



“Estudio multitemporal de la variabilidad hídrica y cambios en la cobertura de la ciénaga de Paredes, unidad hidrográfica del río Lebrija (2004-2024)”.

Modalidad: Proyecto de investigación

Brayan Jofreth Meléndez Albarracín
CC. 1101521124

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga 01/10/2025



“Estudio multitemporal de la variabilidad hídrica y cambios en la cobertura de la ciénaga de Paredes, unidad hidrográfica del río Lebrija (2004-2024)”.

Modalidad: Proyecto de investigación

Brayan Jofreth Meléndez Albarracín
CC. 1101521124

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniería en topografía**

DIRECTOR

Clara Inés Torres Vásquez

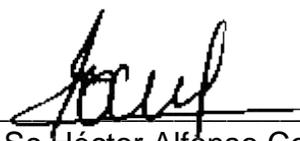
Grupo de Investigación de Medio Ambiente y Territorio – GRIMAT

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Ciencias naturales e ingeniería
Ingeniería en topografía
Bucaramanga 01/10/2025

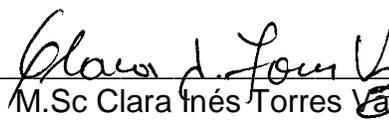
Nota de Aceptación

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por
Las Unidades Tecnológicas de Santander para optar al título
de Ingeniero Topógrafo
Según acta #26 del Comité de Proyectos de Grado
Del 03-10-2025

Docente evaluador: M.Sc Héctor Alfonso Correa Rangel
Docente directora: M.Sc Clara Inés Torres Vásquez



M.Sc Héctor Alfonso Correa Rangel
Firma del Evaluador



M.Sc Clara Inés Torres Vásquez
Firma del Director

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia, por su apoyo incondicional, por creer en mí en cada etapa y por ser la base que me ha sostenido en los momentos más difíciles de mi carrera profesional. Su amor y comprensión han sido esenciales para alcanzar este logro.

También a mi pareja, por su paciencia, motivación y respaldo constante. Gracias por estar presente en cada paso, brindándome ánimo y confianza para seguir adelante. Finalmente, a mis amigos, por su compañía, por compartir conmigo cada esfuerzo y cada alegría durante este proceso; su presencia ha hecho que el camino sea más llevadero.

AGRADECIMIENTOS

Expresó mi más sincero agradecimiento a la Universidad por brindarme los conocimientos, las herramientas y el espacio para desarrollar este proyecto, así como por ser el lugar que me ofreció la posibilidad de crecer personal y profesionalmente. A mi director de tesis, por su guía, compromiso y dedicación durante todo el proceso, su orientación fue clave para transformar las ideas en resultados concretos y significativos. También, al profesor que me inspiró con la idea inicial del proyecto, por su apoyo y por motivarme a explorar nuevos enfoques que enriquecieron esta investigación.

A mis compañeros de universidad, por su colaboración, amistad y disposición para compartir conocimientos; su compañía hizo más ameno cada momento y más valioso cada logro. Finalmente, a todas las personas que de una u otra forma, aportaron su tiempo, sus consejos, sus conocimientos y su ánimo para que este trabajo se desarrollara.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	10
INTRODUCCIÓN	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. JUSTIFICACIÓN	15
1.3. OBJETIVOS	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4. ESTADO DEL ARTE	17
2. MARCO REFERENCIAL.....	21
2.1. MARCO TEÓRICO:.....	21
2.2. MARCO LEGAL:.....	23
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	27
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO.....	29
4.1. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	29
4.1.1. PARÁMETROS PARA SELECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES	29
4.1.2. PROCESAMIENTO	30
4.1.3. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES.....	31
4.1.4. COMPONENTES	31
4.2. DEFINICIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO.	38
4.2.1. GEOGRAFÍA	38
4.2.2. HIDROGRAFÍA.....	39
4.2.3. SUELOS Y COBERTURA VEGETAL.....	40
4.2.4. DELIMITACIÓN Y ÁREA CIRCUNDANTE	41
4.3. PROCESAMIENTO DIGITAL.	42
4.4. SELECCIÓN DE CLASIFICACIÓN	42
4.5. CÁLCULO DE ÍNDICES ESPECTRALES Y ROIS	45
4.6. CLASIFICACIÓN DIGITAL	50
4.7. ANÁLISIS MULTITEMPORAL	55
5. RESULTADOS.....	59
5.1. RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA INTRA-ANUAL	59

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPREDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 2.0

5.1.1.	RESULTADOS DE RECLASIFICACIÓN Y DINÁMICA DE CLASES DE TRANSICIÓN	63
5.2.	RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA INTERANUAL.....	70
6.	CONCLUSIONES.....	76
7.	RECOMENDACIONES	78
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
9.	ANEXOS	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Selección de imagen, época seca 1, año 2004.....	32
Figura 2: Selección de imagen, época seca 1, año 2014.....	33
Figura 3: Selección de imagen, época seca 1, año 2024.....	34
Figura 4: Selección de imagen, época seca 2, año 2004.....	35
Figura 5: Selección de imagen, época seca 2, año 2014.....	36
Figura 6: Selección de imagen, época seca 2, año 2024.....	37
Figura 7: Ubicación.....	38
Figura 8: Hidrología.....	39
Figura 9: Suelos.....	40
Figura 10: Delimitación.....	41
Figura 11: Clasificación supervisada.....	44
Figura 12: Clasificación no supervisada.....	44
Figura 13: Combinación RGB (4-3-2) VERDADERO COLOR diferenciar cuerpos de agua.....	48
Figura 14: Combinación RGB (7-6-4) FALSO COLOR destaca los suelos desnudos vs cultivos y vegetación.....	48
Figura 15: Combinación RGB (5-4-4) FALSO COLOR vegetación en un rojo intenso se diferencia de cultivos.....	49
Figura 16: Combinación RGB (5-4-3) FALSO COLOR diferenciación de vegetación a cultivos rojo menos intenso.....	49
Figura 17: Combinación RGB (7-6-4) FALSO COLOR resalta carreteras, techos y áreas construidas frente a la vegetación en colores gris y azul.....	50
Figura 18: Clasificación supervisada época 1.....	52
Figura 19: Clasificación supervisada época 2.....	52
Figura 20: Clasificación supervisada intra-anual 2024.....	53
Figura 21: Clasificación supervisada interanual época 1.....	54
Figura 22: Reclasificación intra-anual 2024 (15 clases).....	57
Figura 23: Reclasificación interanual época 2 (15 clases).....	58
Figura 24: reclasificación intra-anual 2004 (15 clases).....	63
Figura 25: reclasificación intra-anual 2014 (15 clases).....	65
Figura 26: reclasificación intra-anual 2024 (15 clases).....	67
Figura 27: reclasificación interanual época 1 (15 clases).....	72
Figura 28: reclasificación interanual época 2 (15 clases).....	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1:	17
<i>Estado del arte</i>	17
Tabla 2:	30
<i>Selección de imágenes</i>	30
Tabla 3:	31
<i>Características de las imágenes satelitales</i>	31
Tabla 4:	31
<i>Imagen 2004 época seca 1</i>	31
Tabla 5:	32
<i>Imagen 2014 época seca 1</i>	32
Tabla 6:	33
<i>Imagen 2024 época seca 1</i>	33
Tabla 7:	34
<i>Imagen 2004 época seca 2</i>	34
Tabla 8:	35
<i>Imagen 2014 época seca 2</i>	35
Tabla 9:	36
<i>Imagen 2024 época seca 2</i>	36
Tabla 10:	43
<i>Comparación de clasificaciones</i>	43
Tabla 11:	46
<i>Elección de ROIs</i>	46
Tabla 12:	56
<i>Clasificación de 15 clases</i>	56
Tabla 13:	60
<i>Coberturas 2004</i>	60
Tabla 14:	61
<i>Coberturas 2014</i>	61
Tabla 15:	62
<i>Coberturas 2024</i>	62
Tabla 16:	64
<i>Clases de transición 2004</i>	64
Tabla 17:	66
<i>Clases de transición 2014</i>	66
Tabla 18:	68
<i>Clases de transición 2024</i>	68
Tabla 19:	70
<i>Cobertura interanual época 1</i>	70
Tabla 20:	73
<i>Cobertura interanual época 2</i>	73

RESUMEN EJECUTIVO

Los humedales y ciénagas representan uno de los ecosistemas fundamentales para la naturaleza por sus funciones reguladoras del ambiente, puesto que almacenan el agua y amortiguan inundaciones, sin embargo, en la actualidad los estudios enfocados en dichos ecosistemas son escasos. Es por ello, que el objetivo de esta investigación mixta con alcance descriptivo- explicativo fue analizar la evolución hidromorfológica y los cambios en la cobertura de la Ciénaga de Paredes (unidad hidrográfica del río Lebrija) en los últimos 20 años (2004-2024), mediante técnicas de análisis multitemporal con imágenes satelitales, SIG y herramientas geoespaciales para la identificación de patrones de transformación y su relación con factores antrópicos y ambientales; la técnica de estudio escogida fue la clasificación supervisada aplicada, no solo a los cambios interanuales, sino también a las variaciones intra-anales en las épocas de sequía. Dentro de los Hallazgos más relevantes se encuentra que la Ciénaga de Paredes posee una capacidad de adaptación ante las actividades antrópicas y que su variación hidro morfológica tiene un panorama positivo por el momento.

PALABRAS CLAVE. Ciénaga, humedal, análisis multitemporal, Landsat, clasificación supervisada.

INTRODUCCIÓN

Para la presente investigación, en primer lugar, es necesario mencionar la importancia del agua como recurso fundamental y, sobre todo, resaltar los humedales y ciénagas como ecosistemas que representan una de las unidades ecológicas más importantes para la regulación ambiental y el sostenimiento de la biodiversidad. Así pues, los humedales en Colombia representan alrededor de 20.252.500 hectáreas (17,48% de su territorio continental), ubicadas en su mayoría en la zona media de la cuenca del río Magdalena. Por su parte, las ciénagas se caracterizan por ser cuerpos de agua de flujo lento se encuentran cerca a los afluentes de agua en zonas de poca pendiente o de inundación, representan un ecosistema de alto valor debido a la importancia en la regulación del ciclo hídrico y el potencial ecológico y económico.

Las ciénagas a lo largo del tiempo han sido subvaloradas y consideradas como terrenos poco productivos empleados únicamente para actividades agropecuarias; lo que conlleva a afectaciones de tipo antrópico que generan variabilidades hídricas y cambios de la cobertura del suelo; no obstante, en la actualidad han adquirido mayor relevancia y se han convertido en ecosistemas fundamentales para las comunidades ribereñas.

En este sentido, el presente trabajo de investigación tiene como intención realizar un análisis multitemporal de la variabilidad hídrica y el cambio de coberturas en la ciénaga de Paredes ubicada en la zona media del río Magdalena en los municipios de Sabana de Torres y Puerto Wilches (unidad hidrográfica del río Lebrija), durante un periodo de 20 años; mediante herramientas SIG, e imágenes satelitales Landsat, las cuales permiten identificar y cuantificar los cambios de coberturas, el uso del suelo y los cambios en los cuerpos de agua.

De igual forma, esta investigación realiza un aporte a la comprensión de las transformaciones espaciotemporales, con un enfoque interdisciplinar que combina el análisis ambiental, territorial e hidrológico; lo que contribuye en la ampliación de los recursos técnicos para la toma de decisiones en el ordenamiento del territorio y la gestión integral de las fuentes de agua, alineado a la política ambiental del país.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las ciénagas son ecosistemas acuáticos caracterizados por ser cuerpos de agua estancados y de flujo lento, con una tendencia a ser considerados como terrenos fangosos e inútiles utilizados únicamente para la ganadería y agricultura; se ubican en terrenos de poca pendiente y con gran interacción con ríos y quebradas. Su importancia radica en la regulación del ciclo hídrico biológico anual, ya que actúa como cámara de amortiguación del agua, además de su potencial productivo y ecológico-económico (Luis Francisco Moreno B & Carlos Fonseca Z, 1987), debido a que constituye el hábitat de gran variedad de especies de flora y fauna local y migratoria. (Mojica, Arévalo, González, & Murillo, 2014)

Actualmente las ciénagas se encuentran en constante cambio por procesos naturales de estacionalidad, y por procesos antrópicos como actividades agropecuarias y de pesca, deforestación y el vertimiento de aguas no tratadas que afectan el hábitat de las especies. En Colombia la falta de estudios relacionados con estos ecosistemas es la razón del mal manejo y cuidado, lo que conduce al olvido de la importancia en la dinámica fluvial. (Luis Francisco Moreno B et al., 1987)

Tal como es el caso de la ciénaga de paredes, ubicada en el departamento de Santander en el valle medio de la cuenca del río Magdalena entre los municipios de Puerto Wilches y Sabana de Torres y las cercanías de Barrancabermeja; que a pesar de que posee una gran importancia por ser un ecosistema estratégico, ha presentado cambios significativos, a raíz de factores como sedimentación, expansión urbana, actividades petroleras y variabilidad climática puede generar pérdida de biodiversidad y alteraciones en el régimen hidrológico.

Surge así la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo ha sido el cambio de la Ciénaga de Paredes como unidad hidrográfica del río Lebrija, Santander en cuanto a variabilidad hídrica, morfología, extensión y cobertura en los últimos 20 años y cómo analizar dicho cambio a partir de los SIG o de técnicas de análisis espacial?

1.2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, tanto a nivel nacional como internacional, el recurso hídrico ha adquirido una relevancia significativa en los ámbitos político, social, educativo y ambiental. En Colombia, se han proporcionado lineamientos con el propósito de generar conciencia sobre la preservación de este recurso natural y así, mitigar el desperdicio; de igual forma, se han desarrollado acciones para ejercer control sobre el consumo desmedido del agua.

Ahora bien, es preciso mencionar que el departamento de Santander cuenta con una riqueza hídrica, como lo es el sistema hidrológico en la zona del Magdalena medio con afluentes departamentales como son los ríos Carare, Opón, Sogamoso y con gran importancia el río Lebrija, sumado a 69 humedales, y en las zonas de inundación destacan por las ciénagas de diferentes tipos que se forman a lo largo de la margen derecha del río Magdalena (Mojica, Arévalo, González, & Murillo, 2014). Una de dichas ciénagas es la de Paredes, que se caracteriza por ser un ecosistema acuático que brinda gran variedad de servicios ecológicos a la región, sin embargo, la sobreexplotación y el mal manejo, sumado a los cambios climáticos y estacionalidad han alterado su morfodinámica de la ciénaga como recurso natural.

Un ecosistema como la Ciénaga de Paredes, unidad hidrográfica del río Lebrija, desempeña un rol importante en lo que concierne a regulación hídrica, biodiversidad y actividades socioeconómicas como la pesca, agricultura e incluso, el turismo. No obstante, estos hábitats pueden estar enfrentando amenazas por sedimentación, contaminación y cambios en el uso del suelo; por lo cual, un análisis geoespacial detallado contribuirá y permitirá caracterizar su dinámica, identificar riesgos y generar insumos para la gestión territorial.

Por ende, el impacto ambiental y socioeconómico que genera la degradación de estos ecosistemas constituye la principal razón para este estudio, dado que, no solo se realiza para comprender la dinámica del ecosistema, sino también con el fin de cooperar en el desarrollo de herramientas para la planificación territorial y la reducción de efectos adversos sobre el ecosistema. Asimismo, la integración de metodologías de análisis geoespacial y teledetección, proporcionarán una evaluación precisa y actualizada del estado de la ciénaga; lo que permitirá sentar las bases para su protección y correcto aprovechamiento. Finalmente, el presente trabajo contribuye a la línea del grupo de investigación de medio ambiente y territorio (GRIMAT), de las Unidades Tecnológicas de Santander

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la evolución hidromorfológica y los cambios en la cobertura de la Ciénaga de Paredes (unidad hidrográfica del río Lebrija) en los últimos 20 años (2004-2024), mediante técnicas de análisis multitemporal con imágenes satelitales, SIG y herramientas geoespaciales para la identificación de patrones de transformación y su relación con factores antrópicos y ambientales.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar la dinámica multitemporal de los cambios en superficie, cuerpos de agua y cobertura de suelo en el período 2004-2024 en la Ciénaga de Paredes mediante interpretación de imágenes satelitales y herramientas SIG.

Identificar los factores antrópicos y ambientales que han influido en la transformación de la ciénaga, incluyendo cambios en el uso del suelo, expansión urbana, actividades industriales y variabilidad climática.

Generar cartografía temática y modelado geoespacial de las dinámicas de cambio de la ciénaga, para proporcionar recursos que apoyen su gestión sostenible y conservación dentro del ordenamiento territorial de la región.

1.4. ESTADO DEL ARTE

Tabla 1:

Estado del arte

Titulo	Autor	Bibliografía	Relación
Transformaciones de un ecosistema palustre.: La gran ciénaga del Bermejo - Mendoza, siglos XVIII y XIX. (María del R. Prieto et al., 2008)	María del r. prieto, E. Abraham y P. Dussel	María del R. Prieto, E. Abraham, & P. Dussel. (2008). <i>Transformaciones de un ecosistema palustre.: La gran ciénaga del Bermejo - Mendoza, siglos XVIII y XIX. Multequina, 17(2), 147-164.</i>	Este trabajo se enfoca en las variaciones de volumen y extensiones de agua del ecosistema ocupado anteriormente por complejos palustres y lacustres, que en su expansión genera pérdidas de campos de pastoreo y tierras agrícolas, estudian las causas naturales y antrópicas mediante fotografías aéreas e imágenes satelitales, dando como resultado que el mal manejo de drenajes y déficit de desagües, sumado a la topografía junto con fenómenos de geotectónica y precipitaciones generan estos cambios en la cobertura del agua.
estudio de la variación temporal del área palustre del río Mendoza a partir de datos históricos, cartográficos y satelitales. (Mirábile et al., 2005)	Carlos Mirábile, José Zuluaga, María Fusari, Víctor Burgos, Marta Nuñez	Mirábile, C., Zuluaga, J., Fusari, M., Burgos, V., & Nuñez, M. (2005). <i>Estudio de la variación temporal del área palustre del río Mendoza a partir de datos históricos, cartográficos y satelitales. In Congreso Nacional del Agua (No. 20).</i>	Para este trabajo se tomaron antecedentes catastrales y estudios temáticos del área, sobreponiéndolas sobre imágenes satelitales corregidas, que corresponden a años hidrológicos secos y húmedos, evaluando la variación de cuerpos de agua, concluyendo que las áreas de ciénega se han disminuido paulatinamente, por factores naturales tanto como antropogénicos, y que la ayuda de la teledetección se pueden monitorear estos cambios en tiempo casi real, generando lineamientos para las

			autoridades ambientales el control del uso del suelo y manejo del recurso hídrico. Además de monitoreo de estos cuerpos de agua.
Estado de conservación de los bosques de algarrobos en La Ciénaga y Huaco (Provincia de San Juan, Argentina): un aporte para el ordenamiento territorial de bosques nativos. (Gil et al., 2024)	Ania Gil, Juan Agustín Álvarez, Facundo Rojas, Erica Cesca, Leandro Álvarez, Gualberto Zalazar, Juan Pablo Fili, María Laura Agüero, Paulo Eugenio Villagra	Gil, A., Álvarez, J. A., Rojas, F., Cesca, E., Álvarez, L. M., Zalazar, G., Fili, J., Agüero, M. L., & Villagra, P. E. (2024). <i>Estado de conservación de los bosques de algarrobos en La Ciénaga y Huaco (Provincia de San Juan, Argentina): Un aporte para el ordenamiento territorial de bosques nativos. Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada</i> , 63(1), 220-240.	Este trabajo describe la estructura y el estado de conservación de los bosques cercanos al río Bermejo (departamento de Jáchal, San Juan), se generó información de bosques nativos poco estudiados, todo esto partir de un inventario teniendo en cuenta parámetros como el tamaño y forma de los árboles, relacionada con una tipología de bosques clasificada por medio de imágenes satelitales, dando como resultado la clasificación de la superficie cubierta por arboles nativos y demás usos del suelo y su impacto en los últimos años, generando propuestas para el ordenamiento territorial y manejo de bosques.
Análisis multitemporal de la deforestación y pérdida de cobertura boscosa en la Provincia de Manu, 2000 – 2016. (Gonzales Alarcón, 2018)	Gonzales Alarcón Gilmer.	Gonzales Alarcón, G. (2018). <i>Análisis multitemporal de la deforestación y pérdida de cobertura boscosa en la Provincia de Manu, 2000—2016. Universidad Nacional Federico Villarreal.</i> https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2277	Este estudio consta de un análisis multitemporal mediante el uso del software ENVI, para el procesamiento de imágenes satelitales landsat, y permita estimar, analizar la frecuencia de deforestación, cambios ocurridos hasta la actualidad, con el estudio de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), obteniendo métodos y prácticas adecuadas la restauración de nuestra cobertura boscosa y con los resultados anteriores, las técnicas procesos antes mencionados son herramientas y pasos efectivos para la recolección, procesamiento y despliegue de información de carácter ambiental, y específicamente, para el monitoreo y restauración de los recursos naturales a través del tiempo.
Cobertura de vegetación natural en Parques Nacionales	de Majela Hernández Rodríguez, Daryl D. Cruz Flores	Rodríguez, M. H., & Flores, D. D. C. (2016). <i>Cobertura de vegetación natural en Parques</i>	En este estudio se evaluó la variabilidad de las coberturas de vegetación en las formaciones vegetales naturales de 10 parques nacionales de Cuba, mediante índices de vegetación y percepción

<p>Cuba: análisis multitemporal y variación futura de las condiciones bioclimáticas. (Rodríguez & Flores, 2016)</p>	<p><i>Nacionales de Cuba: Análisis multitemporal y variación futura de las condiciones bioclimáticas /37, 93-102.</i></p>	<p>remota, y el cambio de las condiciones bioclimáticas futuras, los datos usados obtenidos a partir del sensor MODIS, adicionalmente se comparó el porcentaje de cobertura vegetal, estimando rangos ambientales y se evaluaron los cambios, obteniendo ligeras variaciones en 5 parques y disminución en los 5 restantes, estos datos son relevantes para proporcionar acciones para su protección.</p>	
<p>Las ciénagas: Polos potenciales de desarrollo. (Luis Francisco Moreno B & Carlos Fonseca Z, 1987)</p>	<p>Luis Francisco Moreno B, Carlos Fonseca Z.</p>	<p>Luis Francisco Moreno B & Carlos Fonseca Z. (1987). <i>Las Ciénagas: Polos potenciales para el desarrollo. Actualidades Biológicas, 16(60), Art. 60.</i> https://doi.org/10.17533/udea.acbi.330082</p>	<p>En este documento se enfatiza en la importancia de los ecosistemas de ciénagas a nivel nacional, así como la productividad, enfatizando su rol fundamental en ciclo hidrológico, la relación con la calidad del agua y su importancia hidráulica, funcionando como amortiguador de corrientes de agua que modifican su morfología y modelan su área de influencia, recibiendo material de los ríos y haciendo sedimentación modificando el paisaje y las coberturas terrestres.</p>
<p>Análisis de los cambios en la cobertura vegetal en el Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena Ciénaga Grande de Santa Marta por medio de imágenes satelitales. (Cabrera, 2024)</p>	<p>Pumarejo Cabrera Daniel Hernando</p>	<p>Cabrera, D. H. P. (2024). Análisis de los cambios en la cobertura vegetal en el Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena Ciénaga Grande de Santa Marta por medio de imágenes satelitales. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/44518</p>	<p>En este estudio en la ciénaga de Santa Martha relevante por su valor ecológico, afectada por acción antrópica, en la cual, mediante imágenes satelitales, haciendo un análisis multitemporal con herramientas como ARGIS PRO, se obtuvieron datos de las diferentes variaciones en la cobertura vegetal, resaltando una mejora en la extensión de bosques de manglar y un estado más saludable de estos ecosistemas.</p>
<p>Evaluación de la calidad del agua de la fuente hídrica Ciénaga San Silvestre, en la desembocadura de la quebrada el Zarzal en jurisdicción del municipio de</p>	<p>Anyi Maritza Galvis Moncada, Marcela Andrea Zambrano Bothia. Qco Amb. Esp. Mg</p>	<p>Galvis Moncada, A. M., & Zambrano Bothia, M. A. (2023). <i>Evaluación de la calidad del agua de la fuente hídrica Ciénaga San Silvestre, en la desembocadura de la quebrada el Zarzal en jurisdicción del municipio de Barrancabermeja -</i></p>	<p>En este artículo se evaluaron mediante procesos metodológicos, características bióticas y abióticas presentes en el área de influencia de la ciénaga de San Silvestre del municipio de Barrancabermeja, además de caracterización fisicoquímica para determinar los índices de calidad del agua. por descargas domésticas, industriales y agropecuarias,</p>

<p>Barrancabermeja - Santander. (Moncada & Bothia, 2023)</p>		<p><i>Santander.</i> Universidad Nacional Abierta y a Distancia.</p>	<p>destacándose la necesidad urgente de aplicar medidas de restauración.</p>
<p>Evaluación del estado actual y propuesta de acciones de recuperación de la Ciénaga Miramar en el municipio de Barrancabermeja. (Martinez, 2012)</p>	<p>Joana Vanessa Amado Martínez.</p>	<p>Amado Martínez, J. V. (2012). <i>Evaluación del estado actual y propuesta de acciones de recuperación de la Ciénaga Miramar en el municipio de Barrancabermeja – Santander.</i> Universidad Pontificia Bolivariana.</p>	<p>Este estudio abarca la importancia de la ciénaga Miramar, en la dinámica ecosistémica del municipio de Barrancabermeja, afectada por acciones antrópicas, como el vertimiento de aguas residuales. Haciendo énfasis en la recuperación de este ecosistema de la mano de las autoridades ambientales. Y dando como resultado la pérdida de su capacidad de autorregulación y disminución de la calidad del agua.</p>
<p>Productividad e importancia del bosque ripario del complejo de ciénagas de Chucurí (departamento de Santander, Colombia).(Luis Francisco Moreno B et al., 1987). (Luis Francisco Moreno B et al., 1987)</p>	<p>Luis Francisco Moreno b, Luis Carlos García L, Germán Márquez C</p>	<p>Luis Francisco Moreno b, Luis Carlos García L, Germán Márquez C. (1987). <i>Productividad e importancia del bosque ripario del complejo de ciénagas de Chucurí (departamento de Santander, Colombia).</i></p>	<p>En este artículo se detalla la estructura florística y las relaciones entre los organismos de la ciénaga, y como mantiene la alta productividad del ecosistema estudiado en el complejo de las ciénagas de Chucurí Santander, dando como resultado las diferentes coberturas de suelos y vegetación, haciendo énfasis en la falta de estudios a estos ecosistemas y su desconocimiento.</p>

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO:

La teledetección es la ciencia que permite obtener información de la superficie terrestre mediante sensores montados en plataformas satelitales o aéreas, sin necesidad de contacto directo (*Teledetección e Interpretación de Imágenes, 7.^a Edición | Wiley, 2015*). Se fundamenta en la interacción de la radiación electromagnética con los objetos de la superficie, lo cual posibilita la identificación de coberturas como agua, suelo, vegetación o áreas antrópicas. En el caso de humedales y ciénagas, constituye una herramienta clave para el monitoreo de cambios espaciales y temporales, dado que estos ecosistemas presentan alta dinámica hidrológica y son susceptibles a presiones antrópicas y climáticas (Mitsch & Gosselink, 2015).

Los índices espectrales son combinaciones matemáticas de bandas satelitales que resaltan características específicas de la superficie. Entre los más relevantes se encuentran: el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que mide la actividad fotosintética (Rouse et al., 1974); Estos índices potencian la capacidad de análisis multitemporal, al permitir comparar la evolución de coberturas a lo largo del tiempo.

La clasificación de coberturas terrestres consiste en asignar a cada píxel una categoría o clase de cobertura. Existen dos enfoques principales: la clasificación no supervisada, en la que el algoritmo agrupa píxeles con características espectrales similares; y la clasificación supervisada, donde el analista define Regiones de Interés (ROIs) representativas de cada clase. Este último método ha demostrado ser más preciso cuando se cuenta con conocimiento previo del área de estudio, permitiendo discriminar clases como agua, vegetación, suelo desnudo, áreas humanizadas y nubosidad (Congalton & Green, 2019).

El análisis multitemporal de imágenes satelitales consiste en comparar imágenes de diferentes épocas con el fin de identificar cambios espaciales y temporales en las coberturas (Lu Corresponding author et al., 2004). Este enfoque resulta crucial en humedales, donde fenómenos como inundaciones, desecación o expansión agrícola generan transformaciones significativas. Para ello, se emplean metodologías de post-clasificación, que permiten generar matrices de transición y mapas de cambio a partir de clasificaciones supervisadas.

Basándose en teorías como la de la firma espectral donde resalta que cada material en la superficie terrestre refleja y absorbe la radiación electromagnética de manera única, generando un patrón característico conocido como firma espectral (JENSEN, J. R., 2015). Esta teoría sustenta tanto la clasificación supervisada como el uso de índices espectrales, pues permite diferenciar agua, vegetación o suelo desnudo a partir de sus respuestas espectrales.

Para analizar estas coberturas se refirió a la teoría del cambio de uso y cobertura esta sostiene que los cambios en la cobertura terrestre son resultado de interacciones complejas entre factores biofísicos y socioeconómicos (Turner II et al., 1995). Esta teoría respalda el análisis multitemporal, ya que permite comprender las transformaciones en ecosistemas como humedales a partir de presiones antrópicas y ambientales.

Finalmente, una teoría nos da una idea del método de clasificación que podríamos usar para este tipo de análisis sugiere que muchos algoritmos de clasificación supervisada, como el Máxima Verosimilitud (*Maximum Likelihood Classifier*), se fundamentan en la probabilidad condicional de Bayes. Según esta teoría, un píxel es asignado a la clase para la cual tiene la mayor probabilidad de pertenencia, considerando la distribución estadística de las ROIs (Jia, 2006).

2.2. MARCO LEGAL:

En los últimos años, los humedales han tomado mayor relevancia y han sido respaldados por entidades gubernamentales a través de la creación de leyes que los protegen como ecosistemas fundamentales para la naturaleza. A continuación, se presenten referentes importantes que soportan el ámbito legislativo del tema de estudio del presente trabajo:

(Ley N° 99 de (1993) Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, que actualmente es el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, define el Sistema Nacional Ambiental (SINA) como un conjunto de autoridades, mecanismos, organismos e instituciones que se encargan de coordinar la política ambiental del país colombiano. De igual forma, regula las licencias ambientales y promueve la conservación y el uso racional de los recursos naturales renovables.

Asimismo, se hace relevante mencionar la (Ley 357 de (1997a), donde Colombia ratificó la Convención Internacional Ramsar que hace hincapié en la obligación de los países con la conservación y uso racional de los humedales. Además, esta ley también otorga reconocimiento legal a los humedales y los define como “áreas naturales o artificiales, permanentes o temporales, con presencia de agua superficial o subterránea, estancada o corriente, dulce, salada o salobre, que incluyen lagunas, ciénagas, pantanos, turberas, manglares, marismas, estuarios, ríos, lagos, zonas costeras o interiores inundables y otros ecosistemas acuáticos donde se desarrolla una importante biodiversidad y cumplen funciones ecológicas esenciales” (Ley 357 de 1997, art. 2).(Congreso de la República de Colombia., 1997a)

En la actualidad, también es posible identificar la preocupación sobre los humedales por parte de los entes gubernamentales, sobretodo, por la promulgación de las leyes 2469 y 2468 del presente año. Por su parte, la (Ley 2478 de 2025) (Congreso de la República de Colombia., 2025b) establece lineamientos claros para la protección,

conservación y manejo sostenible de los humedales y, también, promueve la recuperación ecológica de dichos ecosistemas que se han degradado por diferentes factores o que han sido afectados por actividades humanas.

Finalmente, la (Ley 2469 de 2025)(Congreso de la República de Colombia., 2025a), por la cual se Incorporan los humedales al Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SGRD) y al Sistema Nacional de Cambio Climático (Sisclima), contempla a estos ecosistemas como parte clave para la mitigación y adaptación al cambio climático y gestión del riesgo en desastres; debido a sus funciones reguladoras relacionadas con la amortiguación de inundaciones y el almacenamiento de agua. Por ende, obliga a que los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) integren estrategias y criterios para el manejo sostenible y conservación de los humedales.

Del mismo modo, esta ley establece mecanismos de monitoreo multitemporal para detectar cambios en la extensión y estado de los humedales, apoyando sistemas de alerta temprana para eventos climáticos y desastres relacionados. Aspecto que se atribuye como fundamental para la presente investigación, ya que soporta el método de estudio adoptado e implementado.

2.3 MARCO CONCEPTUAL:

1. Ciénaga: Depósito de agua que abastece y es abastecido, cuyas características son iguales a los lagos, pero con una profundidad inferior a los 10 m. Las ciénagas se forman en las partes bajas de los ríos por procesos de inundaciones de llanuras o por acción conjunta entre el mar y los ríos. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, s. f.)

2. Humedales: Extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, de origen natural o artificial, que pueden ser permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas; incluidas las

extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros. (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2016)

3. Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT): Según la Ley 388 de 1997 de Colombia, los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT) son planes que deben adoptar los municipios con población inferior a 30.000 habitantes. Estos esquemas comprenden lo general, lo urbano y lo rural; incluyen objetivos, estrategias y políticas territoriales para la ocupación y aprovechamiento del suelo, delimitación de suelo urbano y rural, detección de zonas de amenazas y riesgos naturales, conservación de recursos naturales y normas urbanísticas para parcelación, construcción y urbanización. (Congreso de la República de Colombia., 1997b)

4. Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCAS): son un instrumento de planificación ambiental mediante el cual se realiza la coordinación del uso del suelo, las aguas, la flora y fauna; y el manejo integral de una cuenca, con el propósito de mantener o restablecer un equilibrio adecuado entre el aprovechamiento económico-social de sus recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca, en particular del recurso hídrico. (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico, 2021)

5. Teledetección: De acuerdo con el glosario del Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), la teledetección (remote sensing) son los métodos para reunir datos de una región o fenómeno a gran escala sin implicar mediciones directas en el terreno, especialmente mediante fotografías tomadas desde satélites o aeronaves, a menudo utilizadas junto con Sistemas de Información Geográfica (SIG). (IPBES Secretariat., 2012)

6. Análisis multitemporal: Consiste en estudiar los cambios en coberturas del suelo o usos de la tierra (o en transformaciones del paisaje), utilizando imágenes de sensores remotos o cartografía que correspondan a distintas fechas. Este análisis permite cuantificar la dimensión de los cambios, observar su evolución a lo largo del

tiempo, y detectar alteraciones naturales o de origen humano.(Universidad de Nariño, s. f.)

7. Índices espectrales: Son fórmulas matemáticas aplicadas a las imágenes satelitales que ayudan a resaltar lo invisible a simple vista: la salud de la vegetación, la presencia de agua o la extensión de suelos desnudos. (Instituto de Teledetección (basado en literatura académica)., 2023)

8. Región de Interés: (ROI, por sus siglas en inglés) es un área delimitada dentro de una imagen de teledetección que contiene píxeles homogéneos de una clase conocida, usada como muestra de entrenamiento para una clasificación supervisada. Estas regiones permiten caracterizar las firmas espectrales de cada cobertura (agua, vegetación, suelo desnudo, etc.) favoreciendo que el clasificador asignar los píxeles del resto de la imagen a las clases correctas.(*Herramienta de región de interés (ROI)*, s. f.)

9. Cobertura y uso del suelo: Según la Gobernación de Cundinamarca y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC (2007), la cobertura del suelo describe los rasgos físicos que cubren la superficie terrestre como: el agua, los bosques, la vegetación las infraestructuras humanas; mientras que el uso del suelo se refiere a las actividades humanas que se desarrollan sobre ella.

10. Gestión ambiental integrada: En Colombia, la gestión ambiental integrada se entiende como un proceso articulado de planificación, prevención, conservación y recuperación ambiental, que involucra diferentes aspectos sociales, económicos y ecológicos, y la participación coordinada de diferentes actores (Congreso de la República de Colombia., 1993)

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo corresponde a una investigación descriptiva y explicativa, ya que su finalidad es identificar y explicar los cambios espaciotemporales ocasionados en la ciénaga de Paredes en un periodo de 20 años (2004 – 2024); con un enfoque metodológico de tipo cuantitativo, basado en el procesamiento y análisis de datos geoespaciales y ambientales.

Por tanto, se adopta un método inductivo, al partir de la observación y análisis de datos reales (imágenes satelitales, variables climáticas e hidrológicas), para establecer patrones de transformación y sus posibles causas. Las técnicas empleadas incluyen teledetección, análisis multitemporal, clasificación supervisada y no supervisada, índices espectrales y elaboración de cartografía temática mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El procedimiento será de la siguiente manera:

- 1. Recolección de información:** información primaria correspondiente a imágenes satelitales Landsat, y secundaria como cartografía oficial, capas SIG e información adicional para el trabajo.
- 2. Descripción del área de estudio:** una descripción detallada del área de estudio.
- 3. Procesamiento digital:** mejoramiento de imágenes satelitales seleccionadas, corrección de nubosidad y geometría para la delimitación del área de trabajo, con el fin de poder procesarlas en el software de ArcGIS Pro, y combinación de bandas para una adecuada interpretación visual.
- 4. Selección de clasificación:** clasificación supervisada y no supervisada para las imágenes Landsat, en una de las épocas secas del año, con el fin de determinar la clasificación más oportuna.

5. **Cálculo de índices espectrales y ROIs:** combinación entre las diferentes bandas para destacar coberturas específicas del área de estudio, como: agua, vegetación y suelos; y obtener las firmas espectrales de las regiones de interés *ROIs (Regions of Interest)*.
6. **Clasificación digital:** clasificación supervisada para las imágenes Landsat en las dos épocas secas del año.
7. **Análisis multitemporal:** diferenciación de coberturas y cambios de suelos y cuerpos de agua en diferentes años.
8. **Cartografía:** generación de cartografía temática, mapas esenciales como: ubicación, temporales, cálculo de índices, análisis de resultados y demás que sean pertinentes.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Este proyecto se desarrolló aplicando una serie de fases orientadas al análisis multitemporal y variabilidad hídrica de la ciénaga de paredes (unidad hidrológica del río Lebrija), en un periodo no menor a 20 años, comprendido entre el 2004 y 2024, para este caso en la zona del Magdalena medio los tiempos secos se encuentran de enero a marzo (época 1), y de julio a septiembre (época 2); teniendo en cuenta que estas épocas son más eficientes ya que hay menor inferencia atmosférica lo que disminuye la presencia de encharcamientos temporales; se usaron estas dos épocas y los años seleccionados para la multitemporalidad son 2004, 2014, 2024. con base en la estructura metodológica planteada, utilizando imágenes satelitales y herramientas SIG. Lo que conlleva a la realización de actividades tales como:

4.1. Recolección de información.

Se utilizaron imágenes satelitales Landsat con sensores térmicos (ETM, OLI + TIRS), adicionalmente cartografía IGAC, y planes de ordenamiento territorial (POT) de los municipios con jurisdicción en la ciénaga y el plan de manejo de cuencas (POMCA). Teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

4.1.1. Parámetros para selección de imágenes satelitales

Para utilizar imágenes satelitales en un análisis multitemporal, estas deben cumplir los siguientes requisitos:

- Fecha: es importante para estos análisis que las imágenes sean adquiridas en la misma época del año y preferiblemente en tiempo seco para una mayor veracidad de la información.
- Nubosidad: Las imágenes seleccionadas no pueden superar el 20% de presencia de nubosidad en su cobertura, para garantizar buena visibilidad de la superficie.

- Espectro: Deben contar con 6 bandas del espectro electromagnético azul, verde, rojo, infrarrojo cercano y medio.
- Metadatos: incluir información de cada imagen para corroborar parámetros de adquisición.
- Fuente: para la descarga de imágenes se utilizaron plataformas oficiales de acceso libre, como el portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS Earth Explorer).

Con base en lo anterior se seleccionaron las siguientes imágenes:

Tabla 2:
Selección de imágenes

Época de la imagen	Fecha	Satélite	Sensor
Época seca 1	2004-01-30	Landsat 7	ETM+
	2014-01-01	Landsat 8	OLI + TIRS
	2024-01-29	Landsat 8	OLI + TIRS
Época seca 2	2004-08-09	Landsat 7	ETM+
	2014-07-12	Landsat 8	OLI + TIRS
	2024-07-15	Landsat 9	OLI + TIRS

4.1.2. Procesamiento

Las imágenes satelitales con un nivel de procesamiento LG1, corresponden solo a correcciones geométricas sistemáticas, ajustando los píxeles a un sistema de referencia, coordenadas reales y se usan solo para visualizar en SIG; por lo cual no se recomiendan para este procesamiento. Por el contrario, los productos con procesamiento L1TP, incluyen correcciones geométricas y con modelo digital de elevación, así como el procesamiento L2SP proporciona imágenes con correcciones atmosféricas; lo que hace que estos sean los más precisos para imágenes Landsat.

4.1.3. Descripción y características de las imágenes

Las imágenes corresponden a un periodo de tiempo de 20 años 2004 a 2024, cada imagen cuenta con bandas espectrales, procesadas en el software ArcGIS Pro. Y deben contener las siguientes características:

Tabla 3:
Características de las imágenes satelitales

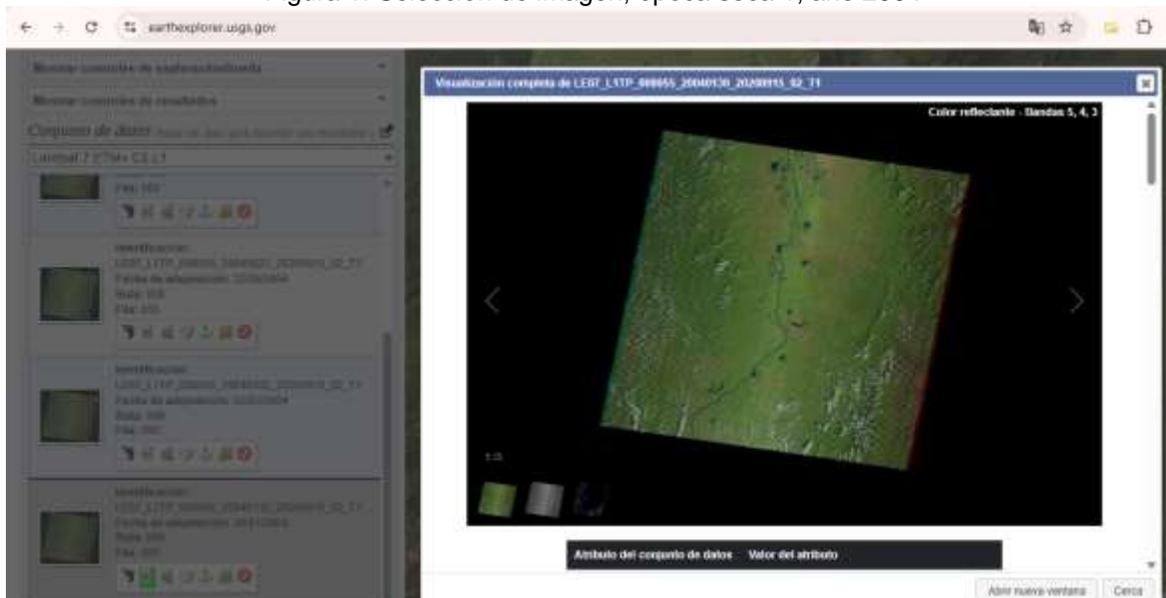
Parámetro	Descripción
Id	Asigna una identificación única a cada imagen según metadatos oficiales
Path/row	Coordenadas de referencia del sistema de cobertura del sensor, expresadas en columnas (Path) y filas (Row).
Fecha	Día, mes y año de la captura de la imagen.
Sensor	Tipo de sensor de la captura de la imagen
Datum y proyección	Sistema de referencia y proyección cartográfica que se usó.
Formato	Tipo de formato de almacenamiento.

4.1.4. Componentes

Tabla 4:
Imagen 2004 época seca 1

Año 2004	
ID	"LE07_L1TP_008055_20040130_20200915_02_T1"
Nivel de procesamiento	L1TP
Path/Row	008/055
Resolución espectral	30m
Bandas	9 (1,2,3,4,5,61,62,7,8)
Latitud central	7°13'30.36"N
Longitud central	73°55'48.72"O
Datum	"WGS84"
Elipsoide	"WGS84"
Proyección	UTM zona 18
Azimut	128.65300499
Elevación	49.74738789
Formato	"GEOTIFF"

Figura 1: Selección de imagen, época seca 1, año 2004

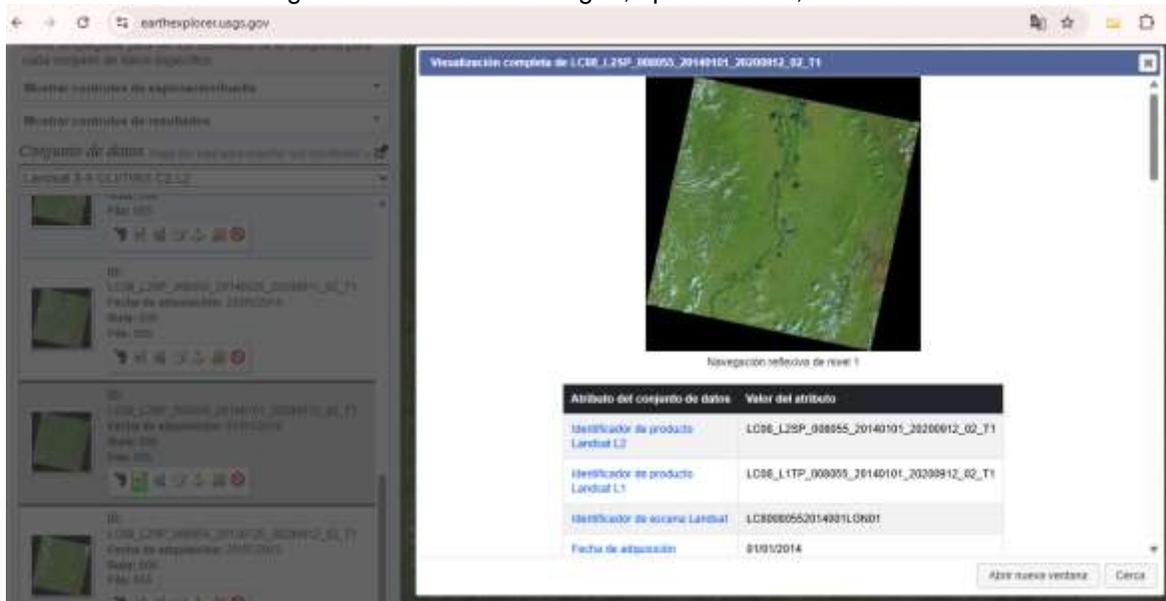


Fuente: Autor

Tabla 5:
 Imagen 2014 época seca 1

Año 2014	
ID	"LC08_L2SP_008055_20140101_20200912_02_T1"
Nivel de procesamiento	L2SP
Path/Row	008/055
Resolución espectral	30m
Bandas	11 (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11)
Latitud central	7°13'52.28"N
Longitud central	73°52'03.43"O
Datum	"WGS84"
Elipsoide	"WGS84"
Proyección	UTM zona 18
Azimut	140.14060618
Elevación	50.24229285
Formato	"GEOTIFF"

Figura 2: Selección de imagen, época seca 1, año 2014



Fuente: Autor

Tabla 6:
Imagen 2024 época seca 1

Año 2024	
ID	"LC08_L1TP_008055_20240129_20240207_02_T1"
Nivel de procesamiento	L1TP
Path/Row	008/055
Resolución espectral	30m
Bandas	11 (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11)
Latitud central	7°13'53.11"N
Longitud central	73°51'11.74"O
Datum	"WGS84"
Elipsoide	"WGS84"
Proyección	UTM zona 18
Azimut	131.56707577
Elevación	51.78465892
Formato	"GEOTIFF"

Figura 3: Selección de imagen, época seca 1, año 2024

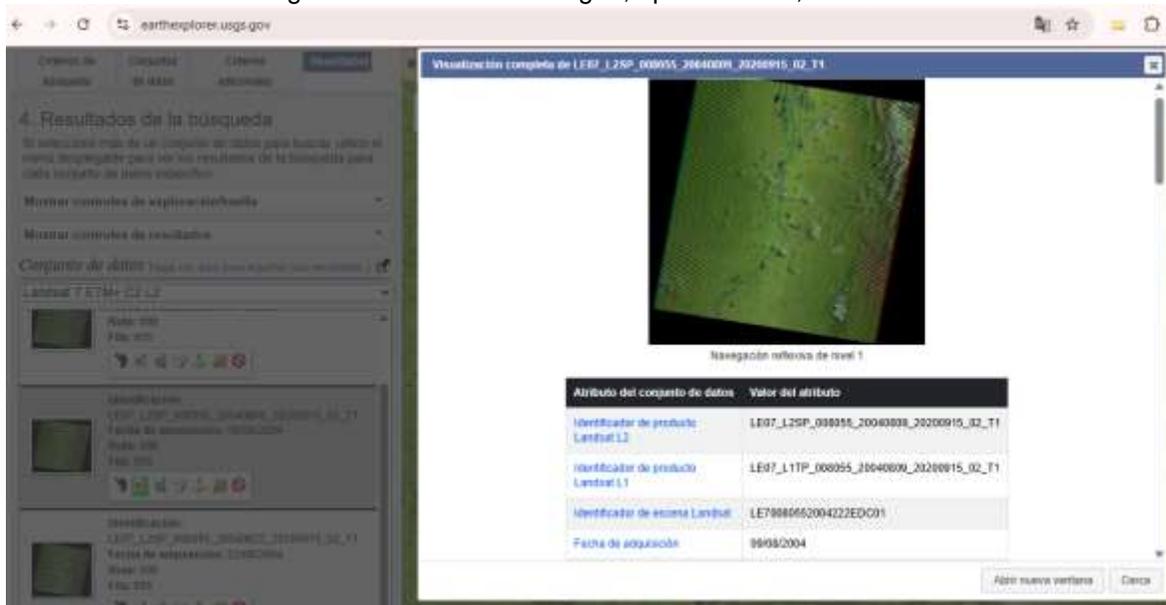


Fuente: Autor

Tabla 7:
Imagen 2004 época seca 2

Año 2004	
ID	"LE07_L2SP_008055_20040809_20200915_02_T1"
Nivel de procesamiento	L2SP
Path/Row	008/055
Resolución espectral	30m
Bandas	9 (1,2,3,4,5,61,62,7,8)
Latitud central	7°14'03.12"N
Longitud central	73°55'34.68"O
Datum	"WGS84"
Elipsoide	"WGS84"
Proyección	UTM zona 18
Azimut	71.41177687
Elevación	59.37264882
Formato	"GEOTIFF"

Figura 4: Selección de imagen, época seca 2, año 2004

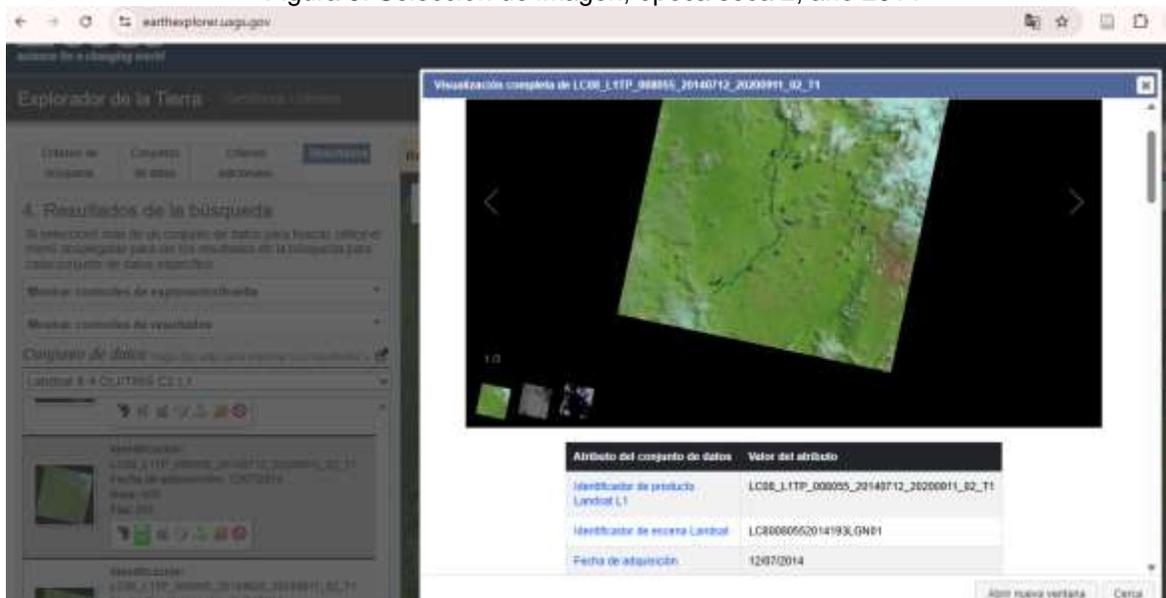


Fuente: Autor

Tabla 8:
Imagen 2014 época seca 2

Año 2014	
ID	"LC08_L1TP_008055_20140712_20200911_02_T1"
Nivel de procesamiento	L1TP
Path/Row	008/055
Resolución espectral	30m
Bandas	11 (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11)
Latitud central	7°13'53.08"N
Longitud central	73°50'50.06"O
Datum	"WGS84"
Elipsoide	"WGS84"
Proyección	UTM zona 18
Azimut	57.94622610
Elevación	59.85500245
Formato	"GEOTIFF"

Figura 5: Selección de imagen, época seca 2, año 2014

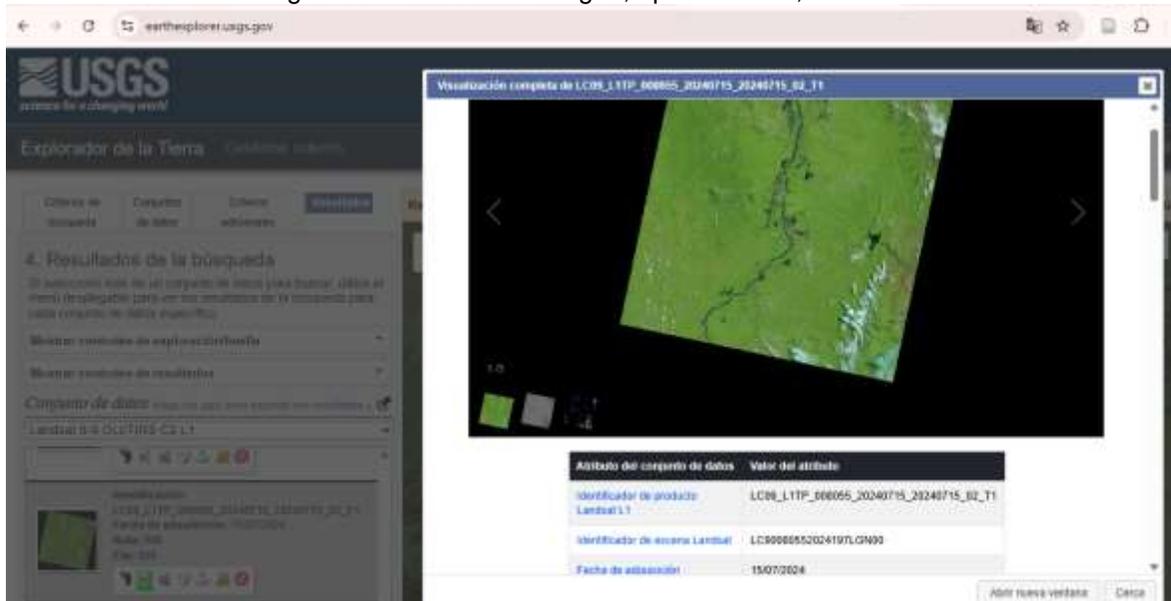


Fuente: Autor

Tabla 9:
Imagen 2024 época seca 2

Año 2024	
ID	"LC09_L2SP_008055_20240715_20240716_02_T1"
Nivel de procesamiento	L2SP
Path/Row	008/055
Resolución espectral	30m
Bandas	11 (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11)
Latitud central	7°13'52.54"N
Longitud central	73°54'09.36"O
Datum	"WGS84"
Elipsoide	"WGS84"
Proyección	UTM zona 18
Azimut	59.13241205
Elevación	59.85502628
Formato	"GEOTIFF"

Figura 6: Selección de imagen, época seca 2, año 2024



Fuente: Autor

4.2. Definición de área de estudio.

4.2.1. Geografía

La ciénaga de Paredes está ubicada en el departamento de Santander entre los municipios de Sabana de Torres y Puerto Wilches (García & Dister, 1990) aproximadamente a 7° 26' 45.9" N, 73° 46' 25.1" W, a una altura de 75 m.s.n.m.; pertenece a la unidad hidrográfica de río Lebrija, en el valle medio del río Magdalena donde convergen ecosistemas de bosque húmedo tropical y seco tropical. Tiene una profundidad promedio de 4 metros en época de lluvia y 0.9 metros en tiempo seco, con un área aproximada de 1.431 hectáreas. (Mojica, Arévalo, González, & Murillo, 2014). Cuenta con un clima cálido húmedo tropical y temperatura media de 27°C con precipitaciones que superan los 2.500 mm anuales en un régimen bimodal.

Figura 7: Ubicación

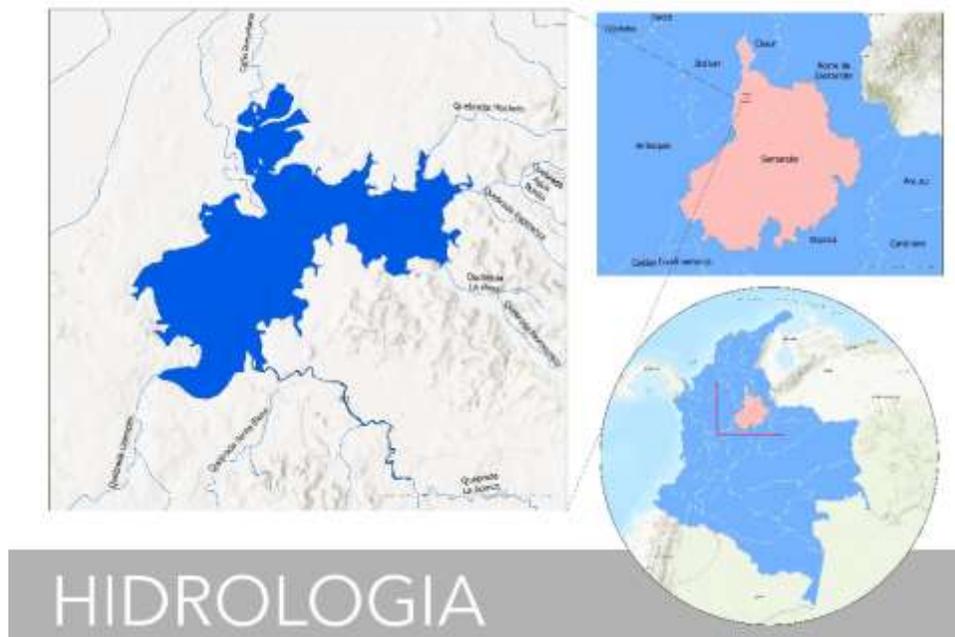


Fuente: autor

4.2.2. Hidrografía

Los humedales del valle medio del río Magdalena cuentan con un sistema hidrológico conformado por cuencas departamentales como río Carare, El Opón, Sogamoso y Lebrija, con las ciénagas de diferentes tipos que se forman a lo largo de la margen derecha del río Magdalena (*Humedales Magdalena Medio – Corporación Autónoma Regional de Santander CAS*, 2021). La ciénaga de paredes con influencia en la red hidrográfica del río Lebrija bajo su principal afluente es la quebrada la Gómez con un flujo de 34,7 m³/s (Mojica, Arévalo, González, & Murillo, 2014), además de otros secundarios como la quebrada El Champan y quebrada la Hoya, y su efluente es el caño Peruétano conectado al río Lebrija. Jerarquizado como cuerpo cenagoso de segundo orden debido a sus aportes de agua y su posterior drenaje. (*Guía Técnica Formulación POMCAs*, s. f.).

Figura 8: Hidrología

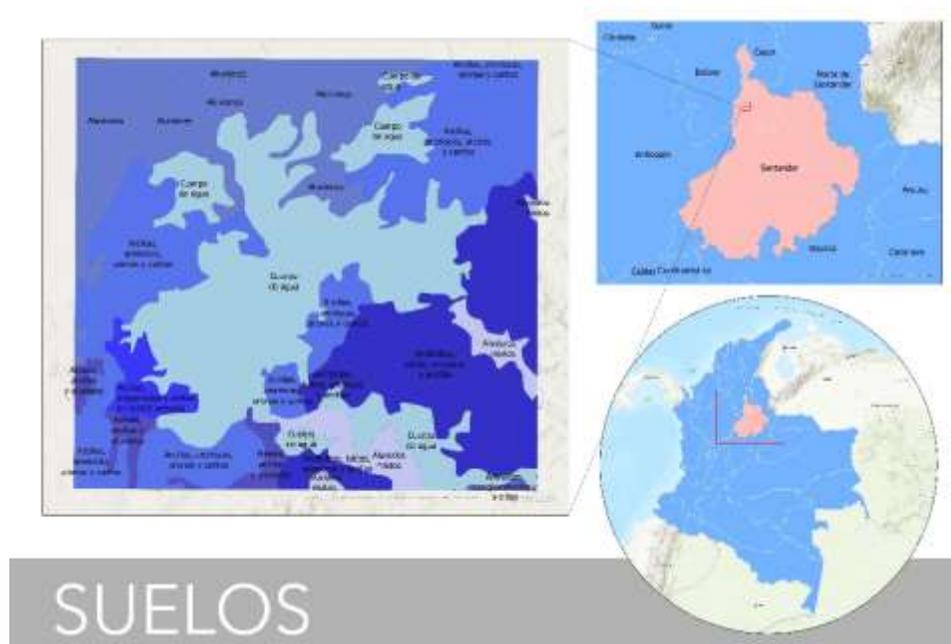


Fuente: autor

4.2.3. Suelos y cobertura vegetal

Los suelos predominantes son depósitos aluviales que se caracterizan por una textura franco-arcillosa y de drenajes pobres condicionando la dinámica de inundación y ecosistémica, estas superficies están direccionadas por procesos de inundación y sedimentación estacional ocasionados por los ríos y quebradas que alimentan esta ciénaga; convirtiéndolos en suelos eficaces para sostener ecosistemas de humedales y limitando la producción y actividades agropecuarias intensivas. Por su parte, la cobertura vegetal ligada al bosque húmedo tropical (bh-t) con numerosa presencia de especies arbóreas frondosas y vegetación palustre y acuática que se presenta en los espejos de agua, en zonas de menor inundación se incrementan coberturas secundarias y pastizales, consecuencia de interacción agropecuaria como la ganadería extensiva y cultivos de arroz y palma de aceita de orden agroindustrial.

Figura 9: Suelos



Fuente: autor

4.2.4. Delimitación y área circundante

Los procesos hidrológicos, ecológicos, antrópicos y todos los asociados a los ecosistemas de ciénagas no se limitan únicamente al espejo de agua, por el contrario, las áreas aledañas son importantes, puesto que dependen de ellas directamente por sus aportes hídricos. La incorporación de una franja de interacción alrededor del polígono principal de la ciénaga permite analizar usos de suelo, coberturas vegetales y zonas de transición e inundación.

Se utiliza una distancia de 1 kilómetro, criterio ampliamente adoptado para estudios de humedales a escalas regionales asegurando una extensión de territorio adecuada y manteniendo un nivel de detalle para análisis de coberturas.(Brena, 2016)

Figura 10: Delimitación



Fuente: autor

4.3. Procesamiento digital.

En este trabajo se emplearon imágenes satelitales que ya contaban con un nivel previo de corrección radiométrica y atmosférica: como un porcentaje de nubosidad menor al 20%, lo que evitó la necesidad de aplicar procesos adicionales. Por esta razón, el procesamiento digital se concentró principalmente en la geometría. En esta etapa se verificó la referenciación espacial de las escenas y se realizó el recorte del área de estudio con la herramienta *clip ráster*; delimitando específicamente la Ciénaga de Paredes y su área de influencia. De esta manera, se garantizó que los análisis posteriores se enfocaran exclusivamente en la zona de interés, lo que optimiza tanto el manejo de la información como la calidad de los resultados.

4.4. Selección de clasificación

En cuanto a la elección del método de clasificación más apropiado para el área de estudio, se realizaron dos procesos de clasificación a una misma época del año (2024 época 2); basándose en las características de las imágenes, el objetivo de la investigación y la diferenciación de coberturas en la ciénaga de Paredes: por un lado la clasificación supervisada y por el otro la clasificación no supervisada; el objetivo fue comprobar los resultados y definir cual método brindaba mejor representación de coberturas, adicionalmente se compararon las características de las dos clasificaciones como se representa en la tabla 10.

Tabla 10:
Comparación de clasificaciones

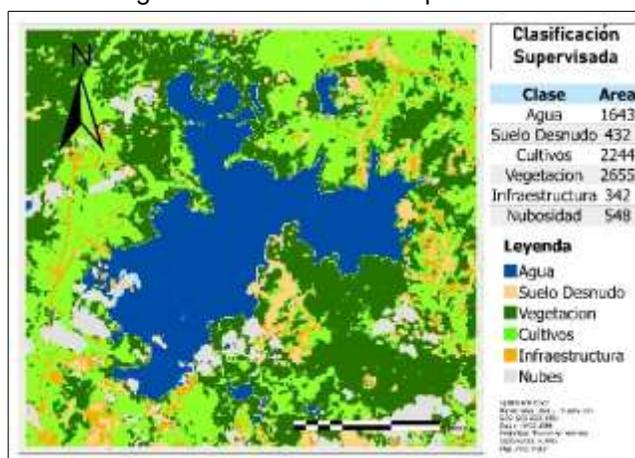
Criterio	Clasificación supervisada	Clasificación no supervisada
Principio	Requiere muestras de entrenamiento (semillas) previamente definidas por el investigador.	Algoritmo agrupa píxeles en clases estadísticas sin necesidad de entrenamiento.
Intervención del usuario	Alto: el analista define qué clases existen y cómo se asignan.	Bajo: el algoritmo define los grupos, el analista los interpreta después.
Consistencia interanual	Elevada: permite aplicar los mismos criterios en series temporales.	Limitada: los grupos pueden variar entre imágenes, afectando la comparabilidad.
Precisión temática	Alta, siempre que las muestras sean representativas y bien distribuidas.	Media-baja: tiende a confundir coberturas espectralmente similares.
Facilidad de implementación	Requiere experiencia y tiempo para recolectar/validar muestras.	Rápida de aplicar, sin necesidad de entrenamiento previo.
Aplicaciones típicas	Estudios de cambio de cobertura, análisis multitemporal, monitoreo ambiental.	Exploración preliminar, áreas con poca información de referencia.
Ventajas principales	Mayor confiabilidad, replicabilidad y control metodológico.	Rapidez y detección de patrones no previstos.
Limitaciones	Depende de la calidad y representación de las muestras.	Menor precisión, difícil de usar en comparaciones temporales.

Nota: tabla elaborada por el autor.

Para sustentar la comparación se realizaron dos salidas gráficas con dos diferentes procesos del programa ArcGIS Pro: en cuanto a la clasificación supervisada (fig. #) se usó la herramienta *Maximum Likelihood Classification*, que consiste en la definición de regiones de interés (*ROIs*) seleccionadas sobre la imagen tema, estas representan el tipo de cobertura y a partir de esas muestras agrupar píxeles por

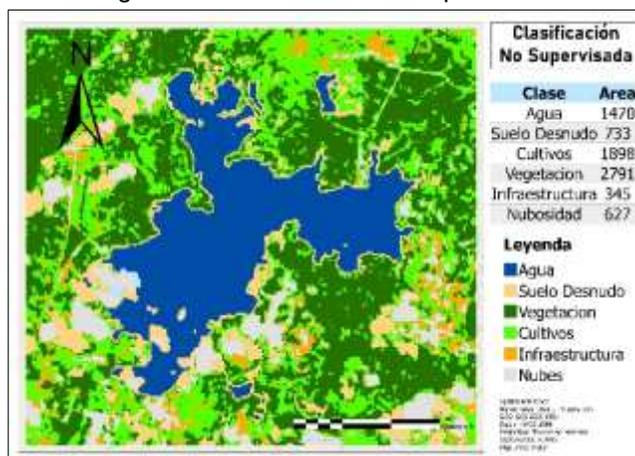
cada categoría definida. Por otra parte, la clasificación no supervisada (fig. #) se realizó con la herramienta *Iso Cluster Unsupervised Classification*, que tiene como objetivo agrupar automáticamente los píxeles de una imagen de acuerdo con sus valores espectrales sin la necesidad de muestras de entrenamiento previas, creando clases espectrales que luego se interpretan para identificar las cubiertas del terreno.

Figura 11: Clasificación supervisada



Fuente: autor

Figura 12: Clasificación no supervisada



Fuente: autor

En este sentido se optó por la clasificación supervisada la cual permite un mayor control sobre el proceso de representación de categorías de coberturas, una mayor coherencia espacial y una mejor discriminación de las categorías de interés; lo que garantiza mayor precisión en la representación de superficies, fidelidad con lo observado en la imagen satelital y diferenciación de nubosidad de otras coberturas, además de un mejor cálculo de área de coberturas en comparación de clasificaciones no supervisadas, puesto que añade el conocimiento previo del investigador sobre el área de estudio.

4.5. Cálculo de índices espectrales y ROIs

Con el fin de resaltar las coberturas presentes en la Ciénaga de Paredes y facilitar su discriminación, se calcularon distintos índices espectrales a partir de las imágenes satelitales. Estos índices permiten potenciar ciertas respuestas de la vegetación, el agua y el suelo, logrando así una mejor interpretación de los patrones de cobertura.

Lo que conlleva a definir las Regiones de Interés (ROIs), considerando criterios técnicos, ambientales y metodológicos, con el fin de garantizar la confiabilidad del proceso de clasificación supervisada y el análisis multitemporal en la Ciénaga de Paredes. En primer lugar, se priorizaron áreas homogéneas y representativas de las principales coberturas del ecosistema, tales como se muestra a continuación:

Tabla 11:
Elección de ROIs

Regiones de interés (ROIs) / clases	Inclusión	Aporte
Agua	Es el corazón de la Ciénaga de Paredes; representa el espejo de agua y su dinámica natural.	Permite identificar cambios en la extensión del humedal y evaluar su pérdida o recuperación.
Suelo desnudo	Refleja zonas degradadas, áreas expuestas o en transición hacia otros usos.	Ayuda a detectar procesos de desecación o presión antrópica directa sobre el ecosistema.
Vegetación y bosques	Representan la cobertura natural que protege y regula el humedal.	Facilitan la evaluación de conservación y pérdida de coberturas estratégicas.
Cultivos y zonas agrícolas/pecuarias	Muestran la principal actividad productiva en el entorno de la Ciénaga.	Permiten analizar la expansión agrícola y su impacto en la dinámica hídrica.
Infraestructura	Representa asentamientos humanos, vías y construcciones.	Hace posible evaluar la presión urbana y el avance de la frontera antrópica sobre el ecosistema.

Nota: tabla elaborada por el autor.

“Adicionalmente, se generó una clase de **nubosidad**, la cual no corresponde a un uso o cobertura del suelo, pero se incluyó de forma auxiliar en el proceso de clasificación para aislar estos píxeles y evitar que afectaran la identificación de las clases temáticas principales. Esta clase se elimina en procesos posteriores”

La definición de estas cinco clases permitió estructurar un esquema de análisis equilibrado entre los componentes naturales y antrópicos del territorio. De esta manera, se reconocen tanto los elementos esenciales para la sostenibilidad ecológica de la Ciénaga de Paredes —como el agua y la vegetación—, como aquellos que reflejan las dinámicas de uso y transformación impulsadas por las actividades humanas —suelo desnudo, agricultura, pecuaria e infraestructura—.

Esta clasificación no solo posibilita la diferenciación espectral en las imágenes satelitales, sino que también ofrece una lectura integral de los cambios multitemporales, vinculando la dinámica del ecosistema con las presiones socioeconómicas que enfrenta, en coherencia con los lineamientos de ordenamiento y gestión ambiental de la región.

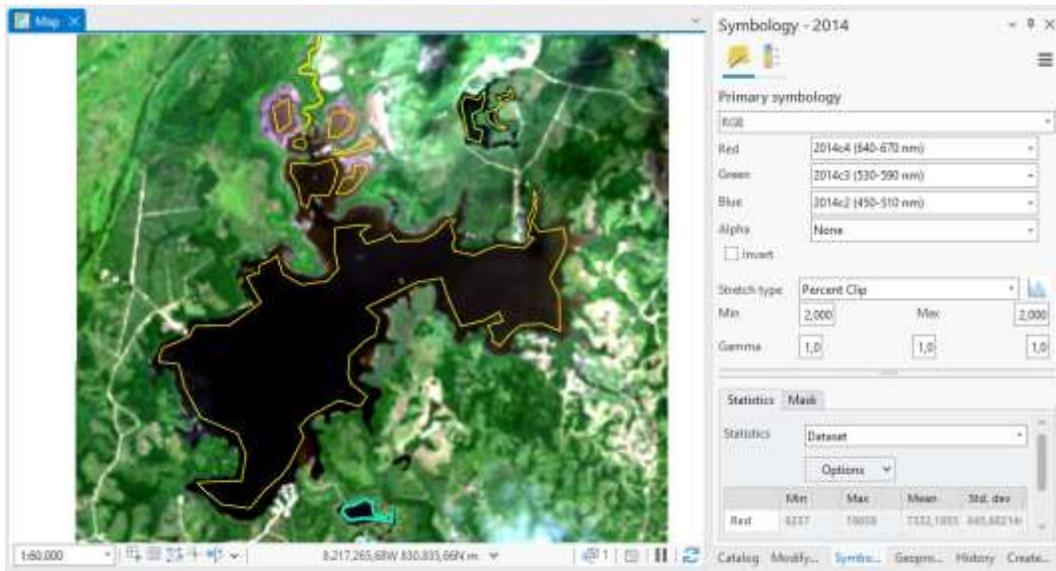
Asimismo, se eligieron sectores estratégicos desde el punto de vista ambiental, dado que corresponden a coberturas de interés establecidas en los instrumentos de planificación y ordenamiento vigentes, como los POMCA del río Lebrija bajo y los EOT de los municipios con jurisdicción en el área. Igualmente, se consideró la disponibilidad de píxeles libres de nubosidad y sombras, apoyándose en la inspección visual de composiciones RGB e índices espectrales, así como en cartografía base y fuentes secundarias, lo que permitió validar la correspondencia de las ROIs con las coberturas reales. De este modo, la selección de regiones de interés responde tanto a la necesidad de obtener resultados robustos en la clasificación, como a la pertinencia ambiental y normativa del área de estudio.

Estas zonas representaron de forma precisa cada clase de cobertura, asegurando la pureza espectral y reduciendo la presencia de píxeles mixtos y fueron la base para llevar a cabo el proceso de clasificación supervisada.

A continuación, se detalla las composiciones de bandas para la selección de las regiones de interés:

Índices de Agua

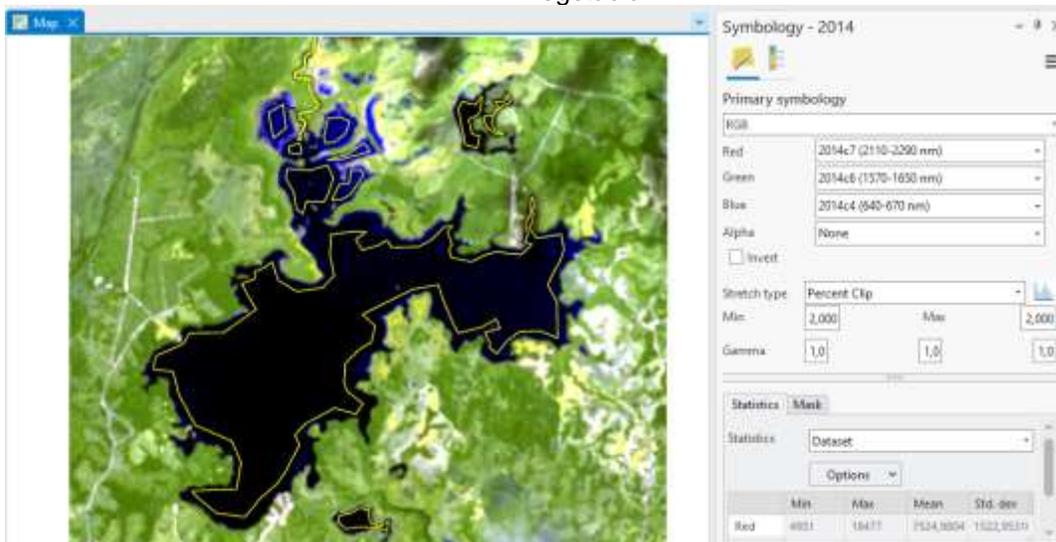
Figura 13: Combinación RGB (4-3-2) VERDADERO COLOR diferenciar cuerpos de agua



Fuente: Autor

Índices de suelo desnudo

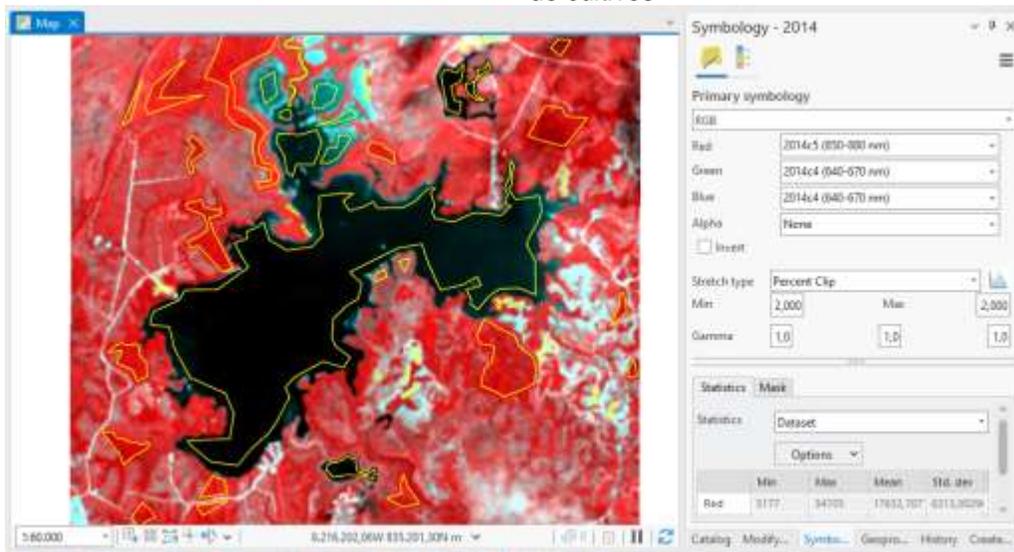
Figura 14: Combinación RGB (7-6-4) FALSO COLOR destaca los suelos desnudos vs cultivos y vegetación



Fuente: Autor

Índice de Vegetación

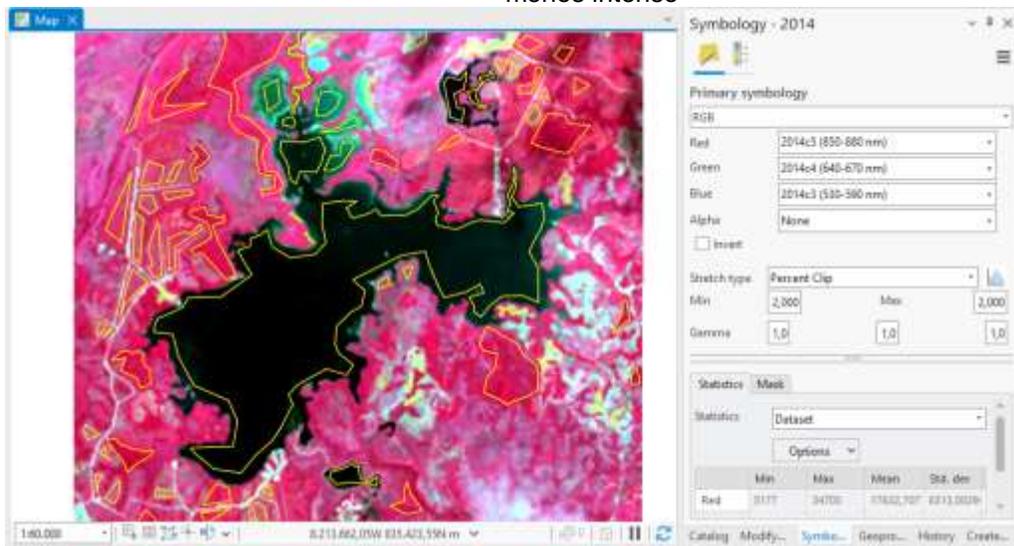
Figura 15: Combinación RGB (5-4-4) FALSO COLOR vegetación en un rojo intenso se diferencia de cultivos



Fuente: Autor

Índice de cultivos

Figura 16: Combinación RGB (5-4-3) FALSO COLOR diferenciación de vegetación a cultivos rojo menos intenso



Fuente: Autor

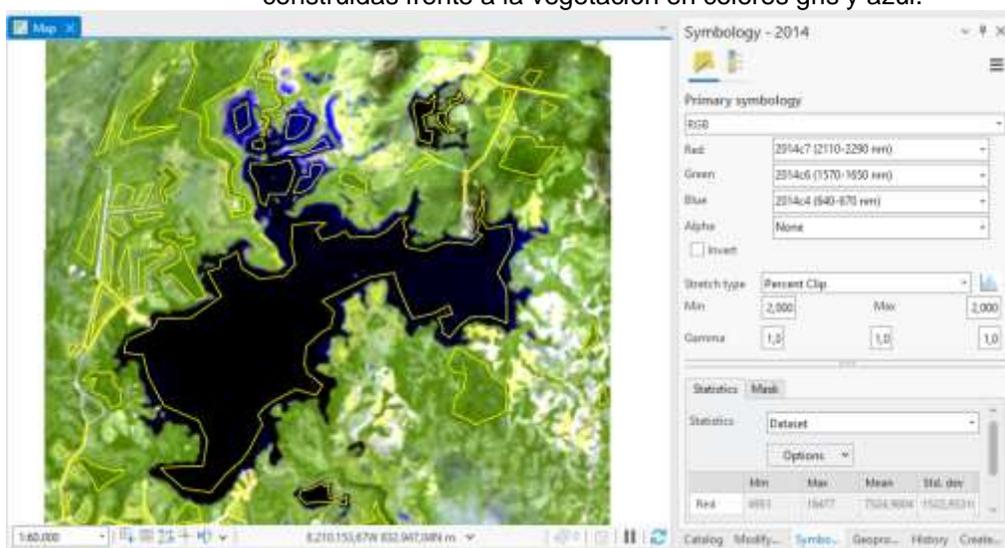
ELABORADO POR:
 Docencia

REVISADO POR:
 Sistema Integrado de Gestión

APROBADO POR: Líder del Sistema Integrado de Gestión
 FECHA APROBACIÓN: Octubre de 2023

Índice de infraestructura

Figura 17: Combinación RGB (7-6-4) FALSO COLOR resalta carreteras, techos y áreas construidas frente a la vegetación en colores gris y azul.



Fuente: Autor

4.6. Clasificación digital

En el proceso de clasificación digital, fue aplicado tanto a nivel intra-anual como interanual, decisión que se fundamentó en la necesidad de comprender, por un lado, la dinámica estacional que experimenta la Ciénaga de Paredes dentro de un mismo año, y por otro, los cambios que ocurren en un periodo de varios años.

El análisis intra-anual consistió en realizar dos clasificaciones correspondientes a diferentes épocas del mismo año, asociadas a las condiciones de épocas de menor precipitación del año, siendo estas en los primeros meses del año y posterior los meses entre julio - octubre. La inclusión de ambas épocas permitió identificar contrastes importantes en la cobertura de agua, la respuesta de la vegetación y la dinámica de los suelos expuestos. De esta manera, se obtuvo una representación más completa del comportamiento natural del humedal, ya que un único corte

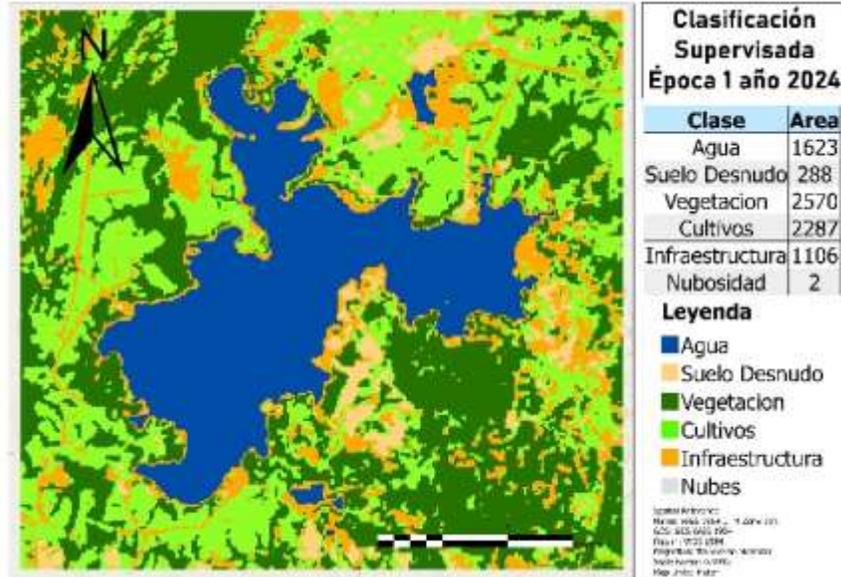
temporal no sería suficiente para capturar la variabilidad ambiental que caracteriza a este ecosistema.

Posteriormente, este mismo procedimiento se aplicó en tres años distintos dentro del periodo de estudio, con el propósito de comparar los resultados y analizar las transformaciones que han tenido lugar en el tiempo. La unión de los productos generados para cada año y para cada época permitió establecer tendencias y patrones de cambio en la cobertura de la Ciénaga de Paredes, integrando tanto la variabilidad estacional como la evolución temporal a lo largo de los años seleccionados. En conjunto, esta estrategia metodológica ofreció una visión más sólida y confiable de la dinámica del humedal, al combinar la perspectiva intra-anual, centrada en la estacionalidad, con la perspectiva multianual, orientada a la detección de cambios a largo plazo.

El procedimiento se realizó de la siguiente manera: Con el uso de la herramienta *training Sample Manager*, que permite la creación y administración de muestras de entrenamiento a través de polígonos vectoriales asociados a cada clase temática se crearon las regiones de interés (ROIs) sobre la imagen satelital, estas se utilizan en la clasificación supervisada intra-anual para las dos épocas del mismo año dando como resultado dos ráster independientes: época 1 (fig. 7) y época 2 (fig. 8) con las 6 coberturas ya seleccionadas, posteriormente con la herramienta *Raster Calculator* se realiza la siguiente operación [(época 1) + ((época 2)*10)] dando como resultado un nuevo raster con las posibles combinaciones, aproximadamente 36 nuevas clases.(fig. 9).

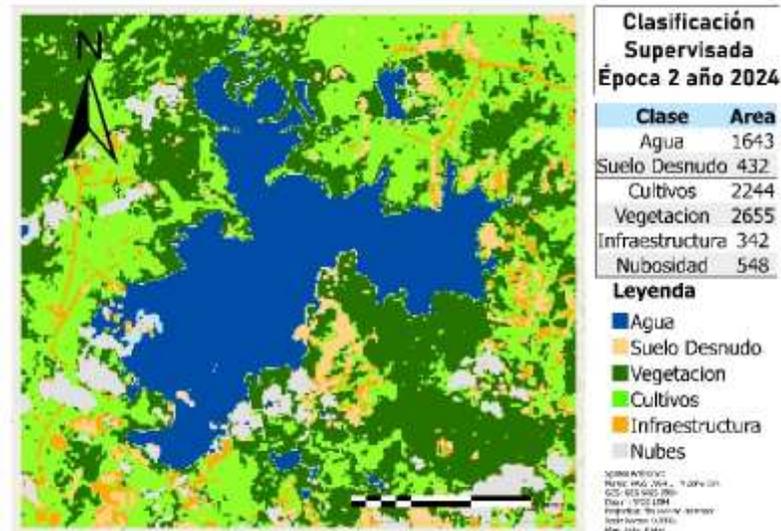
Para ilustrar el procedimiento, en este apartado se presenta un ejemplo de la combinación de clasificaciones correspondiente a una de las épocas analizadas (año 2024). Los demás mapas obtenidos se muestran en la sección de resultados, donde se realiza la comparación detallada entre los diferentes periodos y coberturas.

Figura 18: Clasificación supervisada época 1



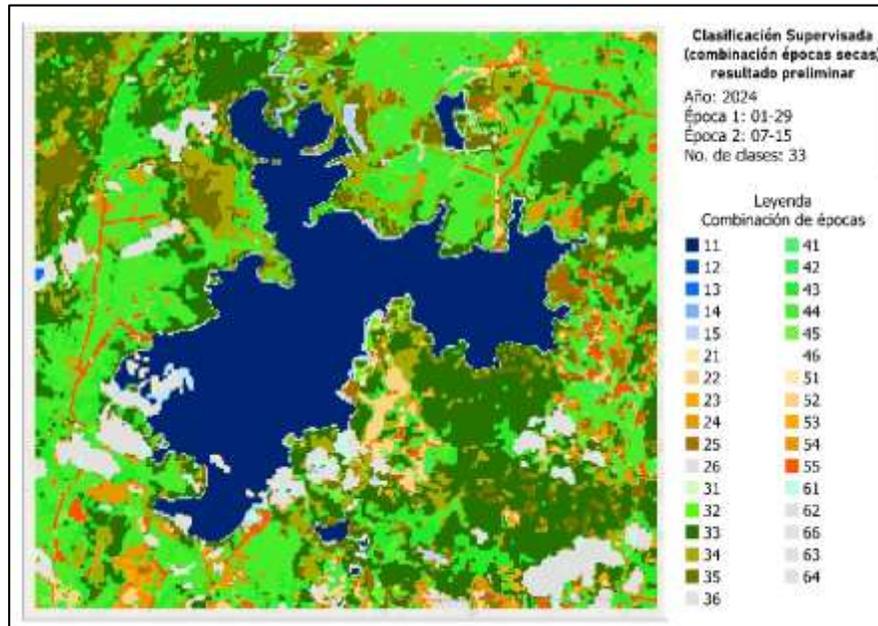
Fuente: Autor

Figura 19: Clasificación supervisada época 2



Fuente: Autor

Figura 20: Clasificación supervisada intra-anual 2024



Fuente: Autor

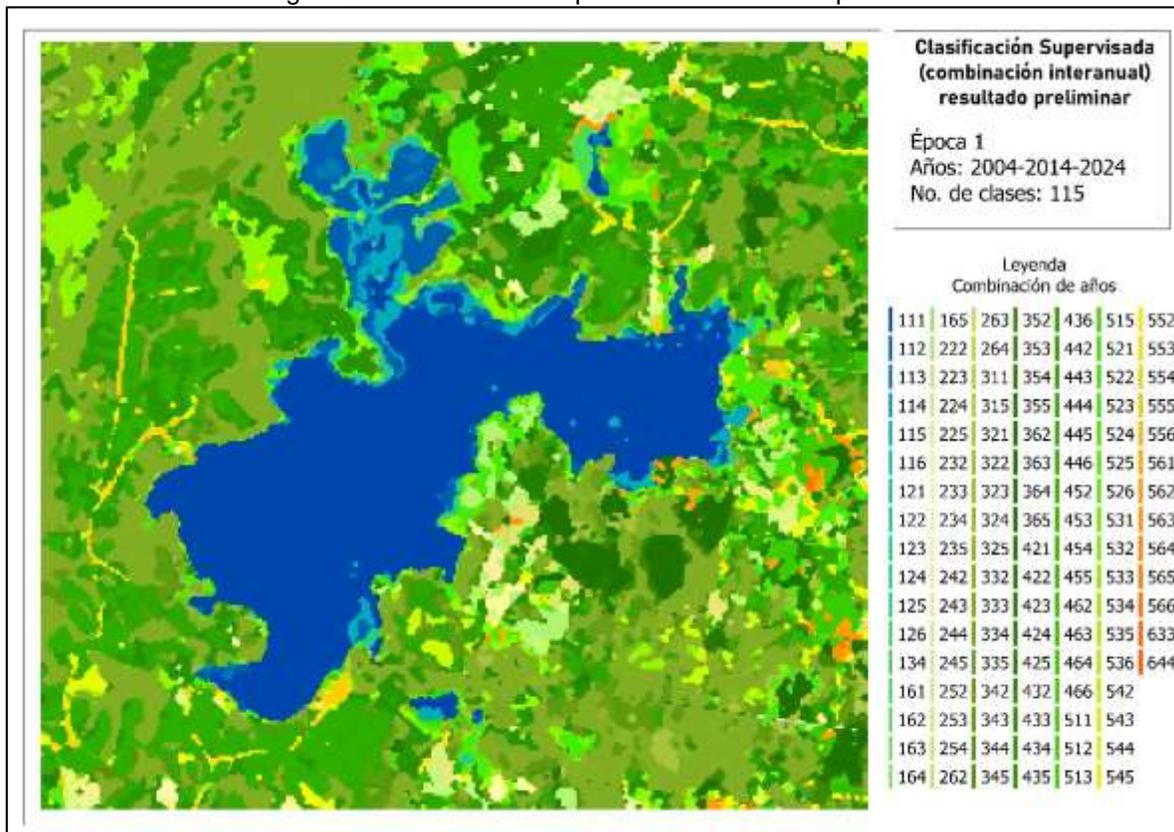
"La clasificación supervisada intra-anual generó inicialmente 36 categorías temáticas, producto de la variabilidad espectral entre coberturas. Sin embargo, para efectos de un análisis multitemporal más claro y coherente, estas categorías fueron posteriormente depuradas y agrupadas en 15 clases de transición, que se describen con mayor detalle en el apartado de análisis temporal."

Finalmente, la clasificación interanual se basó en la integración de los 3 años de estudio (2004,2014 y 2024), con el fin de identificar las tendencias de transformación y estabilidad de las coberturas a lo largo de dos décadas. Este enfoque multitemporal facilita la detección de variaciones persistentes o recurrentes entre años con condiciones climáticas similares, ofreciendo una visión más robusta del comportamiento estacional de la Ciénaga de Paredes.

Para ello, se realizó la combinación interanual de los ráster de clasificación correspondientes a cada época (seca 1 y seca 2), integrando en un único archivo la información de cobertura de los tres años de estudio. Este proceso generó un ráster compuesto por los 3 años, que representan todas las posibles transiciones entre años dentro de una misma época.

El medio para llegar a este resultado es similar al intra-anual, ya con los ráster clasificados de 6 clases (fig. 7 y 8), y con la herramienta *raster calculator* se realiza la operación: $[(\text{época 1-2004}) + (\text{época 1-2014}) \cdot 10] + ((\text{época 1-2024}) \cdot 100)$, el resultado es un raster con aproximadamente 216 categorías, reflejando los posibles cambios de coberturas (fig. 10).

Figura 21: Clasificación supervisada interanual época 1



Fuente: Autor

"La clasificación supervisada interanual generó inicialmente 216 categorías temáticas, producto de la variabilidad espectral entre coberturas. Sin embargo, para efectos de un análisis multitemporal más claro y coherente, estas categorías fueron posteriormente depuradas y agrupadas en 15 clases de transición, que se describen con mayor detalle en el apartado de análisis temporal."

4.7. Análisis multitemporal

El análisis multitemporal constituyó una etapa fundamental de la investigación, ya que permitió identificar los cambios de cobertura ocurridos entre diferentes épocas y años dentro del área de estudio. Para llevar a cabo este proceso, fue necesario simplificar los resultados iniciales de la clasificación supervisada intra-anual e interanual, los cuales generaron 36 y 216 categorías, para pasar a 15 clases a través de la herramienta *Reclassify* y *Reclassify by Table* respectivamente. Puesto que estas categorías, aunque informativas, resultaban excesivas y en algunos casos redundantes, puesto que compartían comportamientos similares o tenían una baja representatividad espacial, lo que podía dificultar la lectura de tendencias generales; por lo anterior se procedió a una depuración y reclasificación que facilitara la interpretación de los patrones de cambio y reducir la complejidad del análisis, lo que impide fragmentaciones poco representativas y concentrando la atención en las transiciones más relevantes.

Por ello, se agruparon las coberturas y se mantuvieron únicamente aquellas transiciones clave para los objetivos de este estudio. Para llevar a cabo la reclasificación, se aplicaron tres criterios principales: 1. la afinidad temática, mediante la cual se integraron clases con características similares (por ejemplo, diferentes tipos de vegetación se consolidaron en una sola categoría) 2. la relevancia ecológica, donde se descartaron o agruparon clases que tenían escasa representación espacial o temporal; y 3. la importancia analítica, priorizando las transiciones que permiten entender procesos ambientales relevantes, como la pérdida de cobertura vegetal o los cambios en las superficies hídricas y los cambios de coberturas estables en dinámicas.

En conclusión, el resultado fue un conjunto de 15 clases intra-anual (fig. 11) e interanual (fig. 12) que reflejan de forma más clara la dinámica de las coberturas,

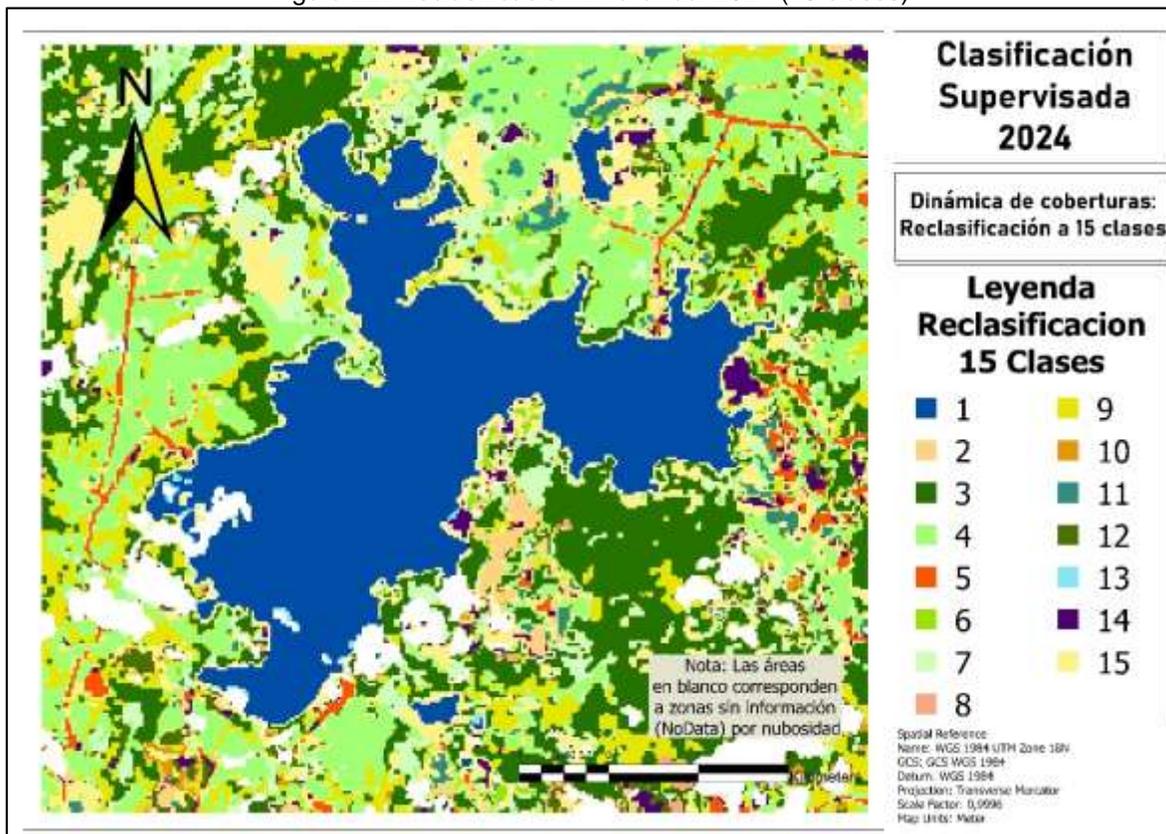
incluyendo tanto categorías estables (ej. agua-agua, vegetación-vegetación) como transiciones (ej. agua-suelo desnudo, vegetación-suelo desnudo). La Tabla 12 presenta el listado completo de estas clases.

Tabla 12:
Clasificación de 15 clases

ID	Clase	Descripción
1	Agua	Identifica cuerpos de agua estables (ciénagas, lagunas, ríos), clave para el análisis hídrico.
2	Suelo Desnudo	Representa áreas expuestas sin cobertura vegetal, asociadas a erosión, minería o zonas secas.
3	Vegetación	Refleja coberturas naturales persistentes, importantes para biodiversidad y regulación ecológica.
4	Cultivos	Denota áreas agrícolas estables, esenciales para evaluar uso productivo del suelo.
5	Infraestructura	Marca zonas urbanas o construidas, reflejando el crecimiento antrópico.
6	Suelo Desnudo – Vegetación	Transición de suelo desnudo a cobertura vegetal, evidencia procesos de regeneración o revegetación.
7	Cultivos – Vegetación	Indica abandono de áreas agrícolas y recuperación de coberturas naturales.
8	Vegetación – Suelo Desnudo	Muestra pérdida de vegetación, asociada a deforestación, incendios o degradación.
9	Vegetación – Cultivos	Evidencia procesos de deforestación para habilitar terrenos agrícolas.
10	Vegetación – Infraestructura	Representa cambio de áreas naturales a urbanizadas, uno de los impactos más fuertes de uso del suelo.
11	Suelo Desnudo – Cultivo	Marca expansión de actividades agrícolas sobre áreas previamente descubiertas.
12	Cultivos – Suelo Desnudo	Indica abandono agrícola o degradación de áreas cultivadas.
13	Pérdida de Agua	Evidencia retracción o desaparición de cuerpos de agua, fenómeno crítico en humedales.
14	Ganancia de Agua	Muestra incremento o recuperación de cuerpos hídricos, importante para dinámica hidrológica.
15	Transición Suelo Desnudo	Categoría que sintetiza cambios donde el suelo desnudo es protagonista (inestabilidad entre usos).

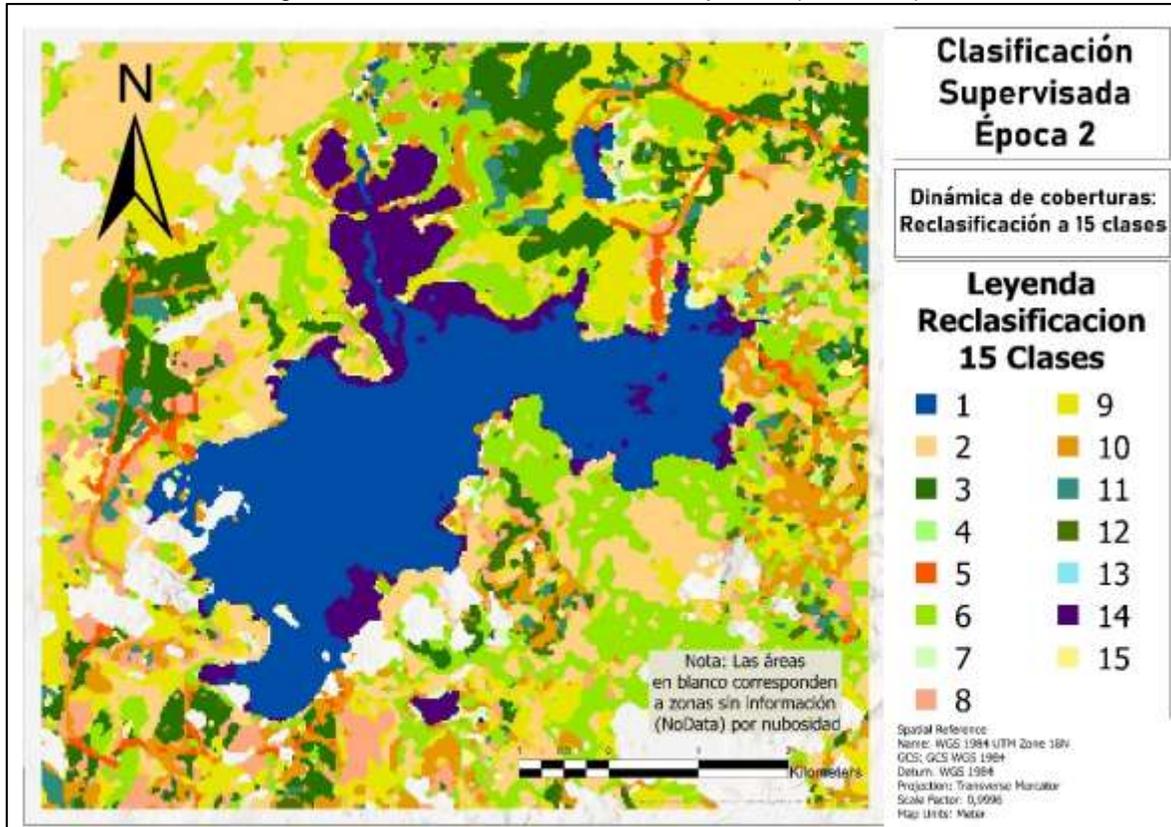
Nota: Tabla creada por el autor. Todas las clases que contenían o se asociaban en la clasificación con la clase 6 (nubosidad) fueron descartadas y reclasificadas como NoData, dado que la nubosidad no constituye una cobertura real ni un cambio verificable en el área de estudio.

Figura 22: Reclasificación intra-anual 2024 (15 clases)



Fuente: Autor

Figura 23: Reclasificación interanual época 2 (15 clases)



Fuente: Autor

Nota: Las áreas blancas corresponden a píxeles sin información (NoData), originados por nubosidad. Esta condición no se considera una cobertura terrestre, por lo cual no se incluyen en el análisis ni en el cálculo de cambios entre clases, al no representar información real.

5. RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos desde de la metodología planteada en capítulos anteriores, enfocadas en el análisis multitemporal de las coberturas de la ciénaga de Paredes. Estos resultados fueron conseguidos a partir del procedimiento, la clasificación y validación de imágenes satelitales Landsat en los diferentes años de estudio, con el fin de identificar los principales cambios espaciales y temporales de la zona, en relación con la dinámica hídrica y la intervención antrópica.

Para cada uno de los años y sus dos épocas estudiadas. se generaron mapas de cobertura del suelo mediante la técnica de clasificación supervisada, utilizando como referencia las Regiones de Interés (ROI) definidas en el proceso de entrenamiento y la clase adicional de nubosidad.

5.1. Resultados de Clasificación supervisada Intra-anual

Se aplicó el proceso clasificación supervisada a las épocas seleccionadas, de este modo se obtuvieron dos salidas graficas por cada año, (ver en anexos), reflejando las coberturas de las clases definidas.

Con esta clasificación se procedió a calcular las extensiones de cada clase en hectáreas, los resultados cuantitativos se presentan a continuación en forma de tablas, puesto que permiten observar la distribución intra-anual de las coberturas en cada año y, sobre todo, analizar la relación con la dinámica de la ciénaga, las variaciones estacionales del sistema cenagoso y brinda una comprensión de la respuesta a cambios climáticos.

Las coberturas de clase de nubosidad fueron descartadas del análisis multitemporal y se consideraron como *No Data*, debido a que no representan un cambio real en la superficie terrestre.

Tabla 13:
Coberturas 2004

Código	Clase	Área (Ha)	
		Época 1	Época 2
1	Agua	1243	1312
2	Suelo Desnudo	1308	232
3	Vegetación	3593	4034
4	Cultivos	1053	1717
5	Infraestructura	361	324
6	Nubosidad	15	80

Durante el año 2004 (Época 1) se observa una mayor proporción de vegetación, seguida por suelo desnudo y agua. Esta configuración evidencia un predominio de coberturas naturales en el área de estudio.

Para la Época 2, la vegetación aumenta, mientras que los cultivos incrementan su superficie, reflejando un proceso de expansión agrícola. Por el contrario, las coberturas de suelo desnudo disminuyen considerablemente, tal vez por procesos de revegetación o sustitución por actividades agrícolas. El área cubierta por agua presenta un leve aumento, lo cual puede estar asociado a la estacionalidad hídrica del sistema, caracterizada por fluctuaciones periódicas en los niveles de inundación.

Tabla 14:
Coberturas 2014

Código	Clase	Área (Ha)	
		Época 1	Época 2
1	Agua	1551	1656
2	Suelo Desnudo	943	628
3	Vegetación	2970	2584
4	Cultivos	1592	2232
5	Infraestructura	378	578
6	Nubosidad	439	197

Durante la Época 1, la cobertura dominante corresponde a vegetación, seguida por agua y cultivos, lo que refleja un equilibrio entre coberturas naturales y antrópicas. En la Época 2, se observa un aumento del área cubierta por agua y un incremento de los cultivos, mientras que la vegetación disminuye. Estas variaciones pueden atribuirse a la estacionalidad climática, que influye en los niveles de inundación, la dinámica agrícola y la respuesta de la vegetación dentro del ecosistema de la Ciénaga de Paredes.

Por su parte, las coberturas de infraestructura presentan un leve incremento, asociado posiblemente a procesos de expansión urbana o mejoras viales en el entorno.

Tabla 15:
Coberturas 2024

Código	Clase	Área (Ha)	
		Época 1	Época 2
1	Agua	1623	1643
2	Suelo Desnudo	1052	432
3	Vegetación	2570	2655
4	Cultivos	2287	2244
5	Infraestructura	340	342
6	Nubosidad	2	548

Nota: Tabla creada por el autor.

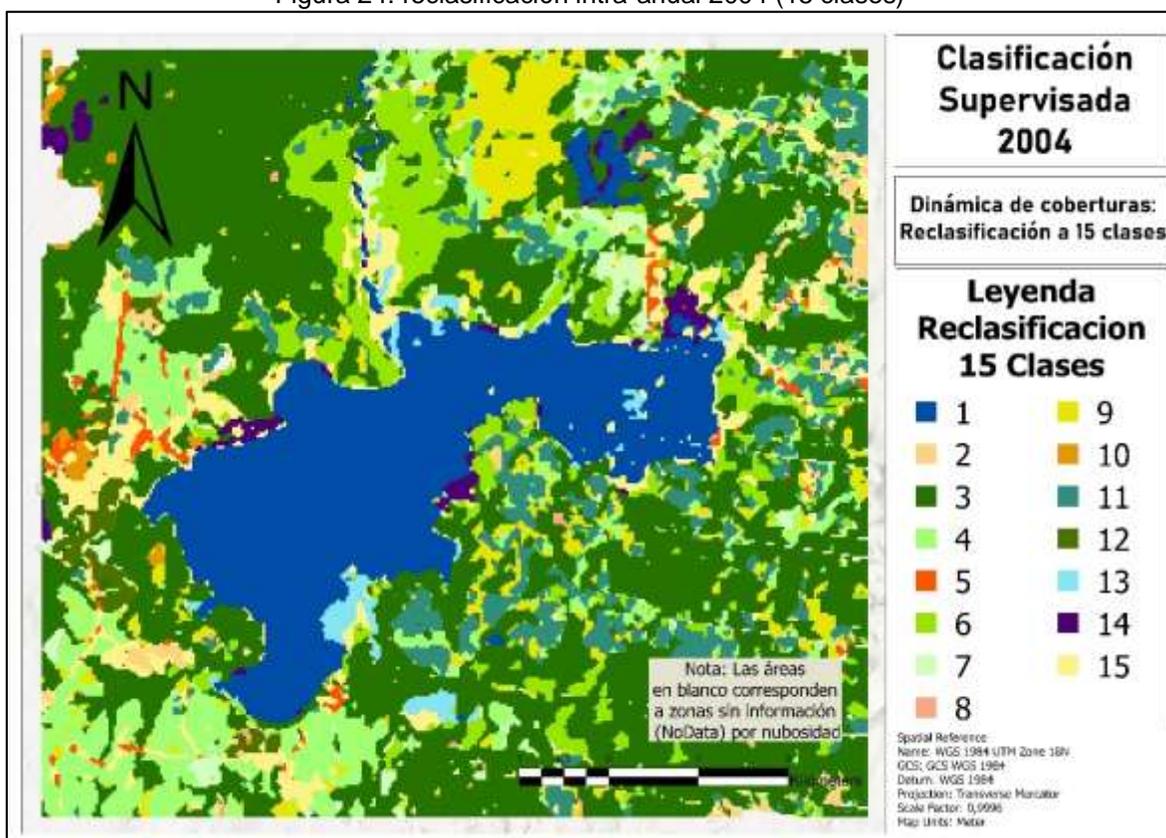
Durante la Época 1, predominan las coberturas de vegetación y cultivos, seguidas por agua, lo que evidencia un equilibrio entre coberturas naturales y productivas.

En la Época 2, se observa un leve aumento de la superficie cubierta por agua y un incremento de la vegetación, lo que sugiere una respuesta positiva de la cobertura vegetal a condiciones de mayor humedad o recarga hídrica. Por otro lado, se observa una disminución significativa de suelo desnudo en la Época 2, este comportamiento sugiere un proceso de recuperación superficial del terreno o, también puede estar asociada a la variación estacional, ya que durante la segunda época del año suelen presentarse mayores niveles de humedad y cobertura vegetal. Para finalizar, los cultivos presentan una ligera reducción, quizá asociada a la rotación agrícola o a variaciones estacionales en los periodos de siembra y cosecha.

5.1.1. Resultados de reclasificación y dinámica de clases de transición

La reclasificación permitió reagrupar las coberturas identificadas en categorías más amplias y representativas del entorno físico y biofísico del área de estudio. Se presentan tablas y mapas para mostrar las coberturas estables y las nuevas clasificaciones para identificar la transición de coberturas en un ciclo anual.

Figura 24: reclasificación intra-anual 2004 (15 clases)



Fuente: Autor

Tabla 16

Tabla 16:

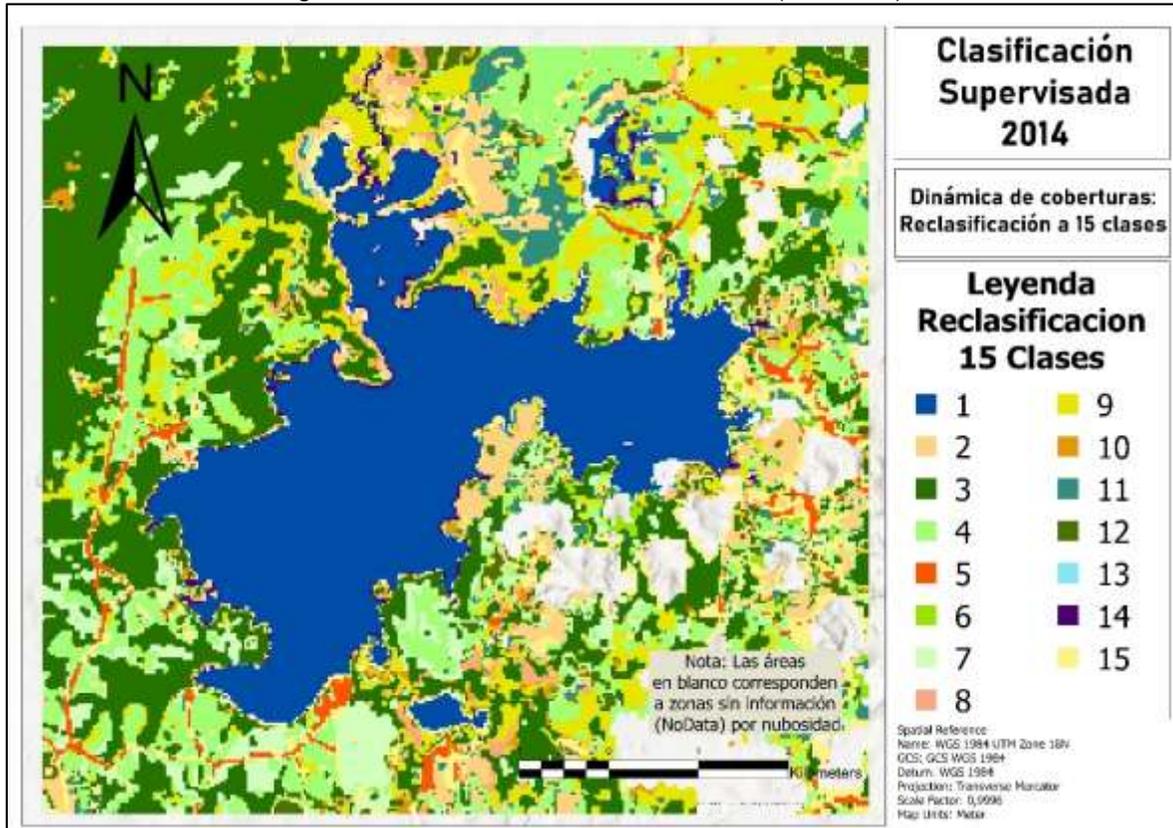
Clases de transición 2004

Código	Clase	Área (Ha)
1	Agua	1146
2	Suelo Desnudo	76
3	Vegetación	2924
4	Cultivos	631
5	Infraestructura	69
6	Suelo Desnudo – Vegetación	566
7	Cultivos – Vegetación	189
8	Vegetación – Suelo Desnudo	14
9	Vegetación – Cultivos	402
10	Vegetación – Infraestructura	40
11	Suelo Desnudo – Cultivo	523
12	Cultivos – Suelo Desnudo	92
13	Pérdida de Agua	80
14	Ganancia de Agua	82
15	Transición Suelo Desnudo	472

Nota: tabla creada por el autor.

En el año 2004, durante las dos épocas secas analizadas, se evidenció una predominancia de la vegetación, seguida por las coberturas de agua y cultivos, reflejo de una alta estabilidad de las coberturas naturales y agrícolas en el territorio. Las transiciones mixtas como suelo Desnudo–vegetación y suelo Desnudo –cultivo indican procesos de recuperación o rotación del uso del suelo asociados a dinámicas estacionales propias del régimen hídrico. Las clases de ganancia y pérdida de agua muestran leves variaciones intra-anales, probablemente vinculadas a fluctuaciones del nivel de la ciénaga. Por su parte, las áreas de infraestructura y de suelo desnudo tuvieron una participación reducida, mientras que la transición de suelo desnudo sugiere zonas con cambios temporales de cobertura debido a la estacionalidad climática.

Figura 25: reclasificación intra-anual 2014 (15 clases)



Fuente: Autor

Tabla 16

Tabla 17:

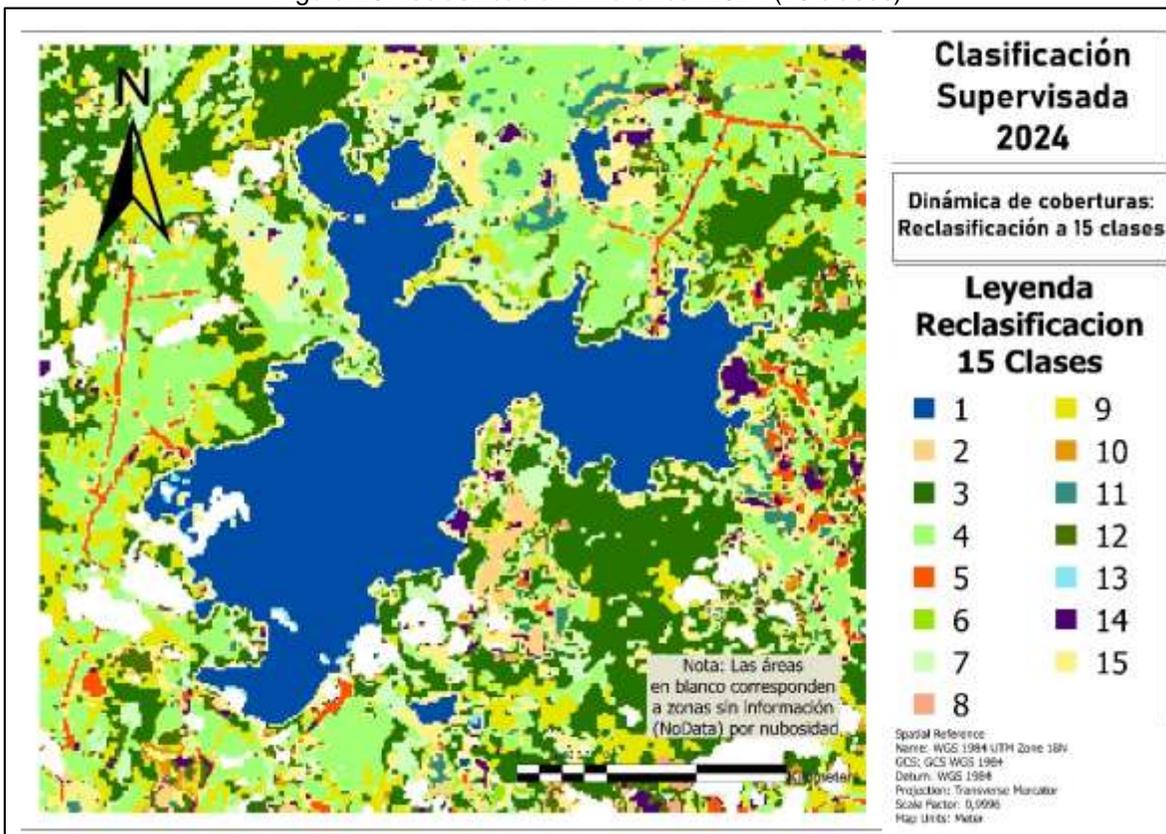
Clases de transición 2014

Código	Clase	Área
1	Agua	1535
2	Suelo Desnudo	320
3	Vegetación	1860
4	Cultivos	912
5	Infraestructura	139
6	Suelo Desnudo – Vegetación	61
7	Cultivos – Vegetación	416
8	Vegetación – Suelo Desnudo	79
9	Vegetación – Cultivos	822
10	Vegetación – Infraestructura	96
11	Suelo Desnudo – Cultivo	290
12	Cultivos – Suelo Desnudo	115
13	Pérdida de Agua	3
14	Ganancia de Agua	81
15	Transición Suelo Desnudo	510

Nota: tabla creada por el autor.

En el año 2014 se observa una redistribución de las coberturas, con una reducción relativa de las áreas vegetadas y un incremento de las coberturas agrícolas y de suelo desnudo, lo que sugiere una intensificación de las actividades antrópicas en el territorio. Las transiciones entre vegetación–cultivos y cultivos–vegetación evidencian procesos de rotación o alternancia en el uso del suelo, posiblemente asociados a prácticas agrícolas estacionales. Las clases mixtas como suelo–vegetación y suelo–cultivo reflejan áreas en transformación o en proceso de recuperación, mientras que la presencia de ganancia y pérdida de agua denota variaciones hidrológicas menores dentro del ciclo anual. En conjunto, los patrones observados indican un aumento en la fragmentación de las coberturas naturales y una mayor dinámica de cambio vinculada al uso agropecuario.

Figura 26: reclasificación intra-anual 2024 (15 clases)



Fuente: Autor

Tabla 18:
Clases de transición 2024

Código	Clase	Área
1	Agua	1563
2	Suelo Desnudo	105
3	Vegetación	1584
4	Cultivos	1312
5	Infraestructura	140
6	Suelo Desnudo – Vegetación	38
7	Cultivos – Vegetación	595
8	Vegetación – Suelo Desnudo	35
9	Vegetación – Cultivos	661
10	Vegetación – Infraestructura	36
11	Suelo Desnudo – Cultivo	87
12	Cultivos – Suelo Desnudo	148
13	Pérdida de Agua	10
14	Ganancia de Agua	130
15	Transición Suelo Desnudo	878

Nota: tabla creada por el autor.

En el año 2024 se evidencia una mayor estabilidad en las coberturas naturales y agrícolas respecto al periodo anterior, destacándose la persistencia de áreas de vegetación y cultivos como coberturas dominantes. Las transiciones entre cultivos y vegetación indican una continuidad en las dinámicas de rotación agrícola, aunque con una tendencia hacia el equilibrio entre ambos usos del suelo. Las clases mixtas de suelo Desnudo con vegetación y cultivo presentan una menor representación, lo que implica una reducción en los procesos de exposición o degradación temporal del suelo. La ganancia de agua refleja una ligera expansión del espejo hídrico, relacionada tal vez con la variabilidad climática reciente, mientras que la transición

de suelo desnudo continúa siendo un indicador de sectores sujetos a cambios temporales o fluctuaciones estacionales.

En conjunto, los resultados para 2024 evidencian una tendencia hacia la estabilización de las coberturas y una disminución de la fragmentación espacial observada en periodos anteriores.

En conclusión, el análisis multitemporal de las clases de transición evidencia cambios progresivos en la dinámica de las coberturas durante las dos épocas secas de los años 2004, 2014 y 2024. En 2004 se observó una clara predominancia de coberturas naturales, con amplia representación de la vegetación y los cuerpos de agua, y una baja incidencia de superficies antrópicas, lo que sugiere un sistema ambiental con alta integridad ecológica y una limitada presión sobre el territorio.

Para 2014, se identificaron transformaciones significativas asociadas al aumento de coberturas agrícolas y de suelo desnudo, acompañadas de una mayor frecuencia de transiciones entre vegetación, cultivos y suelo, lo cual refleja una intensificación de las actividades agropecuarias y un incremento en la fragmentación de las coberturas naturales. Estas dinámicas son consistentes con procesos de cambio de uso del suelo y alternancia estacional vinculados a la variabilidad climática intra-anual.

Finalmente, en 2024 se evidencia una tendencia hacia la estabilización de las coberturas, con un equilibrio relativo entre las áreas de vegetación y cultivos, y una disminución de las transiciones mixtas, lo que sugiere una reducción en los procesos de degradación temporal del suelo. La presencia moderada de clases de ganancia de agua indica ligeras recuperaciones hidrológicas, mientras que la transición de suelo desnudo se mantiene como un componente de ajuste estacional dentro del sistema. En conjunto, el periodo analizado muestra una evolución desde un escenario predominantemente natural hacia uno de mayor intervención antrópica, seguido por un proceso de estabilización y reorganización del paisaje.

5.2. Resultados de Clasificación supervisada Interanual

El análisis interanual muestra cómo las coberturas han cambiado entre 2004, 2014 y 2024, en las dos épocas estudiadas permitiendo observar la evolución del paisaje y los efectos de la actividad humana y las variaciones climáticas a lo largo del tiempo. Esta comparación multitemporal ayuda a entender qué coberturas se mantienen estables y cuáles han mostrado transformaciones importantes dentro del sistema.

A continuación, se presentan tablas de áreas y mapas de clasificación, datos cuantitativos y cualitativos de la distribución espacial de las coberturas y de la ocupación del territorio a lo largo del periodo multitemporal. Sumados facilitan la interpretación de las variaciones espaciales y la identificación de tendencias en la dinámica del territorio.

Tabla 19:
Cobertura interanual época 1

Código	Clase	Área
1	Agua	1237
2	Suelo Desnudo	1708
3	Vegetación	443
4	Cultivos	108
5	Infraestructura	37
6	Suelo Desnudo – Vegetación	657
7	Cultivos – Vegetación	1
8	Vegetación – Suelo Desnudo	459
9	Vegetación – Cultivos	726
10	Vegetación – Infraestructura	1260
11	Suelo Desnudo – Cultivo	375
12	Cultivos – Suelo Desnudo	25
13	Pérdida de Agua	0
14	Ganancia de Agua	310
15	Transición Suelo Desnudo	79

Nota: tabla creada por el autor.

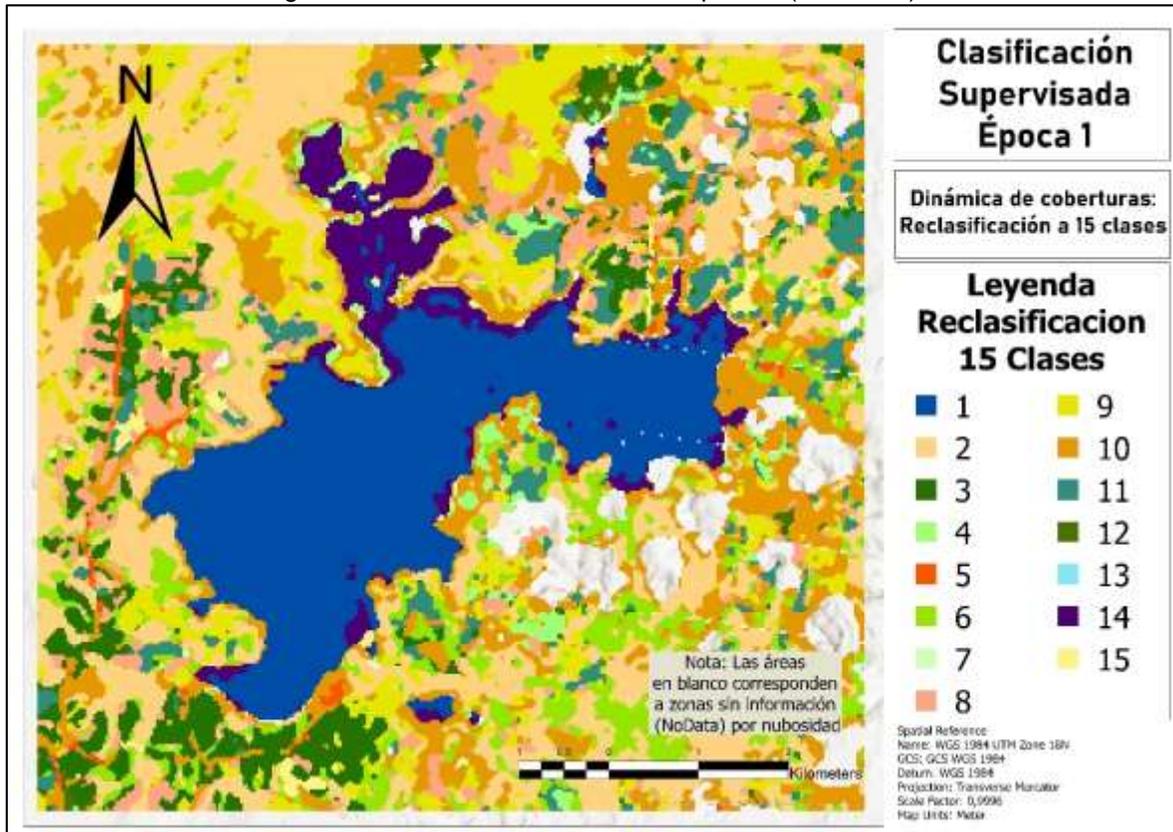
La época seca 1 evidencia una dinámica territorial influenciada principalmente por los procesos antrópicos y las variaciones hidrológicas registradas a lo largo de las dos décadas de estudio. Un aspecto relevante es la baja pérdida de agua en contraste con la presencia de ganancia de agua, lo que sugiere una leve recuperación del espejo hídrico o una mayor permanencia del recurso durante este periodo. Este comportamiento puede asociarse a una estabilización en las condiciones climáticas o a procesos de recuperación natural de la ciénaga, que contrarrestan parcialmente las pérdidas observadas en años anteriores.

Asimismo, la amplia extensión del suelo desnudo y de las clases de transición asociadas (suelo–vegetación, suelo–cultivo y transición de suelo desnudo) refleja una evolución dinámica del territorio, en la que ciertas áreas atraviesan diferentes estados de cobertura según las condiciones estacionales y los usos del suelo. Este comportamiento puede interpretarse como una secuencia de exposición, aprovechamiento y recuperación del terreno, donde el suelo desnudo actúa como un estado intermedio dentro del proceso de cambio de cobertura.

En consecuencia, la clase vegetación–infraestructura presenta una participación significativa, y se relaciona en gran parte con áreas que anteriormente correspondían a suelo desnudo, lo que sugiere una transición hacia superficies intervenidas y áreas donde las coberturas naturales han sido reemplazadas o fragmentadas por la expansión de infraestructuras y actividades humanas. Este patrón confirma la incidencia de la transformación antrópica sobre los ecosistemas naturales, evidenciando un cambio progresivo del paisaje hacia un mayor grado de intervención.

En conjunto, los resultados indican que la época seca 1 en 2024 muestra un paisaje con signos de recuperación hídrica, pero aún condicionado por la presión antrópica y las transformaciones derivadas del uso del suelo, especialmente en las zonas que históricamente han presentado mayor alternancia entre coberturas naturales y modificadas.

Figura 27: reclasificación interanual época 1 (15 clases)



Fuente: Autor

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a la época seca 2, Este análisis complementa la interpretación interanual previa, permitiendo observar cómo varía la dinámica del territorio bajo diferentes condiciones estacionales y cómo los procesos naturales y antrópicos continúan modelando la estructura del paisaje.

Tabla 20:
Cobertura interanual época 2

Código	Clase	Área
1	Agua	1234
2	Suelo Desnudo	1282
3	Vegetación	596
4	Cultivos	16
5	Infraestructura	102
6	Suelo Desnudo – Vegetación	1226
7	Cultivos – Vegetación	26
8	Vegetación – Suelo Desnudo	356
9	Vegetación – Cultivos	1033
10	Vegetación – Infraestructura	569
11	Suelo Desnudo – Cultivo	139
12	Cultivos – Suelo Desnudo	65
13	Pérdida de Agua	2
14	Ganancia de Agua	364
15	Transición Suelo Desnudo	118

Nota: tabla creada por el autor.

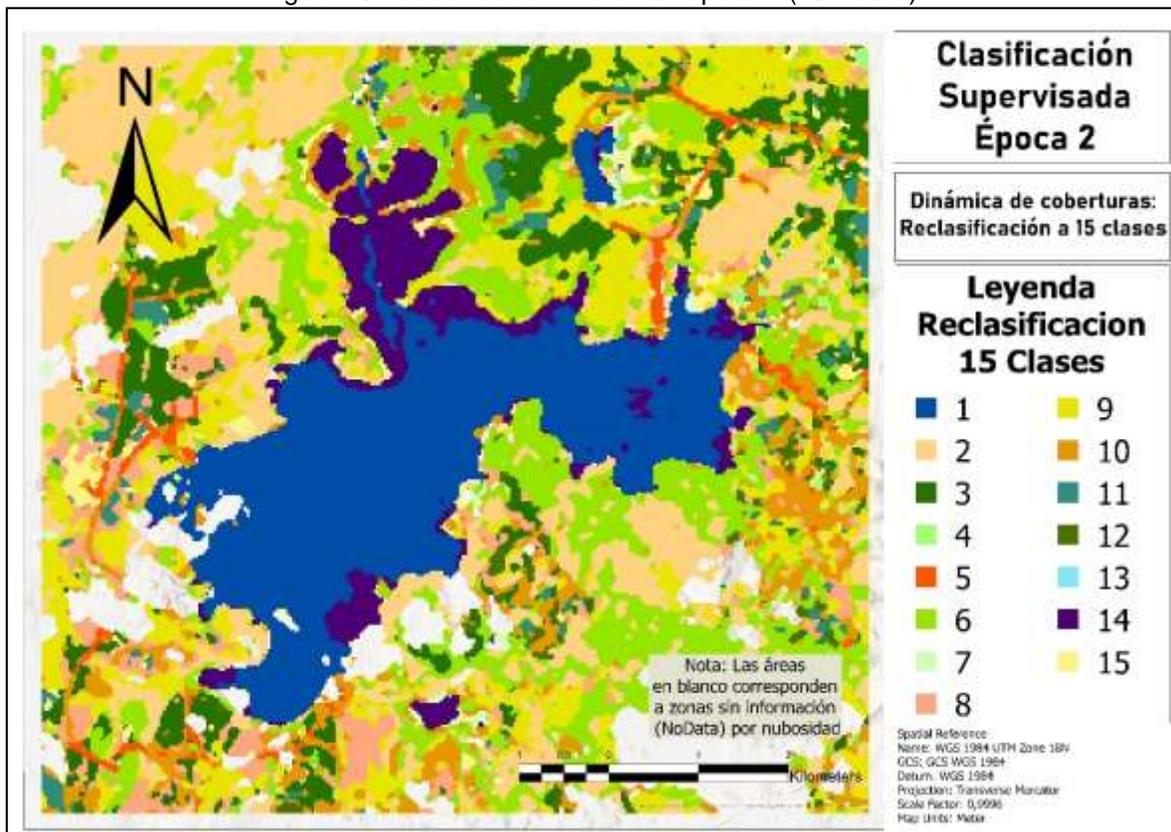
Durante la segunda época de análisis interanual, se evidencia una marcada reorganización de las coberturas dentro del área de estudio, con predominio de superficies asociadas a agua , suelo desnudo y transición suelo desnudo–vegetación. Este patrón refleja procesos de dinámica hídrica y de recuperación vegetal posteriores a periodos de exposición del suelo, posiblemente vinculados a variaciones estacionales en el nivel freático o a la alternancia entre fases secas y húmedas propias del sistema cenagoso.

Por otra parte, las coberturas de vegetación–cultivos y vegetación–infraestructura indican la expansión de actividades antrópicas sobre áreas naturales, lo que sugiere una progresiva transformación del territorio hacia usos productivos y de ocupación. La presencia de ganancia de agua contra pérdida de agua complementa esta

dinámica, evidenciando cambios espaciales en los cuerpos de agua que pueden estar asociados tanto a procesos naturales de inundación como a modificaciones antrópicas del drenaje o manejo del recurso hídrico.

Estos permiten inferir una tendencia hacia la recuperación parcial de la vegetación en zonas previamente degradadas, acompañada de una intensificación del uso del suelo en áreas con potencial agrícola o de infraestructura, lo cual denota un escenario de competencia entre la dinámica ecológica y las presiones humanas sobre la Ciénaga de Paredes.

Figura 28: reclasificación interanual época 2 (15 clases)



Fuente: Autor

se evidencia una evolución progresiva en la dinámica de las coberturas dentro de la Ciénaga de Paredes, caracterizada por un tránsito marcado entre superficies de suelo desnudo, vegetación y cuerpos de agua. En la primera época, las coberturas mostraban un predominio del suelo desnudo y áreas de transición, reflejando procesos de desecación temporal o retracción de los espejos de agua, posiblemente asociados a fases secas dentro del ciclo climático regional. Sin embargo, en la segunda época se observa un incremento notable en las coberturas de agua y en las clases de transición suelo desnudo–vegetación y vegetación–cultivos, lo que sugiere una recuperación hídrica parcial y una mayor heterogeneidad espacial en la estructura del paisaje.

Estos resultados evidencian que la estacionalidad ejerce un papel determinante en la dinámica de las coberturas, alternando entre fases de expansión y retracción de la vegetación y los cuerpos de agua. En periodos húmedos, el aumento del nivel freático favorece la regeneración de la cobertura vegetal y la expansión de áreas inundadas, mientras que en etapas secas predominan los procesos de exposición del sustrato, originando amplias zonas de suelo desnudo o transicional.

Asimismo, el crecimiento de las clases vegetación–infraestructura y vegetación–cultivos pone de manifiesto la incidencia de procesos antrópicos sobre el entorno natural, indicando la conversión gradual de suelos naturales hacia usos productivos o de ocupación. Estas transformaciones, sumadas a la variabilidad estacional, configuran una dinámica ambiental compleja, en la que el paisaje de la Ciénaga de Paredes responde tanto a los cambios climáticos como a las presiones humanas.

6. CONCLUSIONES

Este trabajo concluye que la Ciénaga de Paredes es un ecosistema con resiliencia ecológica puesto que se ha adaptado a la actividad antrópica con el transcurso del tiempo y a los constantes cambios del paisaje, teniendo en cuenta que en el año 2004 se reflejó un gran equilibrio entre las coberturas naturales y agrícolas, posteriormente, en el año 2014 se identificó una disminución relativa de la vegetación y un incremento de coberturas agrícolas y suelo desnudo. Sin embargo, en 2024, se observa nuevamente una estabilidad entre las coberturas naturales y agrícolas, aún en presencia de actividades antrópicas en el territorio, lo que indica una disminución en la degradación del suelo. Se evidencia la incidencia constante de los procesos antrópicos en los terrenos de vegetación, dado que, las zonas vegetales gradualmente se ven transformadas en usos de suelos para la producción de cultivos y la infraestructura vial.

También se deduce que la variación hidromorfológica de la Ciénaga de Paredes se debe únicamente a factores de estacionalidad intra-anual, del mismo modo, el espejo de agua se mantiene estable a lo largo de los años y sus índices de disminución son muy bajos cuando se presentan; incluso el nivel de agua presenta una tendencia de aumento significativa con el paso de los años. Se puede decir que la estacionalidad cumple un papel fundamental en la dinámica de las coberturas, debido a que aumenta los niveles freáticos y favorece la recuperación vegetal y las áreas de inundación en los periodos húmedos, en contraste con las épocas secas donde aumentan las zonas de suelo desnudo. De igual forma, en la primera época seca del año, se refleja una desecación temporal asociada a un ciclo climático regional, por otra parte, en la segunda época se evidencia una mejora en las coberturas de agua y el restablecimiento de la vegetación

Por otra parte, se concluye que la metodología utilizada para la presente investigación fue la más pertinente, así como la reclasificación y la elección de la clasificación supervisada como técnica de estudio; estos factores fueron los que favorecieron el desarrollo del proyecto y posibilitaron la obtención de los resultados presentados. Finalmente, es preciso resaltar que el proyecto toma un gran significado al llevarse a cabo en dos diferentes épocas de los años estudiados, por un periodo de 20 años; lo que refleja enriquece el análisis y permite evidenciar cambios de una mejor forma.

7. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los hallazgos, conclusiones y reflexiones de este trabajo investigativo, se recomienda a los entes gubernamentales continuar uniendo fuerzas en pro de la preservación y cuidado de los humedales y las ciénagas, ya que la regulación normativa es fundamental; además, se sugiere reforzar las zonas de amortiguamiento, la regulación de los POT'S y la orientación del POMCA del río Lebrija para fortalecer las áreas que han sufrido pérdida de cobertura natural por las actividades antrópicas. De igual forma, se motiva a la academia a desarrollar más investigaciones que estudien los diferentes humedales del territorio colombiano a través de la teledetección, con enfoques amplios que consideren las dinámicas ecológicas y su relación con las actividades humanas; esto teniendo en cuenta que son escasos los estudios con este enfoque, sobre todo, en el caso de la Ciénaga de Paredes.

Finalmente, se recomienda a la comunidad y a las entidades ambientales seguir contribuyendo en el cuidado y preservación del recurso hídrico, puesto que se precisa como fundamental para todas las formas de vida posibles en los ecosistemas biodiversos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brena, J. (2016). Metodología para la delimitación y caracterización de humedales en escalas 1:50 000 y 1:20 000. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(2), 85-98.
- Cabrera, D. H. P. (2024). *Análisis de los cambios en la cobertura vegetal en el Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena Ciénaga Grande de Santa Marta por medio de imágenes satelitales*.
<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/44518>
- Congalton, R., & Green, K. (2019). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, Third Edition*.
<https://doi.org/10.1201/9780429052729>
- Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993: Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones*. *Diario Oficial* No. 41.146.
<https://gestornormativo.creg.gov.co/Publicac.nsf/2b8fb06f012cc9c245256b7b00789b0c/16b9ca0ced0f6fac0525785a007a74de.html>
- Congreso de la República de Colombia. (1997a). *Ley 357 de 1997*.
- Congreso de la República de Colombia. (1997b). *Ley 388 de 1997: Ley de Desarrollo Territorial*. *Diario Oficial* No. 43.644.
- Congreso de la República de Colombia. (2025a). *Ley 2469 de 2025*.
- Congreso de la República de Colombia. (2025b, julio 25). *Ley 2478 de 2025: Por medio de la cual se promueve la conservación de humedales en el territorio nacional y se dictan otras disposiciones*.
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=185173>
- García, L. C., & Dister, E. (1990). *Operación El Dorado: Restauración y Conservación de Hábitats de la Planicie de Inundación del Medio-Bajo Magdalena*.
- Gil, A., Álvarez, J. A., Rojas, F., Cesca, E., Álvarez, L. M., Zalazar, G., Fili, J., Agüero, M. L., & Villagra, P. E. (2024). Estado de conservación de los bosques de algarrobos en La Ciénaga y Huaco (Provincia de San Juan, Argentina): Un aporte para el ordenamiento territorial de bosques nativos. *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 63(1), 220-240.
- Gobernación de Cundinamarca & ; Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. (2007). *Uso del suelo y coberturas vegetales*.
https://www.cundinamarca.gov.co/dependencias/secagrocampesinado/informacion-de-interes/uso_del_suelo_y_coberturas_vegetales
- Gonzales Alarcón, G. (2018). Análisis multitemporal de la deforestación y pérdida de cobertura boscosa en la Provincia de Manu, 2000—2016. *Universidad Nacional Federico Villarreal*. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2277>

Guía Técnica Formulación POMCAs. (s. f.). Recuperado 23 de septiembre de 2025, de <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/guia-tecnica-formulacion-pomcas/>

Herramienta de región de interés (ROI). (s. f.). Recuperado 4 de octubre de 2025, de <https://www.nv5geospatialsoftware.com/docs/RegionOfInterestTool.html>

Humedales Magdalena Medio – Corporación Autónoma Regional de Santander CAS. (2021, agosto 23). <https://cas.gov.co/areas-protegidas/humedales-magdalena-medio/>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. (s. f.). *Glosario de términos ambientales.* <https://www.ideam.gov.co/atencion-y-servicios-a-la-ciudadania/glosario/cienaga>

Instituto de Teledetección (basado en literatura académica). (2023). *Índices espectrales: Combinaciones matemáticas para resaltar propiedades del paisaje.* <https://ltb.itc.utwente.nl/549/concept/101166>

IPBES Secretariat. (2012). *Remote sensing. In Sustainable Use Assessment Glossary.* <https://www.ipbes.net/node/41791>

JENSEN, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective.* <https://es.scribd.com/document/667034923/JENSEN-J-R-Introductory-Digital-Image-Processing-a-Remote-Sensing-Perspective>

Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction.* <https://doi.org/10.1007/3-540-29711-1>

Lu Corresponding author, D., Mausel, P., Brondízio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365-2401. <https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>

Luis Francisco Moreno B & Carlos Fonseca Z. (1987). Las Ciénagas: Polos potenciales para el desarrollo. *Actualidades Biológicas*, 16(60), Article 60. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.330082>

Luis Francisco Moreno B, Luis Carlos García L, & Germán Márquez C. (1987). Productividad e importancia del bosque ripario del complejo de ciénagas de Chucurí (departamento de de Santander, Colombia). *Actualidades Biológicas*, 16(61), Article 61. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.330039>

María del R. Prieto, E. Abraham, & P. Dussel. (2008). Transformaciones de un ecosistema palustre.: La gran ciénaga del Bermejo - Mendoza, siglos XVIII y XIX. *Multequina*, 17(2), 147-164.

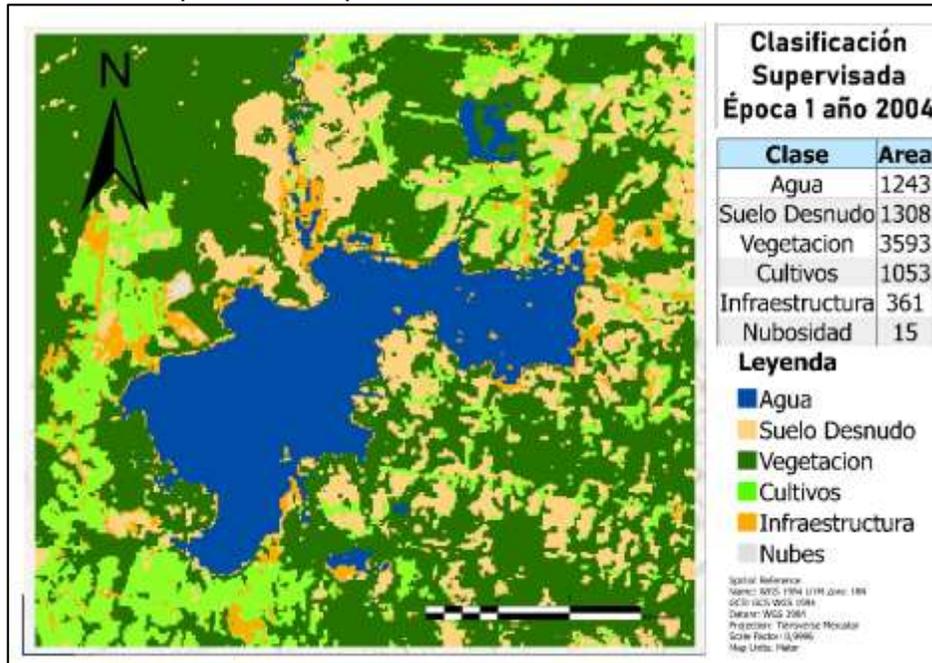
Martinez, J. V. A. (2012). *Evaluación del estado actual y propuesta de acciones de recuperacion de la ciénaga Miramar en el municipio de Barrancabermeja—Santander.*

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico. (2021). *GUÍA TÉCNICA ACTUALIZADA PARA LA FORMULACIÓN DE LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.*

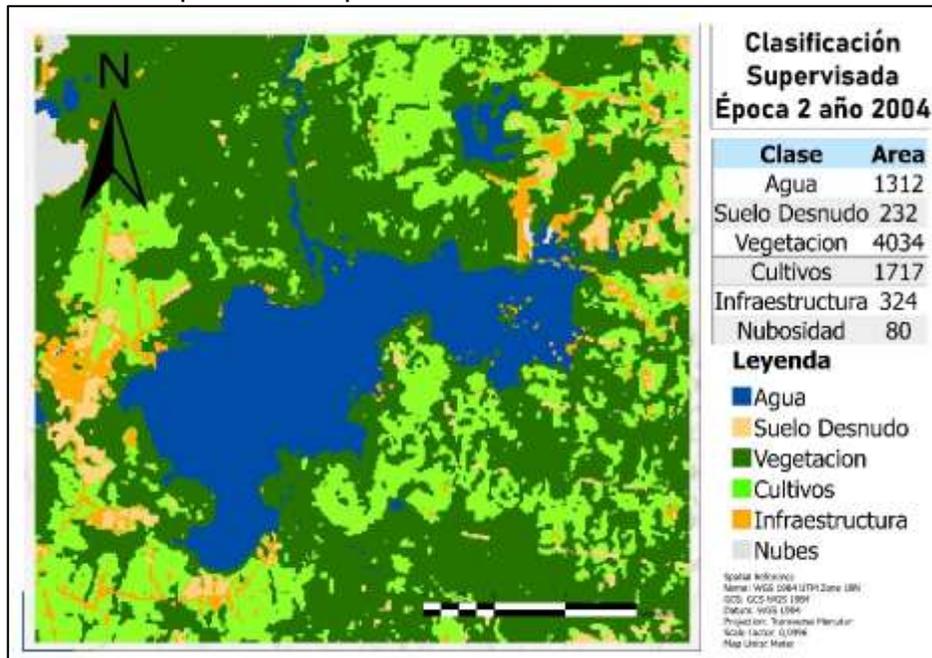
- Mirábile, C., Zuluaga, J., Fusari, M., Burgos, V. H., & Nuñez, M. (2005). *Estudio de la variación temporal del área palustre del río Mendoza a partir de datos históricos, cartográficos y satelitales*. <https://repositorio.ina.gov.ar/handle/123456789/299>
- Mitsch, W., & Gosselink, J. (2015). *Wetlands, 5th edition*.
- Mojica, Arévalo, González, & Murillo,. (2014). Caracterización de la calidad del agua en sitios de preferencia del manatí antillano (*Trichechus manatus*) en la ciénaga de Paredes, Magdalena Medio, Santander, Colombia. *Biota Colombiana*, 15(1), 174-187.
- Moncada, A. M. G., & Bothia, M. A. Z. (2023). *Evaluación de la calidad del agua de la fuente hídrica Ciénaga San Silvestre, en la desembocadura de la quebrada el Zarzal en jurisdicción del municipio de Barrancabermeja—Santander*.
- Rodríguez, M. H., & Flores, D. D. C. (2016). Cobertura de vegetación natural en Parques Nacionales de Cuba: Análisis multitemporal y variación futura de las condiciones bioclimáticas / Natural vegetation cover in National Parks of Cuba: multitemporal analysis and future variation of bioclimatic conditions. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 37, 93-102.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974, enero 1). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2016). *Introducción a la Convención sobre los Humedales (Ed.5)*. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1_5ed_introductiontoconvention_s_final.pdf
- Teledetección e interpretación de imágenes, 7.ª edición | Wiley*. (2015). Wiley.Com. <https://www.wiley.com/en-us/Remote+Sensing+and+Image+Interpretation%2C+7th+Edition-p-9781118343289>
- Turner II, B. L., Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L., & Leemans, R. (1995). *Land-Use and Land-Cover Change, Science/Research Plan*. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/4402/>, <https://iiasa.dev.local/>
- Universidad de Nariño. (s. f.). *Análisis multitemporal con imágenes satelitales*. <https://sired.udenar.edu.co/10985/1/83253.pdf>

9. ANEXOS

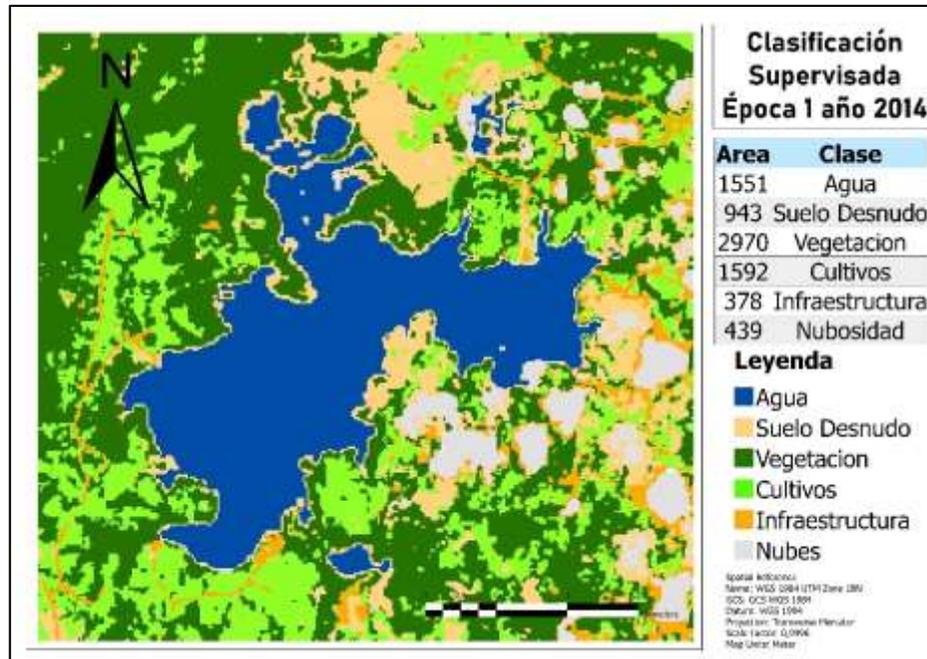
A. Clasificación supervisada época 1 año 2004



B. Clasificación supervisada época 2 año 2004



C. Clasificación supervisada época 1 año 2014



D. Clasificación supervisada época 2 año 2014

