales tienden a ser más fuertes por lo que a futuro el complejo cenagoso puede desaparecer para los meses de marzo donde se hizo la investigación.

## **7. RECOMENDACIONES**

El Complejo Cenagoso del Bajo Sinú, es un ecosistema de gran importancia en el departamento de Córdoba por la riqueza ambiental y económica que representa para los municipios de Loricá, Cotorra, Purísima, Momíl y Chimá, cada año los periodos de sequias cada vez son más fuertes en las épocas secas de marzo y a eso se suman ciertas actividades como la ganadería extensiva, quemas indiscriminadas entre otras actividades antrópicas, por tal motivo es importante crear conciencia sobre los impactos que cada año hace que se pierda significativamente el espejo de agua.

Los resultados obtenidos con técnicas de percepción remota representan una realidad del territorio evaluado y pueden ser empleados como base para implementar estrategias de monitoreo en el Complejo Cenagoso del Bajo Sinú en periodos futuros y seguir monitoreando los periodos de épocas secas en la región.

La técnica de percepción remota tiene una amplia aplicabilidad soportada con estudios y muchas bibliografías, así como programas robustos como Erdas y ArcMap que sirven para llevar a cabo los procesos necesarios. Se resalta la importancia de poder acceder a imágenes satelitales de Landsat 8 que actualmente son gratuitas y que para periodos de épocas secas presentan buena calidad con baja nubosidad y se pueden aprovechar estudios de escalas regionales para analizar coberturas y hacer análisis multitemporales sobre alguno fenómeno determinado.

## REFERENCIAS

- Bustamante Vergara, J. P., & Mercado Espitia, K. J., 2020. Modelación Espacio-Temporal del Complejo Cenagoso de Ayapel-Córdoba usando Series de Tiempo de Imágenes Landsat. ( tesis de pregrado) UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA-COLOMBIA. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/3051/BUSTAMANTE%20VERGAR A%20JUAN%20PABLO%20%20MERCADO%20ESPITIA%20KATRINTH%20JOHANNA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Camelo-Mendoza, Lina M.; Martínez-Peña, Myriam L.; Ovalle-Serrano, Hernando; Jaimes, Vilma Conservación ex situ de la vegetación acuática de humedales de la sabana de Bogotá Biota Colombiana, vol. 17, núm. 1, julio, 2016, pp. 3-26 Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt" Bogotá, Colombia.
- De Roeck, Els R., Verhoest, N.E.C., Miya, M.H., Lievens, H., Batelaan, O., Thomas, A. & Brendonck, L. (2008). Remote Sensing and Wetland Ecology: a South African Case Study. *Sensors* 8, pp. 3542-3556.
- Díaz Carvajal, Ángel; Mercado Fernández, Teobaldis Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG Ingeniería y Desarrollo, vol. 35, núm. 2, julio-diciembre, 2017, pp. 452-470 Universidad del Norte Barranquilla, Colombia. <https://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/8920/214421444137>
- Etter, A., Andrade, A., Saavedra, K., & Cortés, J. (2017). Actualización de la Lista Roja de 1995 los Ecosistemas Terrestres de Colombia: conocimiento del riesgo de ecosistemas como 1996 herramienta para la gestión. *Biodiversidad*.
- Flórez-Ayala, C., Estupiñán-Suárez, L., Rojas, S., Aponte, C., Quiñones, M., Acevedo, O., Vilardy Q., & Sandra Patricia Jaramillo Villa, Úrsula. Identificación espacial de los sistemas de humedales continentales de Colombia Biota Colombiana, vol. 17, 1, pp. 44-62, 2016 Instituto de Investigación de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt"
- García Rodríguez, M, P. Pérez Gonzales, M, E. & Sanz Donaire. "Variabilidad hídrica y edáfica de humedales peninsulares interiores a partir de imágenes Landsat (TM y ETM)". *ESTUDIOS GEOGRÁFICOS*, LXVII, 260, ENERO-JUNIO, 57-78, 2006ISSN: 0014-1496 <https://doi.org/10.3989/egeogr.2006.i260.43>
- Hadjimitsis, D. G., Papadavid, G., Agapiou, A., Themistocleous, K., Hadjimitsis, M. G., Retalis, A., Michaelides, S., Chrysoulakis, N., Toullos, L., and Clayton, C. R. I.: Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: impact on vegetation indices, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 89–95, [https://www.researchgate.net/publication/41908062\\_Atmospheric\\_correction\\_for\\_satellite\\_remotely\\_sensed\\_data\\_intended\\_for\\_agricultural\\_applications\\_Impact\\_on\\_vegetation\\_indices](https://www.researchgate.net/publication/41908062_Atmospheric_correction_for_satellite_remotely_sensed_data_intended_for_agricultural_applications_Impact_on_vegetation_indices)
- Instituto Alexander von Humboldt. (2016). Recomendación para la delimitación, por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, del Complejo de Páramos de Miraflores a escala 1:25.000. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt – Fondo Adaptación. <http://geonetwork.humboldt.org.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/7ff0663a-129c-43e9-a024-7718dbe59d60>
- Mejía Ávila, D., Soto Barrera, V, C., & Martínez Lara, Z., (2019): Spatio-temporal modelling of wetland ecosystems using Landsat time series: case of the Bajo Sinú Wetlands Complex (BSWC)– Córdoba– Colombia, *Annals of GIS*, DOI: 10.1080/19475683.2019.1617347

- Ramsar, Irán, (1971) 4a. edición. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención de Ramsar,2006. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib\\_manual2006s.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf)
- Ratti, J. T., A. M. Rocklage, J. H. Giudice, E. O. Garton y D. P. Golner (2001), "Comparison of avian communities bn restored and natural wetlands in North and South Dakota", *The Journal of Wildlife Management*, vol. 65, no. 4, pp. 676-684.
- Salazar, I. (2008). La economía de la ciénaga Grande del Bajo Sinú: lugar encantado de las aguas. Economía Regional (págs. 96-134). Cartagena: Banco de la Republica sucursal Cartagena.
- Senhadji Navarro, K., Ruíz Ochoa, M.A. Rodríguez Miranda, J.P. (2017). Estado ecológico de algunos humedales colombianos en los últimos 15 años: Una evaluación prospectiva. *Colombia Forestal*, 20(2), 181-191.
- Torres Pereira, K. L., 2020. Variación Espacial y Temporal del Espejo de Agua Correspondiente a la Ciénaga de Ayapel – Córdoba durante el Periodo 2000-2018 (pasantía). UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/3480/TorresPereiraKarenLorena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tri Dev Acharya, In Tae Yang, and Dong Ha lee, Land Cover Classification of Imagery from Landsat operational Land Imager Based on Optimum Index Factor, *Sens. Mater.*, Vol. 30, No. 8, 2018, p. 1753-1764.
- Vélez Flórez, A. (2009). Propuesta metodológica para la evaluación y cuantificación de la alteración del régimen de caudales de corrientes alteradas antrópicamente, caso Urrá I

# ANEXOS

## Anexo 1 Cálculos OIF 2014

DESVIACION ESTANDAR - IMAGEN 2014						
1	2	3	4	5	6	7
1258,8	1203,8	1144,9	1137,6	1472,4	2629,0	1807,8

Matriz de Correlación - IMAGEN 2014							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,993	0,9531	0,7593	-0,381	-0,72	-0,40721
2	0,993	1	0,9796	0,8272	-0,368	-0,64	-0,31583
3	0,9531	0,9796	1	0,9006	-0,267	-0,526	-0,20919
4	0,7593	0,8272	0,9006	1	-0,302	-0,129	0,18789
5	-0,3812	-0,3684	-0,267	-0,302	1	0,1077	-0,18134
6	-0,7196	-0,6397	-0,526	-0,129	0,108	1	0,88148
7	-0,4072	-0,3158	-0,209	0,1879	-0,181	0,8815	1

B1	B2	B3	OIF
2	4	6	85534,3
2	6	7	76142,0
1	4	6	56074,5
1	4	5	50599,0
3	6	7	38100,3
2	3	6	26767,6
2	4	5	24256,2
3	4	6	20011,0
1	3	6	17219,9
4	5	6	16202,8
1	2	5	16168,1
1	2	7	15819,8
4	5	7	14972,0
1	2	6	13899,3
1	3	5	12703,9
1	3	7	12508,2
3	4	5	11302,1
2	3	5	11093,3
2	3	7	9144,4
1	4	7	7785,6

B1	B2	B3	OIF
3	5	7	6732,4
2	4	7	5933,6
4	6	7	5930,2
2	5	6	5891,8
3	5	6	5690,7
1	5	6	5397,1
2	5	7	5180,6
5	6	7	5020,5
1	5	7	4680,4
3	4	7	4651,8
1	6	7	4354,0
1	2	4	2903,6
1	3	4	1355,3
2	3	4	1287,7
1	2	3	1233,1

## Anexos 2 Cálculos OIF 2017

DESVIACION ESTANDAR-IMAGEN 2017						
1	2	3	4	5	6	7
1365,6	1395,4	1373,2	1583,6	2099,8	3029,3	1989,5

Matriz de Correlación - IMAGEN 2017							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,99028	0,94605	0,81508	-0,16523	-0,2423	0,060841
2	0,99028	1	0,97866	0,88292	-0,10193	-0,1137	0,18497
3	0,94605	0,97866	1	0,9338	0,033088	0,022209	0,30153
4	0,81508	0,88292	0,9338	1	-	0,32467	0,58634
5	-0,16523	0,10193	0,033088	-0,013506	1	0,27362	0,091956
6	-0,2423	-0,1137	0,022209	0,32467	0,27362	1	0,92639
7	0,060841	0,18497	0,30153	0,58634	0,091956	0,92639	1

B1	B2	B3	OIF
1	5	7	438743,7
2	5	6	112510,8
1	6	7	71331,7
1	5	6	48500,5
2	5	7	31341,9
3	5	6	17112,8
3	5	7	12805,5
4	5	6	11478,9
1	2	6	9128,9
4	5	7	8533,4
1	3	6	7945,5
1	4	5	7934,4
1	2	5	6722,0
1	4	6	6661,7
2	4	5	6617,5
2	3	6	6535,3
2	6	7	6429,2
1	3	5	5944,9
2	4	6	5492,6
2	3	5	5351,0

B1	B2	B3	OIF
3	4	5	5303,9
3	6	7	5113,1
3	4	6	4674,2
5	6	7	3985,0
1	2	7	3843,2
1	3	7	3613,7
4	6	7	3593,3
1	4	7	3377,4
1	2	4	3350,1
2	3	7	3247,5
2	4	7	3003,5
3	4	7	2715,3
1	3	4	1603,9
2	3	4	1556,9
1	2	3	1418,3

### Anexos 3 Cálculos OIF 2020

DESVIACION_ESTANDAR-IMAGEN 2020						
1	2	3	4	5	6	7
1066,1	1026,8	977,7	953,5	1366,3	2521,8	1742,3

Matriz de Correlación - IMAGEN 2017							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,99028	0,94605	0,81508	-0,16523	-0,2423	0,060841
2	0,99028	1	0,97866	0,88292	-0,10193	-0,1137	0,18497
3	0,94605	0,97866	1	0,9338	0,033088	0,022209	0,30153
4	0,81508	0,88292	0,9338	1	-0,013506	0,32467	0,58634
5	-0,16523	-0,10193	0,033088	-0,013506	1	0,27362	0,091956
6	-0,2423	-0,1137	0,022209	0,32467	0,27362	1	0,92639
7	0,060841	0,18497	0,30153	0,58634	0,091956	0,92639	1

B1	B2	B3	OIF
1	5	7	438743,7
2	5	6	112510,8
1	6	7	71331,7
1	5	6	48500,5
2	5	7	31341,9
3	5	6	17112,8
3	5	7	12805,5
4	5	6	11478,9
1	2	6	9128,9
4	5	7	8533,4
1	3	6	7945,5
1	4	5	7934,4
1	2	5	6722,0
1	4	6	6661,7
2	4	5	6617,5
2	3	6	6535,3
2	6	7	6429,2
1	3	5	5944,9
2	4	6	5492,6
2	3	5	5351,0

B1	B2	B3	OIF
3	4	5	5303,9
3	6	7	5113,1
3	4	6	4674,2
5	6	7	3985,0
1	2	7	3843,2
1	3	7	3613,7
4	6	7	3593,3
1	4	7	3377,4
1	2	4	3350,1
2	3	7	3247,5
2	4	7	3003,5
3	4	7	2715,3
1	3	4	1603,9
2	3	4	1556,9
1	2	3	1418,3

