

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## ESTIMACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA ZONA NÚCLEO DE LA RESERVA DE BIOSFERA BOSAWÁS, NICARAGUA, EN EL PERÍODO 2015, CON APOYO DE TÉCNICAS DE SENSORAMIENTO REMOTO Y MÉTRICAS DE PAISAJE

\*Julio César Vado<sup>1</sup>  
Aline Maria Meiguins<sup>2</sup>  
Sergio Iván Vado<sup>1</sup>

ESTIMATE OF LAND USE CHANGE IN THE CORE AREA  
OF BOSAWAS BIOSPHERE RESERVE, NICARAGUA, IN  
THE PERIOD 2015, WITH SUPPORT ON REMOTE  
SENSING AND LANDSCAPE METRICS TECHNIQUES

Recibido el 17 de octubre de 2016; Aceptado el 23 de junio de 2017

### Abstract

*The continued destruction of forests contributes to the decline of biodiversity, due to the loss of microhabitats; changes in dispersal patterns and food as well soil erosion. One way to cushion these environmental problems is linked to know the dynamic change of land use. Biosphere Reserve Bosawás whose extension comprises approximately 735,491.35 ha, has undergone a radical transformation in recent years, mainly by migration of mestizo population. In this article the change in land use in 2015 in a sample of 24.956 ha is analyzed, for this purpose tools such as landscape metrics and remote sensing analyzes were applied. The results for the study area show that there is currently only 15% of concentrated forest patches whose areas are less than 1 ha, 31.48% are scattered patches of forests; 32.36% represent patches of shrubs or bushes and 16.90% bare soil and the remaining 4.28% are bodies of water.*

**Key Words:** RB Bosawás, remote sensing, landscape metrics.

<sup>1</sup> Carvajal & Vado Ingeniería y Arquitectura, Nicaragua

<sup>2</sup> Universidade Federal do Pará, Brasil.

\*Autor corresponsal: Email: BAMPRO 1 cuadra al sur, Edificio CARVAJAL & VADO, Masaya, Nicaragua.

Email: [jvado@carvajalvado.com](mailto:jvado@carvajalvado.com)

## Resumen

La continua destrucción de los bosques, contribuye a la disminución de la diversidad biológica, por causa de la pérdida de micro-hábitats; cambios en los patrones de dispersión y alimentación, así como erosión de los suelos. Una manera de amortiguar estos problemas medio ambientales está vinculada en conocer la dinámica en cambio de uso de suelo. La Reserva de Biosfera Bosawás cuya extensión comprende aproximadamente 735,491.35 ha, sufre una transformación radical en los últimos años sobre todo por emigración de población mestiza. En el presente artículo se analiza el uso de suelo en el año 2015, de una muestra de 24,956 ha, para tal efecto se aplicaron herramientas de sensoramiento remoto y métricas de paisaje. Los resultados para el área en estudio, muestran que actualmente apenas existe un 14.99% de parches de bosque concentrado cuyas áreas son menores a 1 ha; el 31.48% son parches de bosques dispersos; 32.36% representan parches de arbustos o matorrales y 16.90% es suelo sin cobertura vegetal y el restante 4.28% son cuerpos de agua.

**Palabras clave:** RB Bosawás, sensoramiento remoto, métricas de paisaje.

---

## Introducción

Los cambios de uso y cobertura de suelo han generado alteraciones en los patrones de comportamiento de los sistemas ecológicos, definiendo nuevos escenarios los cuales originan de manera continua un desequilibrio de los sistemas naturales, especialmente aquellos asociados a la cobertura forestal y sistemas hídricos (Pérez *et al.*, 2012; Camacho-Sanabria *et al.*, 2015). Coetzerl *et al.* (2010) consideran que las transformaciones de paisajes son inevitables con el crecimiento poblacional continuo y el desenvolvimiento socioeconómico humano.

Las unidades de conservación son espacios en los cuales se busca garantizar la reducción de estos cambios, principalmente en lo referente a la preservación de áreas destinadas a la fauna y flora. Sin embargo, la constitución de las áreas llamadas de transición han ocasionado "perturbaciones" en estos espacios, generando vectores de presión en áreas anteriormente consideradas estables (Franklin e Lindenmayer, 2009; Coetzerl *et al.*, 2010).

En una unidad de conservación los ecosistemas asociados constituyen comunidades bióticas, que junto con su ambiente físico, son considerados como un conjunto integrado en función de aspectos estructurales funcionales de los procesos biológicos, físicos y químicos relacionados. (Allen *et al.*, 2006; Fischer e Lindenmayer, 2007).

Existen evidencias que el proceso de alteración de la cobertura forestal, por la conversión de las áreas localizadas en zonas húmedas en habitas de pasto o tierra cultivada, probablemente generan un cambio en la oferta de recursos naturales, especialmente en áreas con suelos pobres (Rais *et al.*, 2010; Fakarayi *et al.*, 2015). Esta degradación de los habitas puede impactar negativamente a las especies de fauna locales, lo que se traduce en una pérdida en aspectos relativos a la reproducción y alimentación.

La adopción del sensoramiento remoto en la evaluación del grado de integralidad de las unidades de conservación facilita el planeamiento de la conservación y el proceso de toma de decisiones (Mata *et al.*, 2014; Camacho-Sanabria *et al.*, 2015). Uno de los métodos adoptados en este proceso es la utilización de la ecología de paisaje (Wu, 2004; Tuner, 2005; Wu, 2012) como auxilio en el proceso del análisis del grado de fragmentación de estas áreas (Ayram *et al.*, 2014; Orozco M. *et al.*, 2015). En este proceso, son delimitadas, identificadas y cuantificadas los tipos de cobertura. El resultado permite la configuración de sub-regiones o zonas ecológicas con gradientes físicos (vegetación, altitud y presión antrópica) diferenciados (Groom *et al.*, 2006).

En este sentido el presente trabajo analiza el grado de fragmentación del suelo de un área localizada en Bosawás, Nicaragua, la cual en el mes de octubre del año 1997 la organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) elevó a la categoría de Reserva de Biosfera (RB) a la hasta entonces Reserva de Recursos Naturales Bosawás, pasando en adelante a formar parte del patrimonio de la humanidad (Roiz, 2000). La RB Bosawás es una de las áreas de bosque más extensas de Centro América y al norte del Amazonas, ocupando aproximadamente 735,491.35 ha (Roiz, 2000) siendo a la vez abrigo del territorio tradicional de las comunidades indígenas Miskitas y Mayagnas.

Desde el punto de vista ecológico este territorio, es una área de suma importancia por ser parte del corredor biológico Mesoamericano y junto con las RB de Rio Plátano, la Sierra de Agalta y la Mosquitia Hondureña, representan las áreas protegidas más extensas del Istmo Centroamericano, proveyendo refugio a numerosas especies en peligro de extinción, tales como el jaguar (*Pantera onca*); danto (*Tapirus bairdii*); oso hormiguero gigante (*Myrmecophaga trydactyla*); entre otras (Guillen *et al.*, 2006).

A pesar de la declaratoria de la UNESCO para la conservación de la RB Bosawás, la población mestiza de forma paulatina se ha adueñado de extensas áreas de bosque virgen las cuales son destinadas principalmente a la agricultura, esta situación provoca continuamente conflictos violentos con las comunidades indígenas.

Es dentro de esta dinámica que la frontera agrícola avanza inexorablemente hacia el núcleo de la RB, provocando la continua deforestación y destrucción del hábitat (Kaimowitz *et al.*, 2003). Tomando en consideración estos hechos, el objetivo del presente trabajo fue el de estimar el cambio del uso de suelo que ha experimentado un área de aproximadamente 250 km<sup>2</sup> en la zona núcleo RB Bosawás en el período 2015, haciendo uso de sistemas de sensoramiento remoto y métricas de paisaje.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Área de estudio

La zona núcleo de la biosfera Bosawás posee una extensión aproximada de 735,491.35 ha (Naciones Unidas, 2014), se encuentra localizada en las coordenadas UTM 713366.45 E, 1564301.20 N. El clima es de tipo húmedo tropical monzónico con precipitaciones que varían entre los 1,800 mm a los 2,800 mm anuales, con temperatura promedio de 26.5° C (Roiz, 2000). La zona en estudio comprende un área de aproximadamente 250 km<sup>2</sup>. Ver Figura 1.

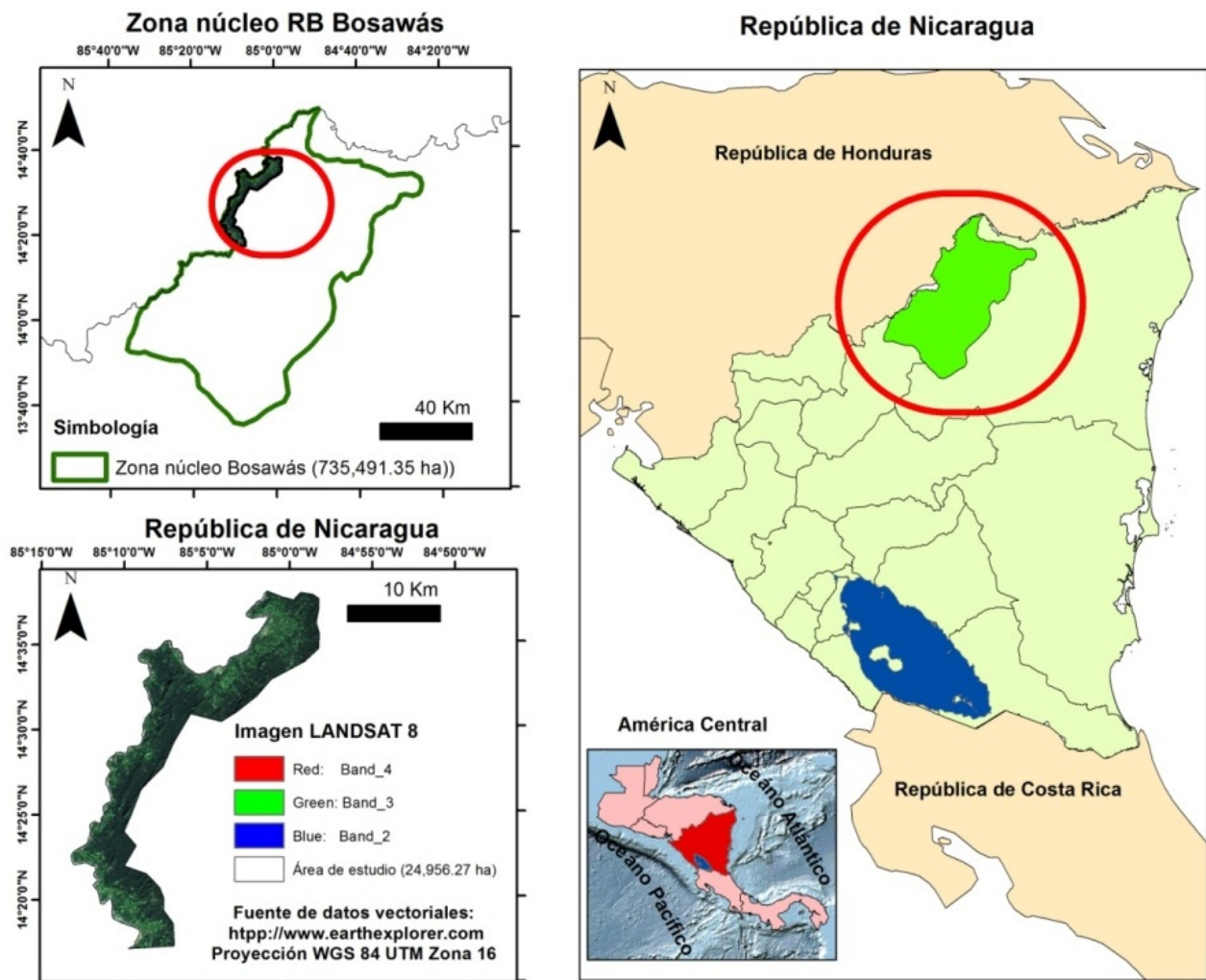
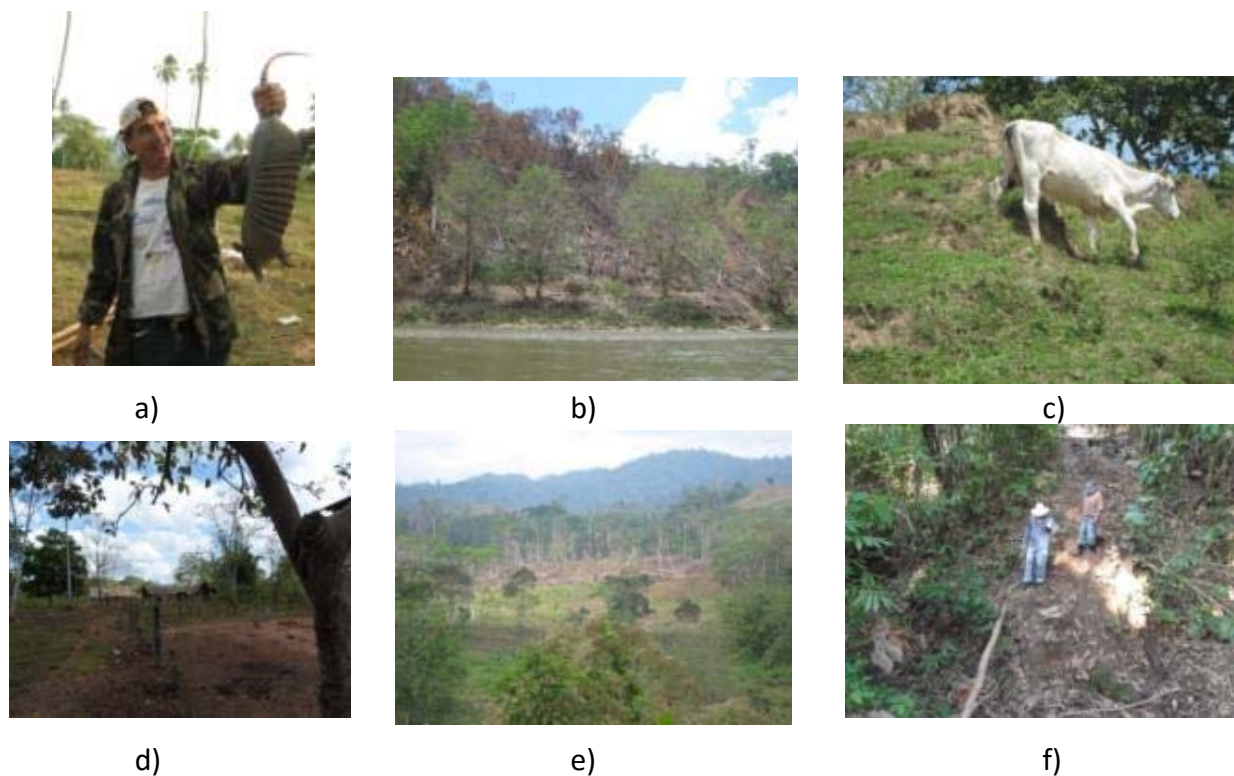


Figura 1. Ubicación de la zona núcleo de la RB Bosawás y área de estudio

El mapeamiento de la zona fue realizado a través de imágenes satelitales obtenidas por el LANDSAT 8 año 2015 path 16 row 50. Las imágenes fueron solicitadas en el sitio web de la National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Con el propósito de obtener datos de calidad, las imágenes fueron caracterizadas y calibradas radiométricamente, este proceso radica en convertir, por medio de ecuaciones y parámetros, los números digitales (ND) que componen las imágenes a unidades físicas de radiancia y reflectancia (Chandler et al, 2009). La configuración de la forma del perímetro del área de estudio obedeció al criterio de escoger una zona del núcleo de la RB, completamente libre de nubosidades o sombras generadas por estas, de esta manera se garantiza un análisis que maximiza la escala espacial de la zona de interés.

Una vez calibradas las imágenes se procedió a interpretar visualmente las formas y texturas del mosaico, sumándose a este proceso la incorporación de datos recabados en campo en donde se geo-referenciaron puntos en los cuales se observaron afectaciones medio ambientales (Figura 2).



**Figura 2.** Intervención antrópica en la zona núcleo de la RB Bosawás  
*Fuente: Autores*

En esta visita de campo, se constataron actividades de caza furtiva de especies amenazadas (a); eliminación de cobertura vegetal en las riveras del río Coco (b); introducción de ganado (c); asentamientos humanos en áreas protegidas (d); depredación de los bosques (e) y despales para realizar caminos de accesos a zonas de cultivos (f).

Con la información integrada se realizó un análisis espacial del área en estudio, para tal efecto se efectuó una clasificación no supervisada que consiste en la tarea de extraer clases de información de una imagen ráster multibanda. Estas clases definen el uso de suelo del paisaje, de esta manera fue posible obtener cinco (5) clases de usos de suelo, las cuales se expresan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación del uso de suelo

Clases	Clasificación (uso de suelo)
1	Cuerpos de agua (CA)
2	Parches de bosque concentrado (PBC)
3	Parches de bosque disperso (PBD)
4	Parches de arbustos o matorrales (PAM)
5	Parches sin cobertura vegetal (PSC)

**Tabla 2.** Descripción de las métricas empleadas

Métrica	Fórmula	Descripción	Rango
Número de parches (NP)	$NP = n_i$	Número de parches en el paisaje de una clase determinada	$NP \geq 1$ , sin límite
Tamaño medio (Área-MN)	$\text{Área} = a_{ij} \left( \frac{1}{10,000.00} \right)$	Área del parche (m <sup>2</sup> ), dividido entre 10,000.00 (para convertir a ha)	$\text{Área} > 0$ , sin límite
Forma (Shape)	$\text{Shape} = \frac{25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$	Shape = 1 cuando el parche es cuadrado e incrementa sin límites a medida que éste se hace más irregular	$\text{Shape} \geq 1$ , sin límite
Distancia Euclidiana-vecino más cercano (ENN-MN)	$ENN = h_{ij}$	ENN es la distancia más cercana (m) al parche vecino de la misma clase	$ENN > 0$ , sin límite
Densidad de parches (PD)	$PD = \frac{n_i}{A} (10,000.00)(100)$	Número de parches de la correspondiente clase dividido por el área total del paisaje (m <sup>2</sup> ) multiplicado por 10,000.00 y 100 (para convertir a ha)	$PD > 0$ , sin límite
Intermezclado y Yuxtaposición (IJI)	$IJI = \frac{-\sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m \left[ \frac{e_{ik}}{E} \right] * \ln \left[ \frac{e_{ik}}{E} \right]}{\ln \left( \frac{1}{2} \right) [m(m-1)]}$	IJI considera todos los tipos de parches presentes en la imagen. Los valores bajos indican adyacencia de pocos tipos de cobertura. Se incrementa a medida que aumenta la riqueza de coberturas adyacentes. Mide la distancia a la cual los parches se entremezclan. Valores bajos expresan que el paisaje está pobremente mezclado. Representa el grado de entremezclado observado y el porcentaje máximo que es posible obtener, de acuerdo a todos los tipos de parches.	$0 < IJI \leq 100$

Después de verificado el grado de precisión de la clasificación no supervisada realizada con respecto a la imagen satelital y los datos de campo colectados, el mapa de uso de suelo obtenido fue analizado con el software FRAGSTAT 4.2, con que se obtuvieron las métricas referentes a la composición del paisaje. Los parámetros utilizados en el FRAGSTAT fueron los siguientes: celdas de 15 m X 15m; imagen geoTIFF y faja de borde de 15m. La descripción de las métricas generadas se sintetiza en la Tabla 2.

### Resultados y discusión

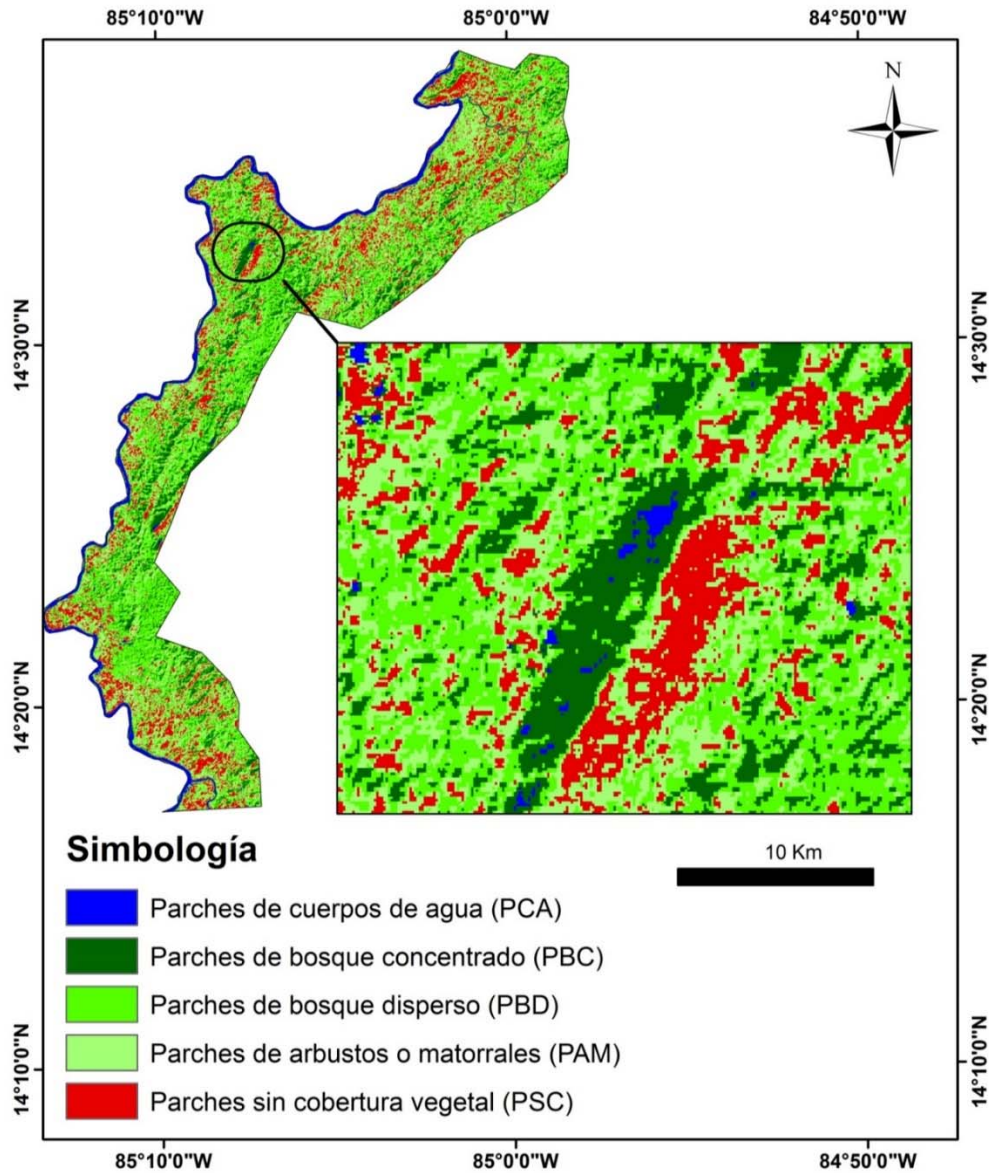
El área en estudio seleccionada presenta una extensión de aproximadamente 250 km<sup>2</sup> está compuesta por un total de 36,317 parches distribuidos en cinco clases. En la Tabla 3 se presenta la distribución de cada una de las clases, las áreas más representativas son los PAM (32.36%) y las zonas de PBD (31.48%); los cuerpos de agua (CA) representan el 4.28%.

**Tabla 3.** Distribución de las clases en el paisaje obtenidos

Clases	Clasificación (tipo de cobertura)	Área (km <sup>2</sup> )	Porcentaje
1	Cuerpos de Agua (CA)	10.67	4.28%
2	Parches de bosque concentrado (PBC)	37.40	14.99%
3	Parches de bosque disperso (PBD)	78.56	31.48%
4	Parches de arbustos o matorrales (PAM)	80.75	32.36%
5	Parches sin cobertura vegetal (PSC)	42.18	16.90%
TOTAL		249.56	100%

Evidentemente la reducción de los bosques (PBC) ha sido extensiva, apenas existe un remanente del 14.99%, por el contrario los PSC representan el 16.90% del área. Entre una de las causas de esta conversión es la práctica común en la zona de eliminar extensiones de bosque para agricultura migratoria y asentar pastizales para ganado.

La Figura 3 presenta una imagen del uso de suelo del área en análisis, así como un acercamiento de una zona representativa en la que puede observarse las cinco clasificaciones del uso de suelo. Al observar el patrón de las clases, es notorio el fraccionamiento de los bosques (PBC), los cuales se transforman a las clases PBD, PAM y PSC. Este proceso de conversión de la RB Bosawás puede tener consecuencias catastróficas, tales como la disminución en las precipitaciones debido al aumento de CO<sub>2</sub> derivados de la tala y quema de la cobertura vegetal (Betts,2004); por otro lado los árboles extraen la humedad de los suelos en el proceso de transpiración y capturan las precipitaciones a través de la cobertura foliar, reintegrando nuevamente agua hacia los suelos, la desaparición del bosque provoca un desbalance del flujo de agua entre el suelo, plantas y atmosfera (Betts,2008), provocando aumento en los procesos erosivos, así como la disminución de niveles en la lámina de agua o hasta la desaparición de humedales.



**Figura 3.** Cobertura vegetal de la zona en estudio

El análisis de la Tabla 4 indica que los PBC presentan en promedio las áreas menores, en cambio los PBD son mayores, lo que indica la transformación de bosques primarios a secundarios. La métrica shape indica áreas de configuración más cercana a cuadrados tanto para los PBC como para los PSC, resaltando el patrón de eliminación de bosques para actividades de cultivos y ganadería (generalmente de configuración cuadrangular).



**Tabla 4.** Área de los parches correspondientes a las coberturas de suelos

Clases	Clasificación (tipo de cobertura)	NP	Área-MN (ha)	Shape	ENN-MN	PD	IJI (%)
1	Cuerpos de Agua (CA)	621.00	1.72	1.13	158.47	2.49	65.47
2	Parches de bosque concentrado (PBC)	9720.00	0.38	1.24	49.31	38.95	47.07
3	Parches de bosque disperso (PBD)	9440.00	0.83	1.38	39.57	37.83	59.71
4	Arbustos o matorrales (AM)	8729.00	0.93	1.42	39.15	34.98	61.71
5	Parches sin cobertura vegetal (PSC)	7807.00	0.54	1.24	50.46	31.28	27.96

La métrica ENN-MN revela que las distancias entre parches de la misma clase se encuentran en el rango aproximado de entre 39 a 51 m, estas cortas distancias entre las clases PBC afectan el desplazamiento de la fauna remanente en las pocas áreas de bosque por el momento existente, lo que genera estrés en los procesos de alimentación y reproducción de las mismas.

En cuanto a la cantidad de parches por cada 100 ha, el mayor valor corresponde a los PBC, sin embargo las áreas de esta clase son las menores, lo que significa que existen mayor cantidad de parches de bosques con áreas bastantes reducida.

Finalmente, los valores de IJI son altos para los PBC; PBD y AM lo que indica que en el paisaje son las que se intermezclan de más frecuentemente, ya que esta métrica mide la adyacencia de parches. En cambio los PSC presentan un menor porcentaje de IJI, es decir que esta clase presenta una menor frecuencia de intermezclado.

### Conclusiones

La adopción de sensoramiento remoto en el planeamiento ambiental enfocadas en la identificación de áreas protegidas bajo intensa presión antrópica, ha sido un mecanismo eficiente en la evaluación espacial, con la posibilidad de una resolución a nivel de detalle, posibilitando trabajar grandes extensiones con precisión, lo que facilita el trabajo de cuantificación; monitoramiento y comprensión de la dinámica del cambio de uso de suelos, principalmente cuando son asociados mecanismos de análisis, tales como las métricas de paisaje, con las cuales es posible comprender estadísticamente dichos cambios

La zona núcleo de la RB Bosawás ha experimentado una fuerte presión en la cobertura y uso de suelo, especialmente por la demanda de áreas agrícolas y ganaderas, por lo que es necesario mejorar de manera urgente los programas gubernamentales destinados al manejo de la zona, siendo necesario, tomar medidas con las áreas abiertas so pena estas continúen aumentando.

## Referencias bibliográficas

- Allen, C.R., Johnson, A.R., Parris, L. (2006) A framework for spatial risk assessments: potential impacts of nonindigenous invasive species on native species, *Ecology and Society*, **11**(1), 39-52.
- Ayram, C.A.C., Mendoza, M.E., Granados, E.L. (2014) Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México, *Revista de geografía Norte Grande*, **59**, 7-23.
- Betts, R., Sanderson, M., Woodward, S. (2008). Effects of large-scale Amazon forest degradation on climate and air quality through fluxes of carbon dioxide, water, energy, mineral dust and isoprene. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, **363**(1498), 1873-1880.
- Betts, R.A., Cox, P.M., Collins, M., Harris, P.P., Huntingford, C., Jones, C.D. (2004). The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global climate warming. *Theoretical and applied climatology*, **78**(1-3), 157-175.
- Camacho-Sanabria, J.M., Juan-Pérez, J.I., Pineda-Jaimes, N.B (2015) Modeling of land use/cover changes: prospective scenarios in the Estado de Mexico. Case study – Amanalco de Becerra, *Revista Chapingo - Serie ciencias forestales y del ambiente*, **21**(2), 203-220.
- Chander, G., Markham, B. L., Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment*, **113**(5), 893-903.
- Coetzerl, K.L., Erasmusl, B.F.N., Witkowski, E.T.F., Bachoo, A.K. (2010) Land-cover change in the Kruger to Canyons Biosphere Reserve (1993-2006): a first step towards creating a conservation plan for the subregion, *South African Journal of Science*, **106**(7-8), 1-10.
- Fakarayi, T., Mashapa, C., Gandiwa E., Kativu, S. (2015), Pattern of land-use and land cover changes in Driefontein Grassland Important Bird Area, Zimbabwe, *Tropical Conservation Science*, **8**(1), 274-283.
- Franklin, J.F., Lindenmayer, D.B (2009), Importance of matrix habitats in maintaining biological diversity, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, **106**(2), 349-350.
- Groom, G., Mucher, C.A., Ihse, M., Wrbka, T. (2006) Remote sensing in landscape ecology: experiences and perspectives in a European context, *Landscape Ecology*, **21**, 391-408.
- Kaimowitz, D., Faune, A. Mendoza, R. (2003), Your biosphere is my backyard: the story of Bosawás in Nicaragua, *Center for International Forestry Research*, **25**, 1-6.
- Mata, G. D. L., Álvarez, A.P. Guerrero, J.H.M. (2014) Aplicación de sensores remotos en el análisis de la fragmentación del paisaje en Cuchillas de la Zarca, México, *Investigaciones geográficas*, **84**, 42-53.
- Orozco, M.C., Ceron, L.E., Martínez, J.P, Ospina R. (2015) Análisis de los patrones espaciales del paisaje en un corredor biológico del macizo colombiano Cauca, *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, **13**(1), 54-63.
- Pérez, A., Mas, J.F., Ligmann, A. (2012), Comparing two approaches to land/use cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest, *Environmental Modelling & Software*, **29**, 11-23.
- Rais, M., Kabeer, B., Anwar, M. Mehmood, T. (2010), Effect of habitat degradation on breeding water birds at Kallar Kahar Lake district Chakwal, *Journal of Animal and Plant Science*, **20**, 318-320.
- Roiz, R. (2000), Caracterización Zona de Bosawás. MARENA SICA/CCAD, PNUD/GEF, GTZ.
- Turner, M. G. (2005), Landscape ecology: what is the state of the science?, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **36**, 319-344.
- Williams-Guillén, K., Griffith, D., Polisar, J., Camilo, G., & Bauman, K. (2006). Abundancia de animales de caza y características de cacería en el territorio indígena de Kipla Sait Tasbaika, reserva de biósfera BOSAWÁS. *Wani*, **46**, 37-61.
- Wu, J. (2012) Key concepts and research topics in landscape ecology revisited: 30 years after the Allerton Park workshop, *Landscape Ecology*, **19**, 125-138.
- Wu, J.G. (2004) Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations, *Landscape Ecology*, **19**, 125-138.