

Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 13, número 3; 2025, septiembre-diciembre



***Evolución espaciotemporal de los cambios de cobertura vegetal y uso de suelo
en Sierra del Rosario, Cuba (2016 – 2024)***

Spatiotemporal evolution of changes in vegetation cover and land use in Sierra del Rosario, Cuba (2016 – 2024)

Evolução espaço-temporal das mudanças na cobertura vegetal e no uso do solo na Sierra del Rosario, Cuba (2016 – 2024)

Víctor Gutiérrez Gómez^{1*} , Iluminada de la C. Milián Cabrera² ,
Jorge Luis Zamora Martín¹ 

¹Estación Ecológica de la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario, Km 521/2 Autopista Nacional, Comunidad Las Terrazas, Candelaria, Artemisa, Cuba.

²Universidad de Pinar del Río “Hermandos Saíz Montes de Oca”. Pinar del Río, Cuba.

*Autor para la correspondencia: victorguti0027@gmail.com

Recibido: 10/12/2024.

Aprobado: 17/10/2024.

Publicado: 20/10/2025.



RESUMEN

En el presente trabajo, se hizo un estudio espaciotemporal de los cambios en el uso del suelo y de cobertura vegetal en un área de 25,532 hectáreas, con el objetivo de evaluar los servicios ecosistémicos y conservar la diversidad biológica. Utilizando imágenes satelitales y el software QGIS 3.38, se realizó un preprocesamiento y clasificación de las imágenes Sentinel para identificar seis tipos de uso del suelo: forestal, cultivos agrícolas, ganadería, asentamientos, cuerpos de agua y áreas de conservación. Se clasificó el área de estudio según el índice de NDVI y la clasificación supervisada para la actualización del uso de suelo, en cada año del periodo 2016 al 2024 lo que permitió obtener los valores de cobertura y calcular la TAC, se puede evidenciar el aumento de la vegetación densa del 24,74 % y la disminución del suelo desnudo en un 0.43 %. La actividad ciclónica es considerada la principal causa de la pérdida de cobertura vegetal en la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario, pues los picos de NDVI más bajos se corresponden con periodos posteriores al paso de estos fenómenos. En el análisis de la dinámica de cambio de usos de suelo, se obtuvo que la cobertura forestal representa el (74 %) de la superficie del área de estudio, pero es notorio el avance de los cultivos que actualmente representan (12 %), asentamientos (1,4 %) y de los cuerpos de agua (3 %), mostrando tasas de cambios superiores a las demás clases. Esta situación permite catalogar a la región como prioritaria para la restauración ecológica, mediante un enfoque de manejo integral del paisaje, logrando evitar la fragmentación de sus ecosistemas.

Palabras clave: imágenes satelitales, cobertura vegetal, estudio espaciotemporal, degradación, fragmentación.

ABSTRACT

The present work focuses on the spatio-temporal study of changes in land use and vegetation cover in an area of 25,532 hectares, with the aim of evaluating ecosystem services and conserving biodiversity. Using satellite images and QGIS 3.38 software, preprocessing and classification of Sentinel images were conducted to identify six types of land use: forestry, agricultural crops, livestock, settlements, bodies of water, and conservation areas. The study area was classified according to the NDVI index and



supervised classification for the update of land use for each year from 2016 to 2024, which allowed for obtaining coverage values and calculating the annual change rate (TAC). An increase in dense vegetation of 24.74 % and a decrease in bare soil of 0.43 % were observed. Cyclonic activity is considered the main cause of the loss of vegetation cover in the Sierra del Rosario Biosphere Reserve, as the lowest NDVI peaks correspond to periods following these phenomena. The analysis of land use dynamics showed that forest cover represents 74 % of the study area, but there is a notable increase in crop areas now representing 12 %, settlements at 1.4 %, and bodies of water at 3 %, indicating higher change rates compared to other classes. This situation categorizes the region as a priority for ecological restoration through an integrated landscape management approach to prevent fragmentation of its ecosystems

Keywords: satellite images, vegetation cover, spatiotemporal study, degradation, fragmentation.

RESUMO

O presente trabalho centra-se no estudo espaço-temporal das alterações no uso do solo e na cobertura vegetal numa área de 25.532 hectares, com o objetivo de avaliar os serviços ecossistémicos e conservar a biodiversidade. Utilizando imagens de satélite e o software QGIS 3.38, foram realizados pré-processamento e classificação de imagens Sentinel para identificar seis tipos de uso da terra: silvicultura, culturas agrícolas, pecuária, assentamentos, corpos d'água e áreas de conservação. A área de estudo foi classificada de acordo com o índice NDVI e classificação supervisionada para atualização do uso do solo para cada ano de 2016 a 2024, o que permitiu obter valores de cobertura e calcular a taxa de variação anual (TAC). Observou-se um aumento da vegetação densa de 24,74% e uma diminuição do solo descoberto de 0,43 %. A atividade ciclónica é considerada a principal causa da perda de cobertura vegetal na Reserva da Biosfera Sierra del Rosario, uma vez que os picos mais baixos do NDVI correspondem a períodos posteriores a estes fenómenos. A análise da dinâmica do uso da terra mostrou que a cobertura florestal representa 74 % da área de estudo, mas há um aumento notável nas áreas de cultivo que agora representam 12 %, nos assentamentos em 1,4 % e nos corpos d'água em 3 %, indicando taxas de mudança mais altas em comparação com para outras aulas. Esta



situação categoriza a região como uma prioridade para a restauração ecológica através de uma abordagem integrada de gestão da paisagem para evitar a fragmentação dos seus ecossistemas.

Palavras-chave: imagens de satélite, cobertura vegetal, estudo espaçotemporal, degradação, fragmentação.

INTRODUCCIÓN

Los estudios del cambio de uso del suelo son herramientas de gran importancia ya que evalúan la velocidad de la deforestación/reforestación, determinan su extensión geográfica y entienden cuáles son las causas sociales y económicas de los cambios, en las escalas global, regional y local (Ruiz, Savé y Herrera, 2013).

Con el uso de imágenes satelitales y la aplicación de ellas en estudios multitemporales utilizando SIG, se ha logrado cuantificar los cambios antrópicos ocurridos en un determinado espacio y en un periodo de tiempo definido, de ésta manera y gracias a este tipo de herramientas los cambios de uso de suelo y cobertura vegetal han tenido una mayor atención en los últimos años; este tipo de estudios aportan una valiosa información en la toma de decisiones de tipo ambiental y son de gran ayuda como herramientas para monitorear y cuantificar los cambios ocurridos en un área de interés con un periodo de tiempo establecido (Pimiento, 2019).

Esta temática ha cobrado interés en la actualidad destacándose los trabajos realizados por Escobar y Castillo, (2021) quienes analizan las trayectorias del cambio en la cobertura y usos del suelo en tres cuencas en la región del Soconusco, Chiapas, México, durante un período de 25 años; Sandoval et al., (2021) en una microcuenca de la Mixteca Alta Oaxaqueña, México, durante el periodo de 1995 a 2016; Pérez *et al.*, (2021) en ecosistemas del municipio San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca en el periodo de 1998 al año 2000.

Según Bonilla-Moheno et al., (2012) señalan que las investigaciones sobre el cambio de cobertura y uso del suelo a nivel local proporcionan información puntual de los principales factores de esas modificaciones; además de, incorporar al análisis detalles de las actividades productivas en el ámbito familiar, así como en el contexto histórico y social.



Es por ello que, esta investigación aborda el tema del análisis espacial del uso forestal en un área de conservación bajo un régimen de gestión y manejo de sus recursos, en la cual se pretende estudiar la evolución, o los principales cambios a partir de diferentes materiales documentales y el procesamiento digital de imágenes de satélites Sentinel de los años 2016 a 2024 y comparado con datos de 2001.

Teniendo en cuenta todo lo antes argumentado se ha planteado esta investigación, y en atención a demandas que provienen de diferentes fuentes como el proyecto PT211AR 002-004) “Estudio de servicios ecosistémicos en la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario en el contexto del Plan de Estado de la República de Cuba”. Este trabajo se plantea como objetivo: Analizar la evolución de la cobertura de vegetación y uso de suelo en la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario durante el período de 2016 a 2024.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está localizada en el extremo oriental de la Cordillera de Guaniguanico en el occidente de Cuba. Según la nueva división político-administrativa, se encuentra ubicada al noroeste de la Provincia Artemisa (Figura 1), la cual limita al sur con la llanura Sur de Pinar del Río; por el norte con la llanura ondulada de la costa norte; por el oeste con el río Manantiales y por el este con las cuencas del río San Francisco y del río Pedernales (Plan de Manejo Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario 2013 – 2017).



Figura 1. - Ubicación del área de estudio



Para la clasificación de uso de suelo y los cambios ocurridos a través del periodo 1991- 2016 fueron empleadas dos imágenes Sentinel 2A (Tabla 1) con una cobertura de nubosidad del 10 % (path/row: 10/62), técnicas de percepción remota, y el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). En estas imágenes se determinaron los siguientes usos de suelo: forestal, cultivos agrícolas, ganadería, asentamientos, cuerpos de agua y áreas de conservación.

Tabla 1. - Codificación de las imágenes satelitales

Satélite	Año	Fecha	Cobertura de nubes
Sentinel 2A	1er año	25/08/2016	Menos del 10%
	2do año	19/08/2018	
	3er año	07/09/2020	
	4to año	02/08/2022	
	5to año	11/08/2024	

Las imágenes de satélite de las fechas seleccionadas se obtuvieron del portal de Internet del <http://browser.dataspace.copernicus.eu>. Se seleccionaron las fechas anteriores por la escasez de imágenes sin cobertura de nubosidad, problema recurrente en la zona de estudio. Las imágenes fueron georreferenciadas usando coordenadas en la proyección cartográfica Universal Transversal de Mercator (WGS 84 Zona 17S), para su integración dentro del entorno SIG. Con una resolución espacial (10x10m).

Este proceso se llevó a cabo en el SIG QGIS.38 una vez que las imágenes tuvieron la misma georreferencia, se procedió entonces a las correcciones radiométricas que implica la restauración de líneas o píxeles perdidos, mediante Surface Reflectance, combinación de bandas, corrección atmosférica que se efectuó con modelos matemáticos que integran el valor registrado de niveles de gris con los valores reales existentes del objeto sobre el terreno (proceso de calibración) mediante LEDAPS (software), y corrección geométrica que modifica la geometría de los píxeles ajustándolos a un sistema geométrico, proceso que se realizó mediante imágenes georreferenciadas 17S UTM Datum WGS 84.

Las correcciones radiométricas son fundamentales para una adecuada interpretación de las imágenes satelitales, ya que los contrastes en la iluminación y la geometría deben ser minimizados en estudios multitemporales mediante el uso de valores constantes o coeficientes de corrección de factores tales como la distancia entre la Tierra y el Sol (Alexakis *et al.*, 2012).

La corrección consistió en la utilización de ecuaciones estándar para convertir números digitales (ND) a unidades de radiancia y reflectancia percibida por el sensor del satélite. Las ecuaciones y los datos de calibración fueron obtenidos de Chander *et al.* (2009). Después de la conversión a



radiancia, cada imagen fue convertida a reflectancia superficial considerando la corrección atmosférica.

Una alternativa para determinar la influencia atmosférica y reducir sus efectos dentro del proceso de calibración fue mediante la propia información de la imagen, para lo cual se empleó el método de substracción del objeto oscuro (DOS) propuesto por Chávez (1996).

El procedimiento se realizó mediante una clasificación supervisada, utilizando el clasificador de *máxima verosimilitud*, ya que es uno de los algoritmos más comúnmente utilizados en percepción remota y es considerado como uno de los procedimientos de discriminación más eficientes donde se estableció en la imagen campos de entrenamiento representativos de cada categoría de cobertura vegetal y uso de suelo, con base en los cuales se caracterizó estadísticamente cada categoría. Posteriormente, se evaluó una función de probabilidad multidimensional completa, en la que cada píxel es asignado a la clase de mayor probabilidad de pertenencia (Eastman, 2012). Es importante notar que este enfoque se basa únicamente en la información espectral de la imagen y no considera elementos como textura, forma y disposición de objetos (Berlanga *et al.*, 2010).

Para el análisis de la cobertura vegetal, se realizó la selección de áreas de entrenamiento, donde se delimitan áreas representativas de las distintas categorías; posteriormente, se calculó los parámetros que caracterizan la distribución de los datos espectrales de las áreas definidas como muestras, se hizo el análisis de las áreas y finalmente la clasificación para obtener en forma de polígonos las superficies de las diferentes categorías. A partir de la corrección radiométrica, geométrica y atmosférica de la imagen de satélite y su posterior clasificación supervisada con el algoritmo de máxima verosimilitud, se generó el mapa de uso de suelo y se calculó utilizando las bandas del infrarrojo cercano y el rojo el NDVI, lo que permitió distinguir entre áreas de vegetación densa y aquellas con poca o ninguna vegetación. Este índice es crucial para el análisis de cambios en la cobertura vegetal, ya que proporciona una medida cuantitativa que puede ser comparada a lo largo del tiempo.

Para la interpretación del NDVI se tomó en consideración que, los valores de NDVI próximos a 0,1 revelan zonas desérticas con vegetación exigua, mientras que, los valores próximos a 0,9 indican zonas con gran densidad de vegetación (Earth Observing System, 2019).



RESULTADOS

Clasificación supervisada

Cuando se aplicó el módulo de clasificación supervisada para el análisis de cada uso de suelo o cubierta vegetal se generaron nuevas capas, cada una según el valor de radiancia de los píxeles.

A partir de la corrección radiométrica, geométrica y atmosférica de las imágenes del satélite Landsat 7 de 2001 y el análisis de la cobertura vegetal en el 2024 y su posterior clasificación supervisada con el algoritmo de máxima verosimilitud, se genera el mapa de uso de suelo (Figura 2), dando como resultado seis usos y coberturas de suelo (forestal, cultivos agrícolas, ganadería, asentamientos, cuerpos de agua y áreas de conservación) de manera cuantitativa los siguientes valores de uso de suelo se pueden apreciar en la Tabla 3.

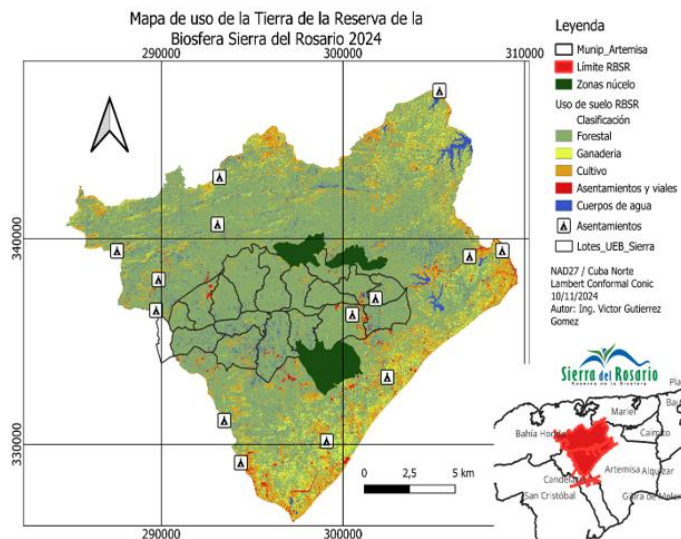


Figura 2. - Clasificación supervisada de los usos de suelo



Tabla 2. - Relación del cambio en el uso de suelo 2001 - 2024

2001	Área (Km)	ha	Por ciento	2024	m2	ha	Por ciento	Superficie y tasa de cambio anual	
								ha2	TAC
Forestales	184,16	18416	72,1621611	Forestales	19066590	19066,59	74,71146499	650,59	0,1510607
Ganadería	29,15	2915	11,42227952	Ganadería	20076200	2007,62	7,866757052	-907,38	-1,608317
Cultivos	12,94	1294	5,070473309	Cultivos	30727200	3072,72	12,04029733	1778,72	3,8316951
Asentamientos	0,47	47	0,184167114	Asentamientos	4238000	423,8	1,660638786	376,8	10,033387
Cuerpos de agua	4,13	413	1,618319534	Cuerpos de agua	9495700	949,57		3,72084184	
Áreas de conservación	24,17	2417	9,4708918	Áreas de conservación		2417	9,4708918	536,57	3,686147
Total	255,1	25510				25520,3		0	0

Índice diferencial normalizado de vegetación

El uso combinado del NDVI con técnicas estadísticas avanzadas como tasas de cambio y matrices de confusión proporciona una base sólida para evaluar los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario, en la Figura 3 se muestran los resultados de las combinaciones de bandas (izquierda banda 8 y banda 1, derecha banda 4 y banda 1), estas bandas se combinan para aumentar la visualización del espectro en las bandas del infrarrojo cercano y del rojo, que son las que permiten determinar los cambios en la cobertura vegetal y comparar con trabajos anteriores, así como la reclasificación y establecimiento de los rangos de los aspectos a evaluar. Estos métodos no solo permiten un análisis detallado, sino que también son fundamentales para informar políticas y prácticas que promuevan la sostenibilidad ambiental. En la tabla 2, se muestran los rangos alcanzados por el NDVI a partir de las categorías propuestas (Tabla 2).



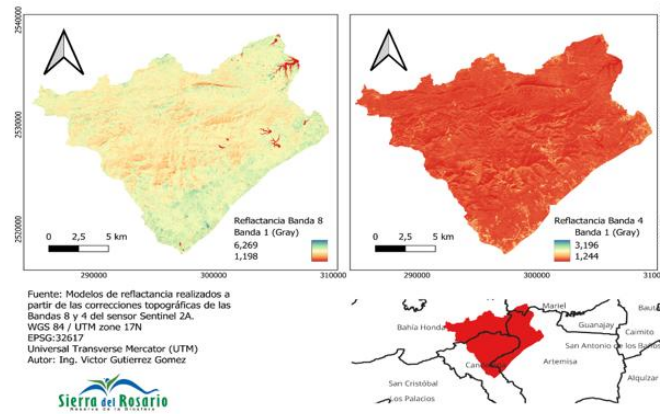


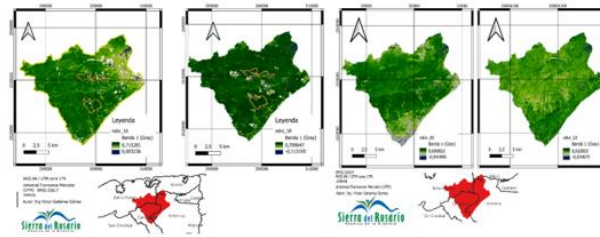
Figura 3. - Bandas 8 y 4. Sentinel 2A

Tabla 3. - Rangos de NDVI

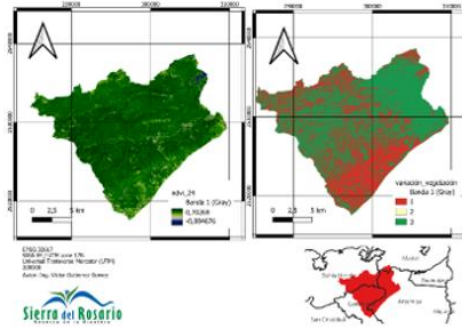
Rangos	Símbolo	Categoría
- 1 - 0,1	Ca	Cuerpos de agua
0,1 - 0,2	Sd	Suelo desnudo
0,2 - 0,4	Ve	Vegetación escasa
0,4 - 0,6	Vmd	Vegetación medianamente densa
0,6-1	Vd	Vegetación densa

Se calculó también el índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI) en la RBSR, para establecer el nivel de degradación de la vegetación, como se visualiza en la Figura 4. Se obtuvo como resultados que, en el año 2016 el valor bajo de NDVI corresponde a 0.0032 y el valor alto a 0,71. En el año 2024, el valor bajo fue de -0.08 y el valor alto de 0,70. En la Figura 5, se muestra el NDVI para el año 2024 (izquierda) y la variación desde el 2016 hasta el 2024 (derecha), siendo la zona de mayor variación la suroeste de la reserva, que constituye el área de amortiguamiento. En la zona central de la reserva, se encuentran las zonas núcleo y de conservación, donde existe un bajo grado de variabilidad.





Año 2016, 2018, 2020, 2022



Año 2024 y diferencia

Figura 4. - Índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI) en la RBSR

Se calculó el NDVI promedio para cada uno de los años evaluados (Tabla 4), así como se confeccionó un gráfico de líneas (Figura 5) a partir de los valores de la tabla 4 para mostrar el comportamiento de los mismos en los años calculados. El pico más bajo se corresponde con el paso de la tormenta tropical en el 2020, según los datos de tormentas tropicales analizados y sus pasos por la zona en estudio.

Tabla 4. - Valores promedio de NDVI por año y el histórico

	2016	2018	2020	2022	2024
NDVI PROM.	0,464217	0,4724	0,395637	0,41885	0,476010541

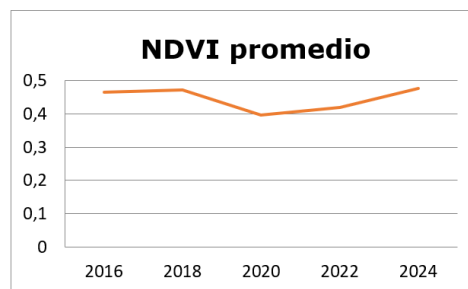


Figura 5. - Comportamiento del NDVI promedio para los años evaluados



Cambio de cobertura de suelo

En la Figura 6, se muestran los cambios de uso del suelo del área de estudio, en 2001 el área boscosa tenía una superficie de 18 416 ha sin embargo, para el 2024 este aumentó a 19 066.59 ha con una tasa de cambio del 0.15, de igual manera el área de cultivos tenía una superficie de 1294 ha aumentándose para el 2024 a 3072,72 ha con una tasa de cambio de 383 % los cuerpos de agua contaban con un área de 413 ha la cual aumentó en 949 ha así la tasa de cambio fue de 3.36 %, mientras tanto para ganadería el área inicial era de 2 915 ha la cual disminuyó en un 5,67 %, de igual manera el área de asentamientos se registró 47 ha aumentado en 1,5 % (Figura 6).

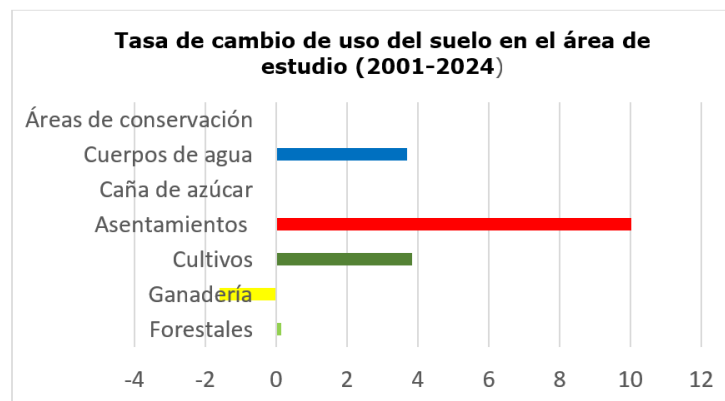


Figura 6. - Tasa de cambio de uso del suelo en el área de estudio (2001-2024)

Los estudios anteriores permitieron determinar a partir de las categorías establecidas:

Aumento en áreas forestales:

- La superficie forestal ha aumentado ligeramente en el período analizado, lo que sugiere esfuerzos exitosos en la conservación y restauración de bosques dentro de la reserva.

Reducción en ganadería:

- Se ha observado una disminución significativa en las áreas dedicadas a la ganadería, lo que podría estar relacionado con políticas de conservación más estrictas o cambios en las prácticas agrícolas.



Incremento en cultivos:

- La expansión de áreas dedicadas a cultivos indica un cambio hacia una mayor producción agrícola, lo que podría tener implicaciones para la sostenibilidad del ecosistema local.

Crecimiento de asentamientos:

- El notable aumento en las áreas rurales refleja el crecimiento poblacional y el desarrollo económico en la región, lo que puede llevar a una mayor presión sobre los recursos naturales.

Expansión de cuerpos de agua:

- Aunque no se presentan datos específicos para el análisis temporal, el aumento en cuerpos de agua puede ser indicativo de cambios en la gestión hídrica o recuperación natural.

Áreas de conservación:

- La categorización y extensión de áreas dedicadas a la conservación han mostrado un incremento positivo, subrayando el compromiso con la protección del medio ambiente.

Para el análisis de los patrones de cambio de cobertura de la vegetación se confeccionó una matriz de evolución en superficie y porcentaje donde se explica claramente los cambios ocurridos en cada categoría en un lapso de ocho años (Tabla 5).

Tabla 5. - Matriz de transición obtenida de la tabulación cruzada de los mapas de cobertura vegetal de los años 2016 y 2024 (superficie en m²)

Estables		Año 2024					Total 2016	Perdidas
1725573		Agua	Denso	Desnudo	Escaso	Mediano		
Año 2016	agua	157	0	73	7	1	238	81
	denso	0	218811	101	784	254760	474456	255645
	desnudo	7981	1327	5955	3478	2503	21244	15289
	escaso	536	28422	4061	26694	106414	166127	139433
	mediano	0	382846	1524	27639	1473956	1885965	412009
Total 2024		8674	631406	11714	58602	1837634		
Ganancias		8517	412595	5759	31908	363678	2548030	



La sumatoria de los valores de persistencia (indicados en la diagonal) establece que un total de 17255.73 ha mantuvieron su categoría de ocupación lo que representa el 77,08 % del total de la superficie del bosque de la RBSR.

DISCUSIÓN

Se clasificó el área de estudio según el índice de NDVI y la clasificación supervisada para la actualización del uso de suelo, para cada año del periodo 2016 al 2024 en el primero y el periodo 2001-2024 para el segundo lo que permitió obtener los valores de cobertura y calcular la TAC, considerando que entre los resultados del análisis multitemporal comprendido entre los periodos 2016 al 2024 se puede evidenciar el aumento de la vegetación densa del 24,74% y la disminución del suelo desnudo en un 0.43 %.

La actividad ciclónica es considerada la principal causa de la pérdida de cobertura vegetal en la *Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario*, pues los picos de NDVI más bajos se corresponden con periodos posteriores al paso de estos fenómenos.

En el análisis de la dinámica de cambio de usos de suelo, se obtuvo que la cobertura de los ecosistemas forestales representa el (74 %) de la superficie del área de estudio, pero es notorio el avance de los cultivos que actualmente representan (12 %), asentamientos (1,4 %) y de los cuerpos de agua (3 %), mostrando tasas de cambios superiores a las demás clases. Esta situación permite catalogar a la región como prioritaria para la restauración ecológica, mediante un enfoque de manejo integral del paisaje, para evitar la fragmentación de sus ecosistemas.

Las políticas de conservación del área como reserva de la biosfera han contribuido a la conservación de la región lo que se evidencia por el crecimiento del uso forestal.

El análisis por localidades de paisaje refleja que los mayores cambios han ocurridos en las unidades de las llanuras y cercanas a las comunidades, mientras que las unidades montañosas presentan los mayores niveles de conservación del uso forestal.

La superficie forestal se mantiene en la reserva sobre todo en las zonas montañosas, lo cual corresponde con los paisajes de colinas y alturas lo que manifiesta la permanencia del recurso en el área, las zonas donde se evidencia un mejor desarrollo y conservación del recurso son: las elevaciones Las Peladas en el centro-este y el macizo El Salón en la región central,



correspondiendo con las áreas de conservación que están declaradas como áreas protegidas dentro de la reserva.

En el caso Las Peladas esta categorizada como reserva natural, conformada principalmente por elevaciones, que a simple vista parecen estar desprovistas de vegetación, sin embargo, están cubiertas de una vegetación muy particular. El principal valor de Las Peladas es la vegetación de sabana que solo se encuentra en condiciones de montaña en esta zona de Cuba, siendo el endemismo vegetal de un 34 %, algunas especies como *Caribaea*, endémico provincial y un género monotípico, *Phyllomelia*, sólo reportado en Cajalbana y Sierra del Rosario.

Por su parte El Salón esta jerarquizado como Reserva Ecológica. Esta área protegida, dominada por la propia elevación de la loma El Salón (565 msnm), se caracteriza por presentar la formación de bosque siempreverde sobre suelo ácido, constituyendo uno de los ejemplos mejor conservados de esta formación vegetal en el país.

CONCLUSIONES

El análisis revela un panorama mixto respecto a los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo en la *Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario* entre 2001 y 2024. Mientras que ciertos esfuerzos han llevado a una recuperación forestal y expansión de áreas protegidas, el crecimiento agrícola y urbano plantea desafíos significativos para la sostenibilidad del ecosistema y la biodiversidad local.

Estos resultados resaltan la necesidad de implementar estrategias integrales que equilibren el desarrollo económico con la conservación ambiental, asegurando que las prácticas agrícolas y urbanas sean sostenibles a largo plazo para proteger los recursos naturales críticos dentro de la reserva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXAKIS, D.D., AGAPIOU, A., HADJIMITSIS, D.G. y RETALIS, A. 2012. Optimizing statistical classification accuracy of satellite remotely sensed imagery for supporting fast flood hydrological analysis. *Acta Geophysica* [en línea], vol. 60, no. 3, pp. 959-984. [Consulta: 3



febrero 2022]. ISSN 1895-7455. DOI 10.2478/s11600-012-0025-9. Disponible en:
<https://doi.org/10.2478/s11600-012-0025-9>.

BERLANGA ROBLES, C.A., GARCÍA CAMPOS, R.R., LÓPEZ BLANCO, J. y RUIZ LUNA, A. 2010. Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000). *Investigaciones geográficas* [en línea], no. 72, pp. 7-22. [Consulta: 3 febrero 2022]. ISSN 0188-4611. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-46112010000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

BONILLA-MOHENO, M., AIDE, T.M. y CLARK, M.L. 2012. The influence of socioeconomic, environmental, and demographic factors on municipality-scale land-cover change in Mexico. *Regional Environmental Change* [en línea], vol. 12, no. 3, pp. 543-557. [Consulta: 3 febrero 2022]. ISSN 1436-378X. DOI 10.1007/s10113-011-0268-z. Disponible en:
<https://doi.org/10.1007/s10113-011-0268-z>.

CHANDER, G.; HELDER DENIS, L. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO - 1 ALI sensors. *Remote Sensing and Environment* Vol 113, Issue 5, Pages 893 - 903.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>.

CHÁVEZ, J., Pat, 1996. Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* [en línea], vol. 62, pp. 1025- 1036. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/236769129_ImageBased_Atmospheric_Corrections_-_Revisited_and_Improved.

EARTH OBSERVING SYSTEM (EOS). 2019. *Landsat 8 Data Users Handbook (Versión 5.0; LSDS-1574)*. USGS. https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fspublic/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0.pdf

EASTMAN, R 2012. IDRISI Selva. Guía para SIG y procesamiento de imágenes. Manual versión 17. Clark Labs. Clark University. Estados Unidos.

LOZANO, ESCOBAR FLORES, ROSA ELENA y CASTILLO SANTIAGO, MIGUEL ÁNGEL. 2021 Cambios en la cobertura y uso del suelo en la región del Soconusco, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias forestales* [en línea]. vol. 12, no. 66, pp. 46-69. [Consulta: 3 febrero 2022].



ISSN 2007-1132. DOI 10.29298/rmcf.v12i66.755.
Disponibile en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S200711322021000400046&lng=es&tlng=es&nrm=iso

PÉREZ HERNÁNDEZ, M.J., HERNÁNDEZ ACOSTA, E., SÁNCHEZ JIMÉNEZ, R., GONZÁLEZ GERVACIO, C., MADRIGAL REYES, S., PÉREZ HERNÁNDEZ, M.J., HERNÁNDEZ ACOSTA, E., SÁNCHEZ JIMÉNEZ, R., GONZÁLEZ GERVACIO, C. y MADRIGAL REYES, S., 2021. Dinámica de cambios de uso de suelo y vegetación por actividades antropogénicas en Zaachila, Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias forestales* [en línea], vol. 12, no. 66, pp. 26-45. [Consulta: 3 febrero 2022]. ISSN 2007-1132. DOI 10.29298/rmcf.v12i66.894. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11322021000400026&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

RUIZ, V., SAVÉ, R. y HERRERA, A., 2013. Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflor Moropotente Nicaragua, 1993- 2011. En: Accepted: 2014-01-10T11:07:50Z, *Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano* [en línea], vol. 11, no. 3. [Consulta: 3 febrero 2022]. ISSN 1697-2473. DOI 10.7818/ECOS.2013.22-3.16. Disponible en:
<http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/34856>.

SANDOVAL-GARCÍA, R., GONZÁLEZ CUBAS, R., JIMÉNEZ PÉREZ, J., SANDOVALGARCÍA, R., GONZÁLEZ CUBAS, R. y JIMÉNEZ PÉREZ, J., 2021. Análisis multitemporal del cambio en la cobertura del suelo en la Mixteca Alta Oaxaqueña. *Revista mexicana de ciencias forestales* [en línea], vol. 12, no. 66, pp. 96-121. [Consulta: 3 febrero 2022]. ISSN 2007-1132. DOI 10.29298/rmcf.v12i66.816. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11322021000400096&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

SEPÚLVEDA-VARAS, A., SAAVEDRA-BRIONES, P., ESSE, C., SEPÚLVEDA-VARAS, A., SAAVEDRA-BRIONES, P. y ESSE, C., 2019. Análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en una subcuenca preandina chilena. Herramienta para la sustentabilidad productiva de un territorio. *Revista de geografía Norte Grande* [en línea], no. 72, pp. 9-25. [Consulta: 3 febrero 2022]. ISSN 0718-3402. DOI 10.4067/S0718-34022019000100009. Disponible en:
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-34022019000100009&lng=es&nrm=iso&tlng=es.



Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Víctor Gutiérrez Gómez: concepción de la idea, recopilación de la información resultado de los instrumentos aplicados, análisis estadístico, redacción del original (primera versión).

Iluminada de la C. Milián Cabrera: corrección del artículo, revisión y versión final del artículo, revisión de la aplicación de la norma bibliográfica aplicada, coordinador de la autoría

Jorge Luis Zamora Martín: asesoramiento general por la temática abordada, confección de instrumentos, aplicación de instrumentos, aporte de la línea base.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

