

**Análisis de la fragmentación en el
Parque Nacional Cerro Azul Meámbar
(PANACAM)**

Mallury Elizabeth Coronado Zurita

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Octubre, 2014

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA EN AMBIENTE Y DESARROLLO

Análisis de la fragmentación en el Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM)

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Mallury Elizabeth Coronado Zurita

Zamorano, Honduras

Octubre, 2014

Análisis de la fragmentación en el Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM)

Presentado por:

Mallury Elizabeth Coronado Zurita

Aprobado:

Alexandra Manueles, M.Sc.
Asesora principal

Laura Suazo, Ph.D.
Directora
Departamento de
Ambiente y Desarrollo

Ramón Hernandez, Ing.
Asesor

Raúl H. Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Análisis de la fragmentación en el Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM)

Mallury Elizabeth Coronado Zurita

Resumen: Los recursos naturales se encuentran en una dinámica de cambios que obedecen principalmente a fenómenos naturales y antropogénicos. El Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM) es una de las áreas protegidas más importantes del país, por poseer una riqueza en flora, fauna, precipitación y topografía. El objetivo de este estudio es elaborar la cartografía de usos y coberturas de la tierra con el fin de aplicar indicadores de fragmentación del paisaje en el PANACAM para el año 2012. La clasificación de usos y coberturas se realizó mediante un análisis digital de imágenes satelitales “RapidEye” del año 2012, este análisis se desarrolló por medio de las herramientas inmersos en los programas ENVI® 4.5 y ArcGis® 9.3. Dicha cartografía de consta de nueve clases y consta de una Unidad Mínima Cartografiable (UMC) es de 225 m² y la escala es de 1:25,000. El análisis de fragmentación a nivel de parches, clases y paisaje se aplicó a seis clases de usos y coberturas mediante el programa FRAGSTAT®. Los resultados para las métricas de Área de Parche (ÁREA), Número de Parches (NP) y Densidad de Parches (DP) indican que la clase de matorrales posee 9,940 parches menores a 10 ha, la mayoría de estos están ubicados en la zona de amortiguamiento del parque. El Porcentaje de Paisaje (PLAND), Índice del Parche Mayor (LPI) y el Índice de Proximidad (PROX) indican que el bosque latifoliado representa el 32.14% del área total del parque.

Palabras claves: Imágenes satelitales, métricas, parches, usos y coberturas.

Abstract: Natural resources are undergoing dynamic changes which are due to natural and anthropogenic phenomena. The National Park Cerro Azul Meámbar (PANACAM) is one of the most important protected areas in the country this area is rich in flora, fauna, rainfall, and topography. The aim of this study is to develop land use and vegetative cover maps in order to apply indicators of landscape fragmentation in 2012 PANACAM. Classification uses and land cover. Digital image analysis was performed using Rapid Eye satellite data for the year 2012, this analysis was developed using the tools of the ENVI® 4.5 and ArcGIS® 9.3 software. Land use was organized into nine categories; a Mappable Unit Low (MUL) of 225 m² and a scale of 1: 25,000. Of the nine kinds of uses and cover, six were used for the analysis of landscape fragmentation, this was done using patch-level indicators of classes and immersed in the landscape FRAGSTAT® program. The results for metrics Patch Area (AREA), Number of Patches (NP) and Patch Density (PD) suggest that the kind of bushy landscape has 9,940 smaller patches (10 ha), most patches are located in the park's buffer. The Percent of Landscape (PLAND), Mayor Patch Index (LPI) and the Proximity Index (PROX) indicate that broadleaf forest represents 32.14% of the total park area.

Keywords: Land use and land cover, metrics, patches, satellital images.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
4 CONCLUSIONES.....	15
5 RECOMENDACIONES.....	16
6 LITERATURA CITADA.....	17
7 ANEXOS	19

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

	Cuadros	Página
1.	Distribución de los usos y coberturas de la tierra en función al área total del Parque Nacional Cerro Azul Meámbar, Honduras. 2014.....	9
2.	Distribución de los usos y coberturas de la tierra para cada municipio dentro del PANACAM, Honduras, 2014.....	10
3.	Número de Parches (NP) clasificados en diferentes rangos de Área del Parche en ha (ÁREA) para cada categoría de los usos y coberturas del PANACAM, Honduras, 2014.....	11
	Figuras	Página
1.	Ubicación del Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM), Honduras, 2014.....	3
2.	Descripción de los procesos digitales aplicados a las imágenes “RapidEye” correspondiente al PANACAM, Honduras. 2014.....	4
3.	Distribución espacial de los usos y coberturas de la tierra en el Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM), Honduras, 2014.. ..	8
4.	Número de Parches (NP) por categorías de usos y coberturas, PANACAM, Honduras, 2014.....	10
5.	Índice de Proximidad por usos y coberturas, PANACAM, Honduras, 2014.	11
6.	Número de Parches (NP) y Densidad del Parches (PD) por categorías de usos y coberturas, PANACAM, Honduras, 2014.	12
7.	Índice del Parche Mayor (LPI) por categorías de usos y coberturas, PANACAM, Honduras, 2014.....	12
8.	Índice de Dimensión Fractal por categorías de usos y coberturas, PANACAM, Honduras, 2014.....	13
9.	Índice de Porcentaje del Paisaje (PLAND) por categoría de usos y coberturas, PANACAM, Honduras, 2014.....	14

Anexos	Página
1. Gráfica de dispersión de la reflectividad entre la combinación de dos bandas (RE y NIR) para la selección de las regiones de interés (ROI's). Honduras, 2014	19
2. Valores de separabilidad entre las categorías de los usos y coberturas de la tierra para el PANACAM. Honduras, 2014.....	20
3. Matriz de confusión entre las categorías de los usos y coberturas de la tierra para el PANACAM, Honduras, 2014.	21
4. Valores de los errores y la precisión de la clasificación mediante el clasificador: Máxima Probabilidad para el PANACAM. Honduras, 2014.	21
5. Índices de fragmentación usados en el análisis y las correspondientes siglas y medidas. Honduras, 2014.	21
6. Tabla de resultados de las métricas de fragmentación del paisaje aplicadas en el PANACAM. Honduras, 2014.	22

1. INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales se encuentran en una constante dinámica de cambios que obedecen principalmente a fenómenos naturales y antropogénicos (Ramos *et al.* 2007). En Honduras los bosques se encuentran amenazados por la deforestación (Pineda *et al.* 2005). En el período de 1990-2000 se registró una tasa anual de deforestación de 1.1%, esta representó 58,970 hectáreas (FAO 2001). Adicionalmente la ampliación de la frontera agrícola es un problema social que el país arrastra desde décadas y se ha intensificado en la actualidad (Pineda *et al.* 2005).

El Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM) es una de las áreas protegidas más importantes del país, constituye un área de riqueza tanto en flora, fauna, clima, precipitación y topografía. Su importancia radica en que es una de las zonas de mayor producción de agua y cuenta con la presencia de bosque latifoliado. El PANACAM tiene gran una importancia socioeconómica debido a que alberga a más de 30,000 habitantes distribuidos en 63 comunidades de los municipios: Meámbar, Siguatepeque, Taulabé y Santa Cruz de Yojoa. En donde un 67% de la población residente en los municipios antes mencionados se dedica al desarrollo de las actividades agrícolas (CLIMIFORAD 2013). En términos hidrológicos, las principales fuentes de agua las constituyen el Río Varsovia que drena sus aguas al Lago de Yojoa, el Río Yure y el Río Maragua que desembocan en la represa Francisco Morazán (House 2002 e ICF 2012).

Las principales amenazas y problemas que enfrenta el PANACAM se atribuyen a la deforestación proveniente de la tala, roza y quema de cultivos y bosques, al avance de la frontera agrícola, a la caza, a la colecta y al tráfico de especies, a la alteración por turismo, a los asentamientos humanos no planificados y a los incendios forestales. En términos generales la falta de un manejo racional de los recursos naturales contribuye pérdida de biodiversidad, contaminación de agua, erosión del suelo y consecuentemente a la baja productividad agrícola (ICF 2012, Portillo *et al.* 2013 y CLIMIFORAD 2013).

El Plan de Conservación del PANACAM realizado por el Instituto de Conservación Forestal (ICF), Proyecto Aldea Global (PAG) y USAID PROPARQUE en el año 2013 y el Plan de Manejo de PANACAM elaborado por el ICF, PAG y el Departamento de Áreas Protegidas (DAP) para el periodo 2012-2016, coinciden con la existencia de factores que crean impactos en los recursos naturales, los cuales se dan especialmente en la zona de amortiguamiento (ICF 2012 y Portillo *et al.* 2013).

Con el fin de monitorear el estado del PANACAM se elaboró la cartografía de usos y coberturas de la tierra y se aplicaron los indicadores de fragmentación del paisaje para el año 2012. Estos indicadores permitieron describir la fragmentación a nivel de parches, clases y paisaje.

Los resultados del presente trabajo están dirigidos a las entidades co-manejadoras del PANACAM entre ellas está el ICF, PAG y las municipalidades presentes en el parque. Adicionalmente, se espera que los resultados contribuyan a la construcción de una línea base que facilite la toma de decisiones y a futuras investigaciones enfocadas a estudios multitemporales del parque y de las microcuencas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM), ubicado en la región central de Honduras entre los municipios de Meámbar, Siguatepeque, Taulabé del departamento de Comayagua y Santa Cruz de Yojoa del departamento de Cortés. Comprende un área total de 31,339.25, de estas el 70.77% (22,181.34 ha) corresponde a la zona de amortiguamiento y el 29.22% (9,157.91 ha) a la zona núcleo. Se ubica entre los 400 y 2,090 msnm, registra precipitaciones de 1600 a 2000 mm/año y temperaturas de 21 a 25°C en las elevaciones menores a 1,000 msnm y de 8 a 12°C en las zonas con mayor elevación (ICF 2012 y Portillo *et al.* 2013) (Figura 1).

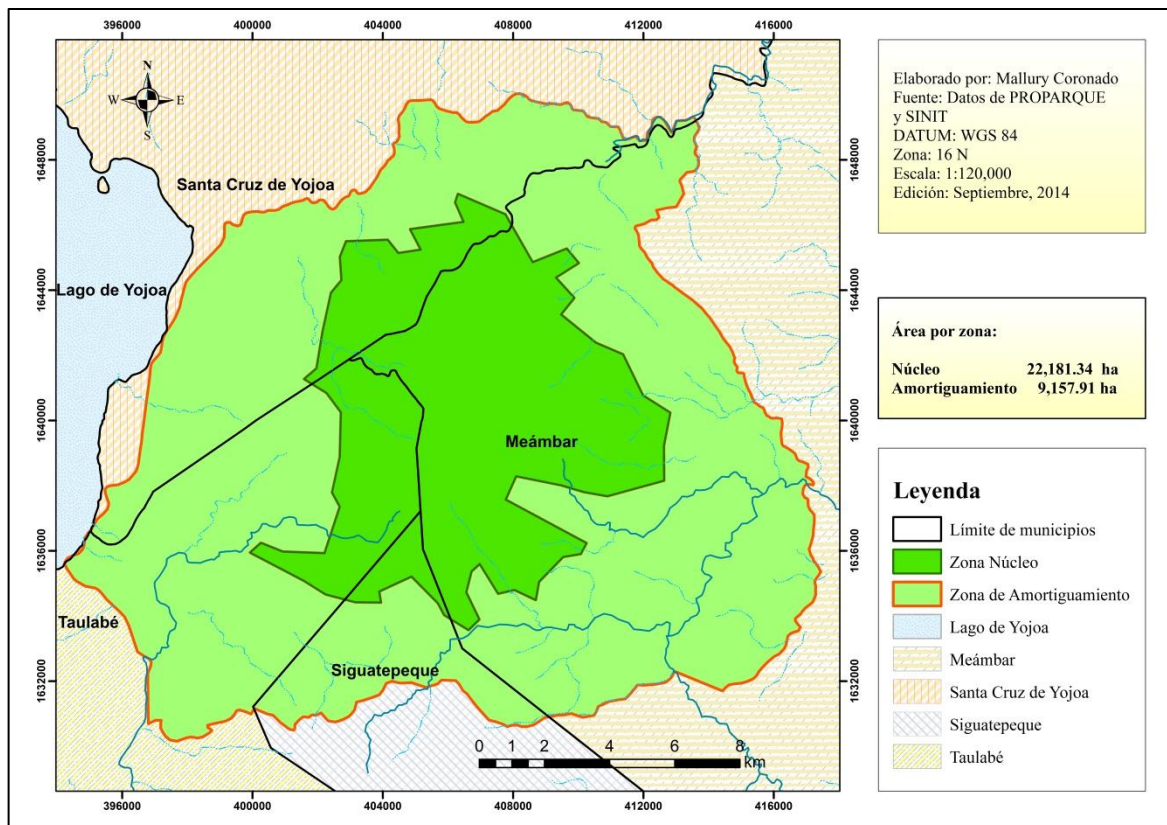


Figura 1. Ubicación del Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM), Honduras, 2014.

El PANACAM cuenta con una diversidad de beneficios ecológicos, culturales, turísticos y económicos. En términos geomorfológicos, el parque se encuentra en una zona muy irregular, ondulada y escarpada. Los tipos de suelos presentes en el parque son los litosoles, andosoles, podzólicos amarillo-rojizos y los redniza. Los principales usos de la tierra son agropecuarios y la predominante cobertura boscosa corresponde a la vegetación latifoliada, esta ocupa el 33.25% del parque (ICF 2012).

Con el fin de clasificar los usos y coberturas de la tierra se realizó el tratamiento de las seis imágenes satelitales “RapidEye” en las fases de preprocesamiento, procesamiento y posprocesamiento, estas se llevaron a cabo mediante las herramientas inmersas en los programas ENVI® 4.5 y Arcgis® 9.3 (Figura 2). Las imágenes fueron proporcionadas por el Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) al proyecto PROPARQUE. Las imágenes tienen una resolución espacial de 5 m y cuentan con cinco bandas espectrales, las primeras corresponden al espectro visible (“Blue” de 440 a 510 nm, “Green” de 520 a 590 nm y la “Red” 630 a 686 nm), la cuarta al “Red Edge” (690 a 730 nm) y quinta al “Near Infrared” (760 a 850 nm). La banda “Red Edge” es capaz de proporcionar información sobre el estado y las características de las coberturas vegetales (Weichelt *et al.* s.f.).

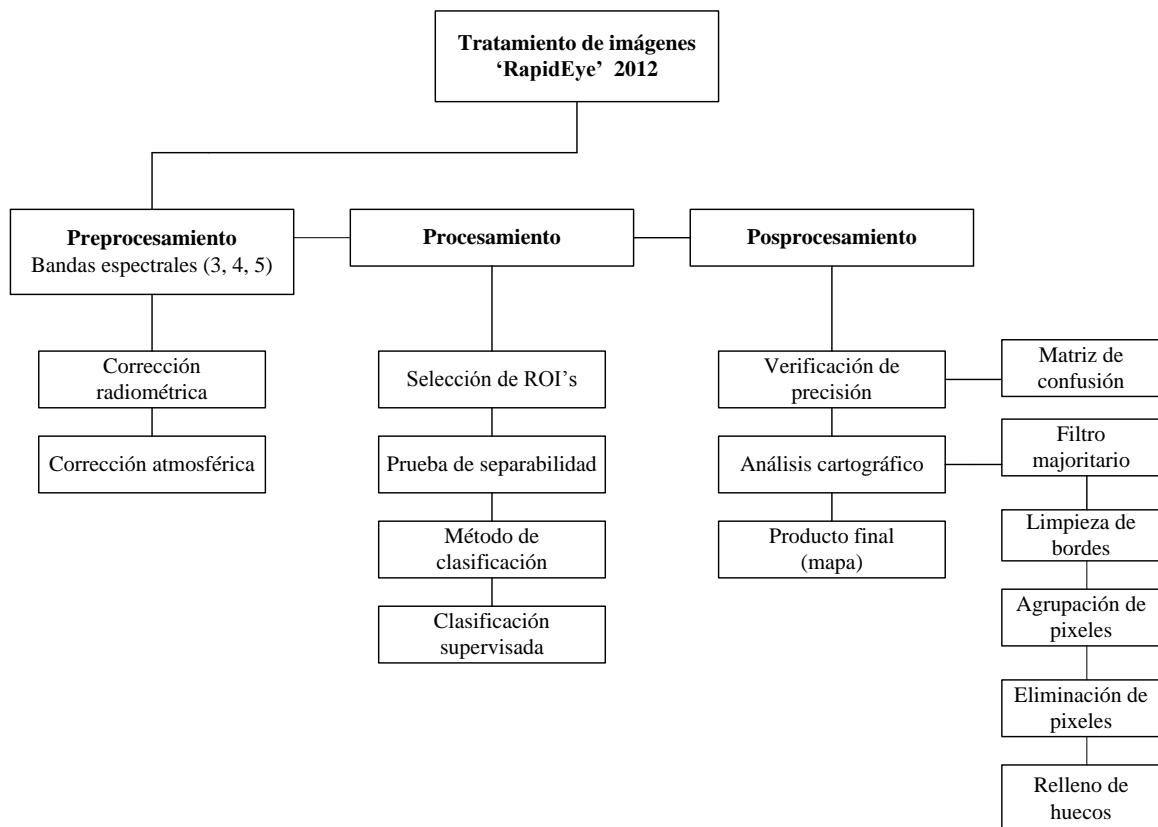


Figura 2. Descripción de los procesos digitales aplicados a las imágenes “RapidEye” correspondiente al PANACAM, Honduras. 2014

Preprocesamiento. Dentro de esta fase se aplicaron las correcciones radiométricas y atmosféricas a las imágenes. Mediante el método del objeto oscuro se corrigieron los efectos de la atmósfera, adicionalmente se asignaron los valores relacionados a la posición del sol y los valores de reflectividad por banda (Brizuela *et al.* 2007). Con la calibración radiométrica se eliminan los efectos de iluminación causados por la orientación y la pendiente del relieve (Salvador, *et al.* 1996). Con la calibración atmosférica se eliminaron los efectos de turbidez o falta de transparencia en la atmósfera que fueron captados en condiciones meteorológicas no favorables al momento de captar la imagen (García, L. *et al.* 2001).

Procesamiento. En esta fase se identificaron y crearon las regiones de interés (ROI's, por sus siglas en inglés) para los usos y coberturas de bosque latifoliado, bosque de pino, café, asentamientos humanos, matorrales, agricultura, pastizales, suelo desnudo y cuerpos de agua. Los "ROI's" se distribuyeron de manera aleatoria en toda la imagen a clasificar y es importante mencionar que a mayor heterogeneidad de los pixeles menor mezcla de las clases similares (Chivieco 2008). La ubicación de los pixeles correspondientes a cada uso y cobertura se determinó mediante la gráfica de dispersión formada por las bandas "Red Edge" (eje X) y "Near Infra Red" (eje Y). En la clasificación supervisada, la identificación y creación de los "ROI's" se debe realizar con el fin de entrenar el programa informático a usar en la clasificación de la imagen y así asegurar los mejores resultados.

En esta misma fase, con el fin de adquirir una mejor conjugación entre todas las clases se aplicó la prueba de separabilidad de Jeffrey Matusita a todos los "ROI's" previamente establecidos. En esta prueba los valores van desde cero a dos, los valores superiores a 1.75 indican una mayor separabilidad entre clases y los menores a 1.75 indican que los "ROI's" se deben redefinir por el experto (Giannetti y Grignetti 2009). En este caso las imágenes fueron clasificadas con una separabilidad mayor a 1.9. Después de aplicar la prueba antes mencionada, se clasificaron las imágenes con el método de máxima probabilidad, este estima que los niveles digitales ubicados en el centro de cada clase se ajusten a una distribución normal, esta clasificación es la más empleada por la robustez de los datos (Chuvieco 2008).

Posprocesamiento. Luego de haber clasificado las seis imágenes es necesario realizar la verificación del éxito o el fracaso de la clasificación, lo cual se hace por medio de un análisis de la precisión (Salvador, *et al.* 1996). El análisis se llevó a cabo mediante la conocida matriz de confusión, esta examina la exactitud global e individual de las clases de usos y coberturas clasificadas versus las regiones de interés o "ROI's" seleccionados por el experto. En la matriz se identificaron los errores de comisión (relacionados con la precisión de la clasificación) y los de omisión (relacionado a la precisión del productor) presentes en la clasificación. Adicionalmente, la matriz proporcionó la información relacionada a la exactitud del productor (porcentaje de aciertos que se han producido en la clasificación) y del usuario (porcentaje de casos que según la clasificación pertenecen a la clase) para la clasificación de las imágenes (Quirós 2009).

Finalmente, en esta misma fase se realizó el análisis cartográfico de la clasificación de usos y coberturas mediante las herramientas del programa ArcGis® 9.3. Este análisis de

llevo a cabo con el fin de producir la cartografía a una escala de 1:25,000 y las herramientas usadas son las siguientes:

Majority Filter: Este filtro reemplaza las celdas o píxeles de la malla ráster basándose en la mayoría de los vecinos contiguos, usando una ventana de 3×3 para reemplazar la celda a corregir.

Boundary Clean: Este proceso suaviza los bordes entre las zonas por una expansión y reducción de los bordes. Para este caso se utilizó una limpieza de bordes de tipo descendiente, esto implica que las zonas de mayor tamaño tienen prioridad para expandirse sobre las áreas más pequeñas.

Region Group: Esta herramienta agrupa los píxeles por conectividad y por el mismo valor de uso en diferentes regiones. En esta fase se consideró la Unidad Mínima Cartografiable (UMC) de 225 m^2 , esta que fue dada por la resolución de 5 m y la escala de 1:25,000.

Set Null: Este condicional clasificó como “NoData” a los grupos de píxeles menores a la UMC, es decir a 225 m^2 .

Nibble: Los valores “NoData” de la condicional anterior se reemplazaron con los valores de las clases vecinas predominantes.

Para conocer el estado del paisaje en el área de estudio se aplicaron siete índices de fragmentación, los cuales fueron calculados a nivel de clases, parches y paisaje. Estos indicadores permiten identificar las unidades homogéneas o parches formados por áreas naturales o intervenidas por el hombre (Monedero y Gutiérrez 2001). En los paisajes, el elemento base para la interpretación es el mosaico, en este se encuentran los fragmentos como unidades que se pueden diferenciar y analizar (Valdés 2011). La fragmentación se define como la amenaza a la biodiversidad biológica donde la conexión entre los hábitats se reduce (Turner 1990).

Las métricas o indicadores de fragmentación evaluadas dentro del estudio fueron: Área de Parches (ÁREA), Número de Parches (NP), Densidad de Parches (DP), Índice de Dimensión Fractal (FRAC), Porcentaje del Paisaje (PLAND) Índice de Proximidad (PROX) e Índice de Parche Mayor (LPI). Las métricas aplicadas se obtuvieron por medio del programa FRAGSTATS® (“Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps”) el mismo que fué desarrollado por Kevin McGarigal y Bárbara Marks de la Universidad Estatal de Oregón y lanzado al público en 1995.

Área de Parches (ÁREA). Indica el tamaño del parche en hectáreas y se interpreta que a menor área mayor efecto de los factores externos (McGarigal y Marks 1994).

Número de Parches (NP). Este índice estima el número de poblaciones pequeñas y su heterogeneidad en una población parcialmente dispersa en un área. Los valores del NP definen la cantidad de los parches (McGarigal y Marks 1994).

Índice de Dimensión Fractal (FRAC). Indica la forma de un parche (McGarigal y Marks 1994). Además, toma rangos entre uno y dos, valores cercanos a uno demuestran formas geométricas sencillas y los valores próximos a dos indican que las figuras se vuelven más complejas (Correa y Mas 2000).

Índice de Proximidad (PROX). Esta métrica toma en cuenta el alojamiento y el tamaño de los parches en base a la superficie y a la distancia al parche vecino (Correa y Mas 2000).

Densidad de Parches (PD). Muestra el número de parches por área (100 ha) y permite determinar comparaciones de mosaicos en diferentes tamaños y niveles de fragmentación (McGarigal y Marks 1994).

Índice de Parche Mayor (LPI). Indica el porcentaje que cubre un parche grande en toda el área de estudio. Este indicador es muy importante para realizar comparaciones de la evolución de los parches mayores en el paisaje en diferentes años (McGarigal y Marks 1994).

Porcentaje del Paisaje (PLAND). Hace énfasis al porcentaje del paisaje ocupado por una determinada clase, además esta métrica cuantifica la abundancia proporcional de cada tipo de parche (McGarigal y Marks 1994).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el PANACAM la cobertura de mayor área es el bosque latifoliado con una extensión de 10,421.44 ha, las cuales están distribuidas principalmente en la zona núcleo. Después de la clase predominante, se ubican los matorrales, el bosque de pino y el cultivo de café, estas clases se encuentran dispersas en su mayoría en la zona de amortiguamiento. Por otro lado, es notable que los usos y coberturas de la tierra de mayor dinámica como la agricultura, pastizales, cafetales y suelo desnudos se localizan principalmente en la zona de amortiguamiento, siendo esta área la de mayor actividad socioeconómica (Figura 3).

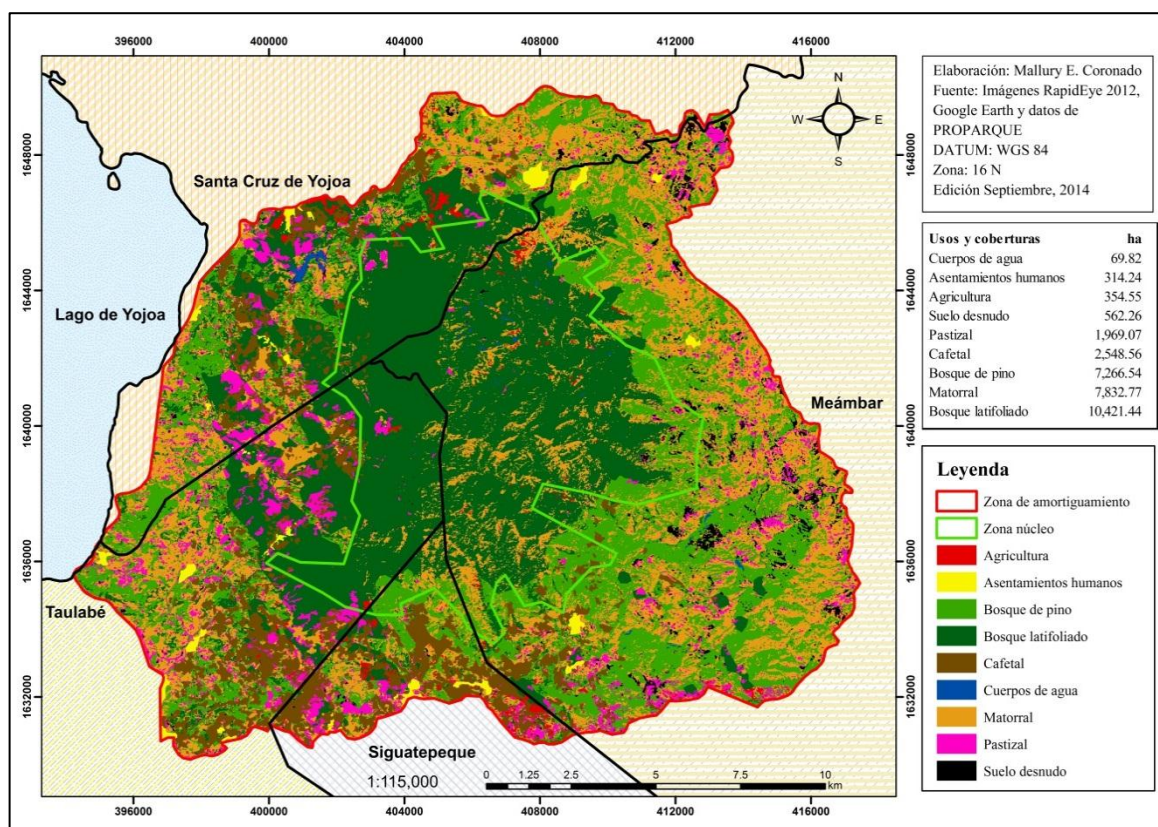


Figura 3. Distribución espacial de los usos y coberturas de la tierra en el Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM), Honduras, 2014.

Dentro del parque la cobertura boscosa representa el mayor porcentaje (56.44%) del área total, de éste el bosque latifoliado y el bosque de coníferas representan el 33.25% y el 23.19% respectivamente. Por otro lado, el matorral cubre el 24.99%, seguido se encuentra el cafetal con un 8% y el área restante corresponde a los usos de menor área (Cuadro 1).

Los cafetales corresponden a una de las principales coberturas agrícolas del parque, el desarrollo de este cultivo se da en parque debido a que la altura sobre el nivel del mar favorece a la calidad tanto en el sabor y en la producción del grano de café (FHIA 2004). Adicionalmente, es importante recalcar que los principales asentamientos humanos se ubican en las áreas con bajas pendientes y con mayor accesibilidad vial.

Cuadro 1. Distribución de los usos y coberturas de la tierra en función al área total del Parque Nacional Cerro Azul Meámbar, Honduras. 2014.

Usos y coberturas	Área (ha)	Porcentaje (%)
Agricultura	354.55	1.13
Asentamientos humanos	314.24	1.00
Bosque de pino	7,266.54	23.19
Bosque latifoliado	10,421.44	33.25
Cafetal	2,548.56	8.13
Cuerpos de agua	69.82	0.22
Matorral	7,832.77	24.99
Pastizal	1,969.07	6.28
Suelo desnudo	562.26	1.79
Total	31,339.26	100.00

De los cuatro municipios presentes en el parque, Meámbar abarca la mayor extensión con 15,481.26 ha, Santa Cruz de Yojoa con 6,960.07 ha, Taulabé con 6,716.81 ha y Siguatepeque con 2,181.10 ha. Entre las categorías de interés económico se encuentra el café, presentado la mayor predominancia en el municipio de Taulabé (908.07 ha) y la menor representación en Meámbar (340.80 ha). Por otro lado, se encuentran las zonas agrícolas con mayor extensión en los municipios de Santa Cruz de Yojoa y Meámbar, en este municipio también predominan las áreas de pastizales (Cuadro 2).

En el mapa oficial de usos y coberturas de la tierra de Honduras publicado el 18 de septiembre del 2014, se estimaron 719.55 ha de café para el área del PANACAM, mientras que en este proyecto se calcularon 2,548.57 ha. La diferencia antes mencionada, se puede atribuir a la metodología, escala y a la precisión global del mapa de Honduras, considerando que dentro del mapa se encuentran áreas subestimadas de los diferentes usos y coberturas. En este sentido cabe mencionar que el presente trabajo se realizó a una escala local y cuenta con una precisión global de 99%. Por otro lado, los cafetales fueron identificados por medio de fotointerpretación visual de imágenes y verificación de campo.

Cuadro 2. Distribución de los usos y coberturas de la tierra para cada municipio dentro del PANACAM, Honduras, 2014.

Usos y coberturas	Santa Cruz de Yojoa	Siguatepeque	Taulabé	Meámbar
	Área en ha			
Agricultura	134.74	74.26	37.27	108.29
Asentamiento humano	109.66	43.86	90.43	70.29
Bosque de pino	1,333.10	451.27	886.23	4,595.93
Bosque latifoliado	2,576.91	275.78	2,942.42	4,626.33
Cafetal	595.81	703.89	908.07	340.80
Cuerpos de agua	34.32	0.13	0.32	35.05
Matorral	1,633.37	422.85	1,211.53	4,565.02
Pastizal	482.31	197.30	621.67	667.79
Suelo desnudo	59.86	11.76	18.88	471.76
Área total en ha	6,960.07	2,181.10	6,716.82	15,481.26

La métrica de NP indica que el parque tiene 30,115 parches de las diferentes clases de usos y coberturas analizadas por medio del programa FRAGSTATS®, del total de parches 10,013 corresponden a los matorrales y 7,533 al bosque de pino. La métrica de NP advierte que un área con mayor número de parches se considera más fragmentada (McGarigal y Marks 1994) y este es el caso del PANACAM (Figura 4).

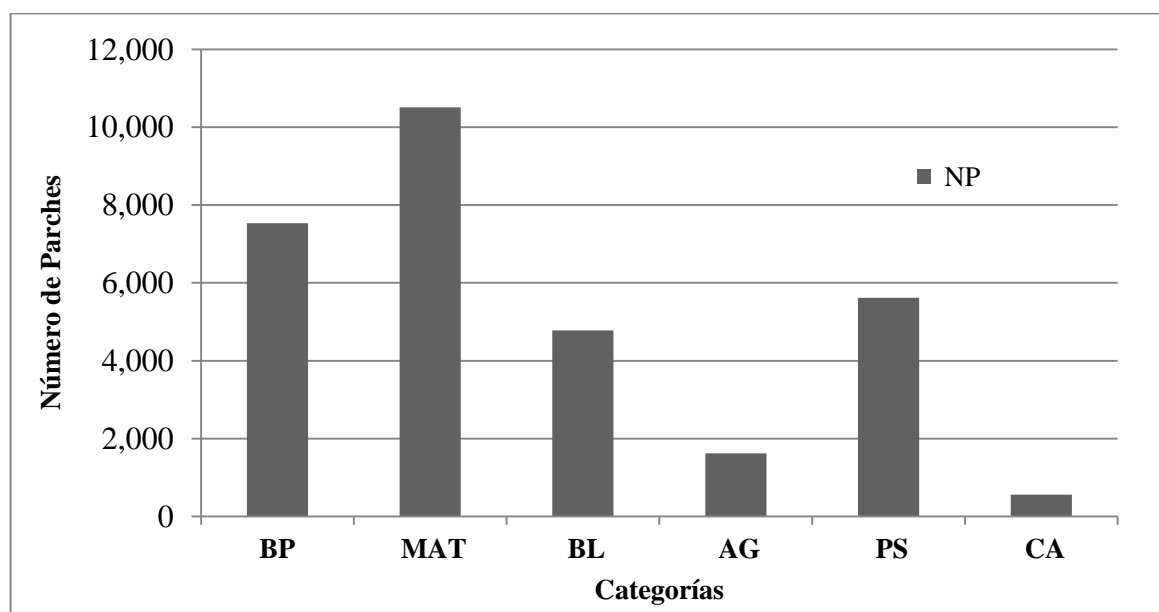


Figura 4. Número de Parches (NP) por categorías de los usos y coberturas, PANACAM, Honduras, 2014.

BP= Bosque de pino; BL= Bosque latifoliado; AG= Agricultura; MAT= Matorral; PS= Pastizal; CA= Cafetal

Con el fin de identificar el tamaño de los parches se relacionó la métrica de NP con **ÁREA**, como resultado de esta relación se obtuvo que la categoría que presenta la mayor cantidad de parches menores a 10 ha es el matorral, representada con 9,940 parches, esta cantidad se puede atribuir a que los matorrales se ubican principalmente en la zona de amortiguamiento y de mayor actividad agropecuaria. Para la misma categoría se estiman 66 parches entre 10 y 100 ha. En las coberturas boscosas se encuentra 7,473 parches de bosque de pino y 4,749 parches de bosque latifoliado menores a 10 ha. La diferencia anterior, se atribuye a que el bosque latifoliado se encuentra principalmente en la zona núcleo y el bosque de coníferas en la zona de amortiguamiento del parque (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número de Parches (NP) clasificados en diferentes rangos de Área del Parche en ha (**ÁREA**) para cada categoría de los usos y coberturas del PANACAM, Honduras, 2014.

Rangos de áreas en ha	Número de Parches (NP) por categorías					
	BP	BL	AG	MAT	PS	CA
< 10	7,473	4,749	1,617	9,940	5,591	511
10-100	48	27	5	66	22	41
100-500	10	1	0	6	0	4
>500	2	1	0	1	0	0

BP= Bosque de pino; BL= Bosque latifoliado; AG= Agricultura; MAT= Matorral; PS= Pastizal; CA= Cafetal

El Índice de Proximidad (PROX), indica que los parches de mayor proximidad en un radio de 100 metros corresponden al bosque latifoliado (Figura 5), en el mapa de usos y coberturas presentado en la Figura 3 se observa que este bosque se concentra en la zona núcleo. La proximidad de los parches de una misma cobertura presenta beneficios para la conectividad biológica. Por otro lado los efectos negativos de una baja proximidad están en función de las habilidades de dispersión de las especies y la naturaleza del paisaje (McGarigal y Marks 1994).

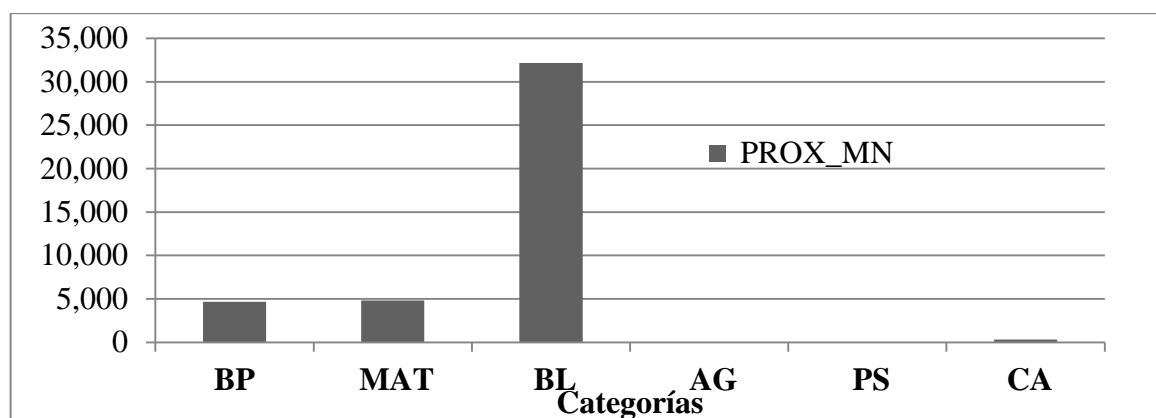


Figura 5. Índice de Proximidad por usos y coberturas, PANACAM, Honduras, 2014. BP= Bosque de pino; BL= Bosque latifoliado; AG= Agricultura; MAT= Matorral; PS= Pastizal; CA= Cafetal

En la relación de las métricas de NP y de PD se puede apreciar que el matorral es el que tiene el mayor número y la mayor densidad parches. (Figura 6). La densidad de parches es otro indicador de altos niveles de fragmentación (McGarigal y Marks 1994) y esto se afirma nuevamente para la zona de amortiguamiento del PANACAM.

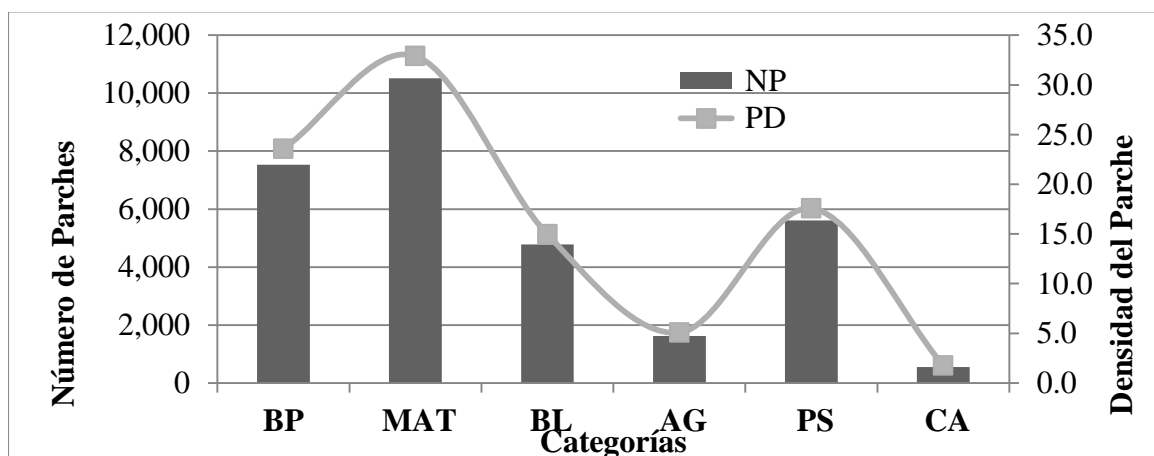


Figura 6. Número de Parches (NP) y Densidad del Parche (PD) por categorías de usos y coberturas, PANACAM, Honduras, 2014.

BP= Bosque de pino; BL= Bosque latifoliado; AG= Agricultura; MAT= Matorral; PS= Pastizal; CA= Cafetal

El Índice del Parche Mayor (LPI) estima que el 26% del área total del paisaje se encuentra dominado por el bosque latifoliado (Figura 7). El parche mayor del paisaje se localiza principalmente en la zona núcleo y es en esta zona donde existe menos intervención humana. Con el fin de monitorear el estado del parche mayor se recomienda utilizar el indicador LPI y compararlo en diferentes periodos.

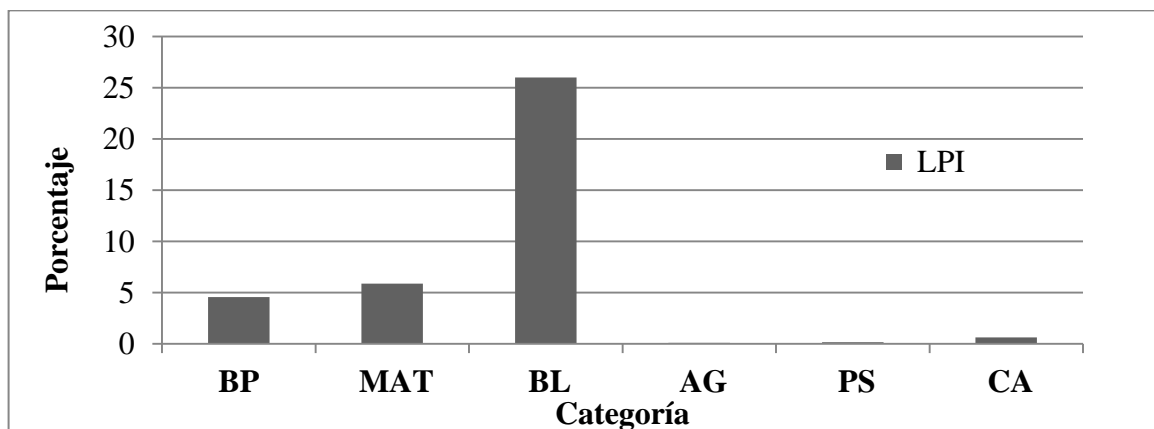


Figura 7. Índice del Parche Mayor (LPI) por categorías de usos y coberturas, PANACAM, Honduras, 2014.

BP= Bosque de pino; BL= Bosque latifoliado; AG= Agricultura; MAT= Matorral; PS= Pastizal; CA= Cafetal

Mediante el Índice de Dimensión Fractal (FRAC) se identificó que los cafetales, los matorrales y el bosque de pino presentan valores cercanos a uno (Figura 8), es decir que las formas de los parches son regulares y sencillas, este efecto se da principalmente en áreas más fragmentadas (McGarigal y Marks 1994). Esta regularidad de los parches es originada por las actividades humanas, en este caso los usos y coberturas antes mencionadas se localizan principalmente en la zona de amortiguamiento. Las principales presiones humanas que enfrenta en PANACAM son la deforestación, incendios forestales, el avance de la frontera agrícola y la caficultura (ICF 2012).

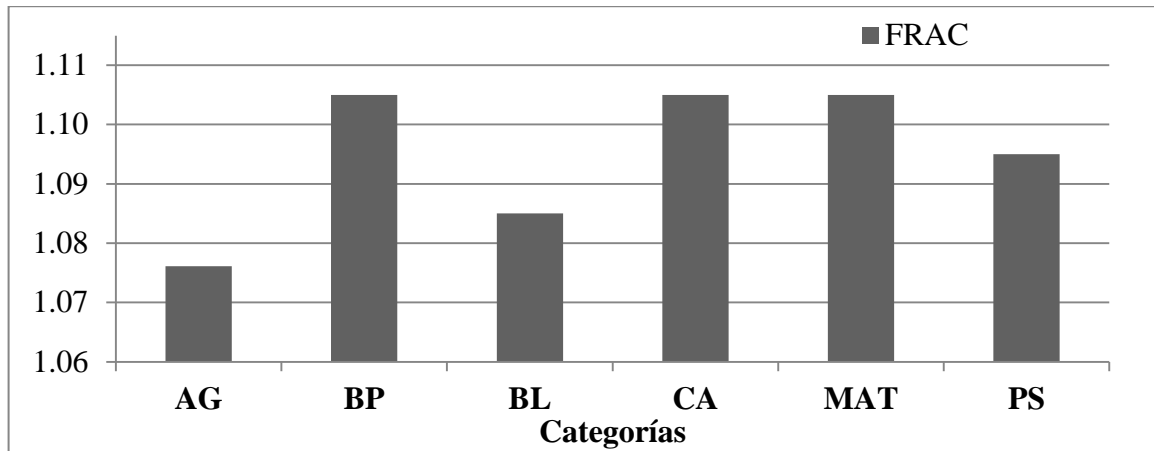


Figura 8. Índice de Dimensión Fractal por categorías de usos y coberturas, PANACAM, Honduras, 2014.

BP= Bosque de pino; BL= Bosque latifoliado; AG= Agricultura; MAT= Matorral; PS= Pastizal; CA= Cafetal

El Índice de Porcentaje del Paisaje (PLAND) estimada que el PANACAM está ocupado por el bosque latifoliado con un 33%, por matorrales con un 27%, por bosque de pino con un 24%, por cafetales con un 9% y el 7% restante se distribuye entre los pastizales y la agricultura (Figura 9). Este indicador más el Índice de Parche Mayor coinciden en que el bosque latifoliado es el que predomina el paisaje y es que menos intervención humana presenta.

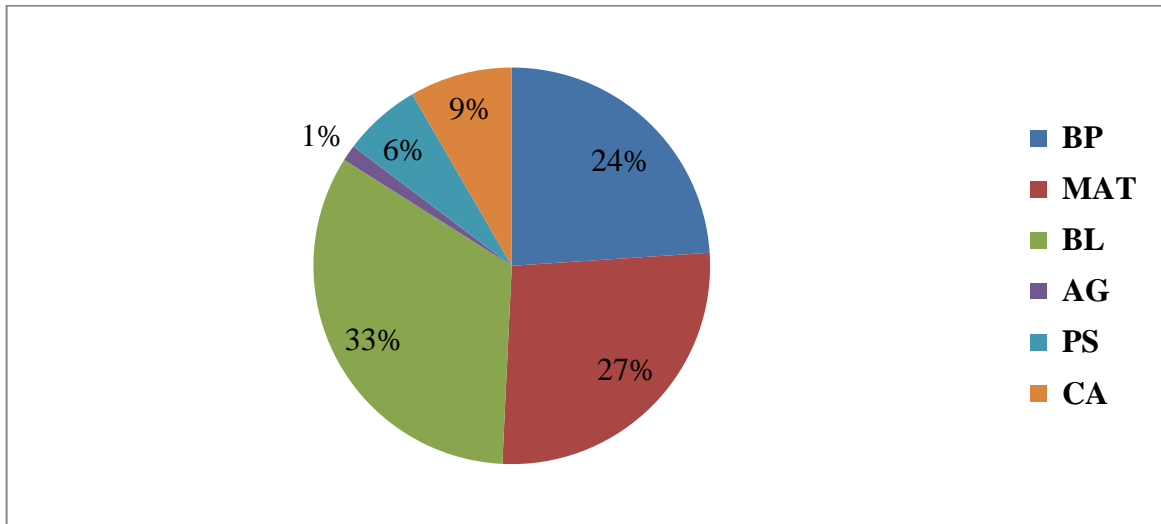


Figura 9. Índice de Porcentaje del Paisaje (PLAND) por categoría de usos y coberturas, PANACAM, Honduras, 2014.

BP= Bosque de pino; BL= Bosque latifoliado; AG= Agricultura; MAT= Matorral; PS= Pastizal; CA= Cafetal.

4. CONCLUSIONES

- El 55% del territorio del PANACAM se encuentra cubierto por bosque latifoliado y de coníferas, el primero se ubica principalmente en la zona núcleo y el segundo en el municipio de Meambar. Por otro lado, el 45% del área del parque esta utilizado por cafetales, agricultura, matorrales, pastizales y otros usos de menor extensión.
- El Porcentaje de Paisaje (PLAND) y el Índice del Parche Mayor (LPI) indican que el bosque latifoliado es la clase predominante en el PANACAM, esta categoría se encuentra distribuida en un 74.28% en la zona núcleo y en un 16.32% en la zona de amortiguamiento. Es importante rescatar que el bosque latifoliado se ubica en las zonas de recarga hídrica de las microcuencas del parque.
- Los indicadores del Área de Parche (ÁREA), Número de Parches (NP) y Densidad de Parches (DP) indican que la categoría de matorrales presenta la mayor fragmentación en el PANACAM. Los matorrales se ubican principalmente en la zona de amortiguamiento y es aquí donde existe la mayor actividad agrícola y pecuaria.
- La zona núcleo del PANACAM se encuentra poco intervenida por las actividades humanas, esto se afirma en la distribución porcentual de las categorías agrícolas y pecuarias siguientes: agricultura (0.71%), cafetales (0.76%), pastizales (0.99%) y matorrales (13.12%). La categoría de los matorrales presentes en esta zona corresponde a las áreas afectadas por derrumbes y que actualmente se encuentran en proceso de regeneración.
- Las imágenes satelitales “RapidEye” y el procesamiento digital no permitieron la clasificación de la categoría de cafetales, esto responde a la baja separabilidad entre los cafetales con sombra y áreas boscosas. Con el fin de resolver lo anterior, los especialistas en SIG de PROPARQUE realizarán la fotointerpretación de imágenes satelitales de mayor resolución y comprobación en campo.
- De acuerdo al Índice de Porcentaje del Paisaje, los cafetales ocupan el 9% del paisaje, mientras que la agricultura y los pastizales el 7%. De acuerdo a la cartografía de usos y coberturas y a las visitas de campo es notable que la expansión de la caficultura se está dando cerca de la zona núcleo y menos del 1% (69.86 ha) de los cafetales están dentro de esta misma zona.

5. RECOMENDACIONES

- La clasificación de usos y coberturas de la tierra y el análisis de fragmentación del paisaje proveen información relevante para establecer la línea base del parque y así planificar las actividades de manejo y conservación de los recursos naturales existentes en el PANACAM.
- Es importante mencionar que la cartografía de usos y coberturas de la tierra del PANACAM se obtuvo mediante imágenes de alta resolución y por medio de un proceso de clasificación automatizado, por lo tanto es recomendable realizar estudios multitemporales utilizando imágenes de la misma resolución y metodología de clasificación con el fin de monitorear las pérdidas y las ganancias en períodos de cinco años.
- Las métricas de fragmentación son métodos cuantitativos que permiten comparar diferentes paisajes, identificar cambios significativos ocurridos a través del tiempo y poder relacionar patrones del paisaje. Por lo anterior, se recomienda realizar un análisis de fragmentación en el PANACAM en cinco años más tarde.
- A pesar de que menos del 3% de la zona núcleo presenta intervenciones por usos agrícolas, café y pastizales, se recomienda a los comanejadores del PANACAM monitorear de forma periódica el desarrollo de estas actividades.

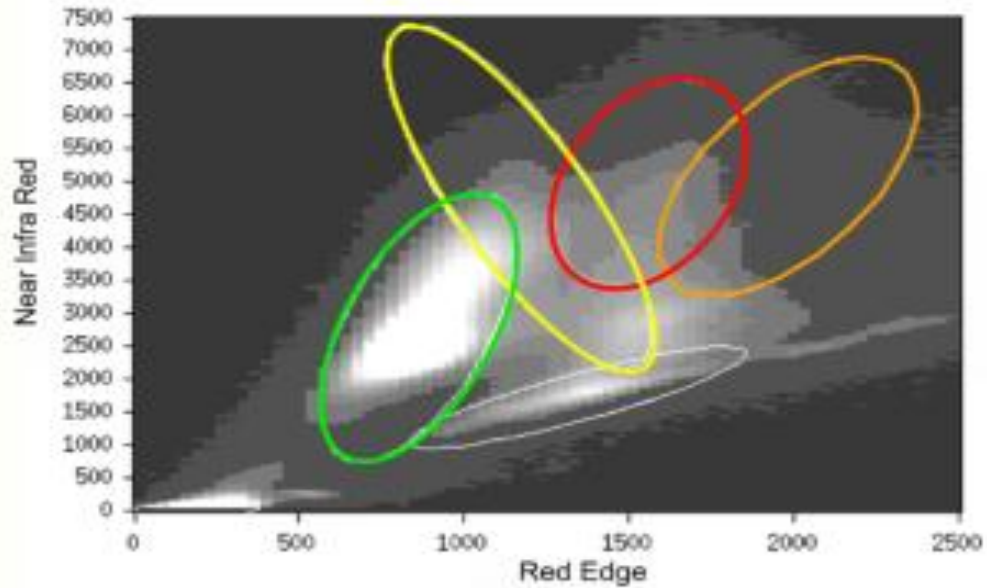
6. LITERATURA CITADA

- Brizuela, A.B., Aguirre, C.A. y Velasco, I. 2007. Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Lansat 5 para análisis multitemporal. Buenos Aires. Teledetección. 207-214 p.
- Chuvieco, S.E. 2008. Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Tercera edición. Barcelona, España. Editorial Ariel 254-259, 348-356, 389-391 p.
- CLIMIFORAD (Impactos Potenciales del Cambio Climático en Ecosistemas Forestales en Cordilleras Latinoamericanas y Herramientas para la Adaptación de la Gestión) 2013. (en línea) Consultado el 11 de febrero del 2014. Disponible en: <http://www.climiforad.org/territorios/cerro-azul-meambar/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) 2001. Causas y tendencias de la deforestación en América Latina (en línea). Consultado el 11 de marzo del 2014. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/007/ad680s/ad680s00.htm#TopOfPage>
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola) 2004. Guía práctica de la producción de café con sombra de maderables. (en línea). Consultado el 29 de septiembre del 2014. Disponible en http://www.fhia.org.hn/downloads/cacao_pdfs/gpcafeconsombramaderables.pdf
- Garcia, L.S., Pinilla, C., Delgado, J. y Cardenal, J. 2001. Corrección atmosférica de imágenes multispectrales de satélites mediante transformaciones A.C.P. (Analyze Component Principal). Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Climático (2) 473-476 p.
- Giannetti, F. y Grignetti, A. 2009 Remote sensing for a changing Europe. Edited by Derya Maktav. Amsterdam, Netherlands. Publisher IOS Press BV. 272 p.
- House, P.R. 2002. Diagnóstico ambiental en el Lago de Yojoa, Honduras. Revisión bibliográfica.
- ICF. (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre) DAP. (Departamento de Áreas Protegidas) y PAG. (Proyecto Aldea Global) 2012. Plan de manejo Parque Nacional Azul Meambar (PANACAM) 2012-2016. 1-160 p.
- Mas, J.F. y Correa, S.J. 2000. Análisis de fragmentación del paisaje en el área protegida Los Petenes, Campeche, México. Investigaciones Geográficas 043: 42-59 p.

- McGarigal, K., Marks, B.J. 1994. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest. Research Station. 122.
- Monedero, C. y Gutiérrez, M. 2001. Análisis cuantitativo de los patrones espaciales de la cobertura vegetal en el geosistema montañoso tropical El Ávila. *Ecotrópicos*. 14(1): 19-30.
- Pineda, C.H., Zelaya, S., López, R. y Martínez, C. 2005. Estrategia nacional de bienestar y servicios ambientales de Honduras. Honduras. 4-5 p.
- Portillo, H., Secaira, E. y Lara, K. 2013. Plan de Conservación del Parque Nacional Cerro Azul Meámbar: Basado en el Análisis de Amenazas, de Situación y del Impacto del Cambio Climático. ICF (Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre y PAG. (Proyecto Aldea Global) y USAID ProParque. 52 p.
- Quirós Rosado, E. M. 2009. Clasificación de imágenes multiespectrales Aster mediante funciones adaptativas. Tesis Doctoral. España. Universidad de Extremadura. 110.
- Ramos, P., De La Calle, S., Herrero, F.A., Lizana, A.M., Arranz, J.A., Molina, G.J., Márquez, M.M., Ramos C.P., Arévalo, V.G., Galán, S.J., De La Mora, G.G., De Salvador, V.D., Boyero, S.J., Cabello, E.J., Salazar, G.J., Romero B.C., Bravo, V.C., Payno, M., Donés, P.J. 2007. Uso eficiente y sostenible de los recursos naturales. Editado por Ramos C. Pedro. España, Ediciones Universidad de Sañamanca. 17 p.
- Salvador, R., Pons, X. y Diego, F. 1996. Validación de un método de corrección radiométrica sobre diferentes áreas montañosas. *Revista de Teledetección*. (7) 1-5 p.
- Turner, M.G. 1990. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology* 4(1) 21-30 p.
- Valdés, A. 2011. Modelos de paisaje y análisis de fragmentación: de la biogeografía de islas a la aproximación de paisaje continuo. *Ecosistemas*. 20(2): 11-20 p.
- Weichelt, H., Rosso, P., Marx, A., Reigber, S., Douglass, K. y Heynen, M. s.f. The RapidEye Red Edge Band. Germany, USA, Canadá y Luxemburgo. 4-5 p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Gráfica de dispersión de la reflectividad entre la combinación de dos bandas (RE y NIR) para la selección de las regiones de interés (ROI's). Honduras, 2014



■ Forestal; ■ Pastizal; ■ Cultivo 1; ■ Cultivo 2; ■ Suelo desnudo

Fuente: Weichelt *et al.* s.f.

Anexo 2. Valores de separabilidad entre las categorías de los usos y coberturas de la tierra para el PANACAM. Honduras, 2014.

Índice de separabilidad entre categorías		
Agricultura	Matorral	1.91
Matorral	Bosque de pino	1.92
Cuerpos de agua	Bosque de pino	1.95
Pastizal	Suelo desnudo	1.98
Bosque de pino	Suelo desnudo	1.98
Bosque latifoliado	Matorral	1.98
Bosque latifoliado	Bosque de pino	1.99
Agricultura	Bosque latifoliado	1.99
Cuerpos de agua	Suelo desnudo	1.99
Matorral	Pastizal	1.99
Agricultura	Bosque de pino	2.00
Matorral	Suelo desnudo	2.00
Agricultura	Pastizal	2.00
Pastizal	Bosque de pino	2.00
Agricultura	Suelo desnudo	2.00
Agricultura	Matorral	2.00
Bosque latifoliado	Pastizal	2.00
Agricultura	Cuerpos de agua	2.00
Cuerpos de agua	Pastizal	2.00
Bosque latifoliado	Suelo desnudo	2.00
Cuerpos de agua	Bosque latifoliado	2.00

Anexo 3. Matriz de confusión entre las categorías de los usos y coberturas de la tierra para el PANACAM, Honduras, 2014.

Clases	Categorías de los usos y coberturas							Total
	AG	AGUA	BL	MAT	PS	BP	SD	
AG	1,023	0	0	1	0	0	0	1,024
AGUA	0	106	0	0	0	0	0	106
BL	0	0	1,007	0	0	2	0	1,009
MAT	1	0	0	613	4	6	0	624
PS	0	0	0	5	510	0	0	515
BP	0	1	3	2	0	1,024	0	1,030
SD	0	0	0	0	1	1	1,006	1,008
Total	1,024	107	1,010	621	515	1,033	1,006	5,316

BP= Bosque de pino; BL= Bosque latifoliado; AG= Agricultura; MAT= Matorral; PS= Pastizal; CA= Cafetal; AGUA= Cuerpos de agua

Anexo 4. Valores de los errores y la precisión de la clasificación mediante el clasificador: Máxima Probabilidad para el PANACAM. Honduras, 2014.

Clases	Errores (%)		Precisión (%)	
	Comisión	Omisión	Productor	Usuario
Agricultura	0.10	0.10	99.90	99.90
Cuerpos de agua	0.00	0.93	99.07	100.00
Bosque Latifoliado	0.20	0.30	99.70	99.80
Matorral	1.76	1.29	98.71	98.24
Pastizal	0.97	0.97	99.03	99.03
Bosque de Pino	0.58	0.87	99.13	99.42
Suelo Desnudo	0.20	0.00	100.00	99.80

Anexo 5. Índices de fragmentación usados en el análisis y las correspondientes siglas y medidas. Honduras, 2014.

Nombre	Sigla	Unidad
Área de Parches	ÁREA	ha
Número de Parches	NP	Ninguna
Índice de Dimensión Fractal	FRAC	Ninguna
Índice de Proximidad	PROX	Ninguna
Densidad de Parches	PD	N. parche/100 ha
Índice de Parche Mayor	LPI	%
Porcentaje del Paisaje	PLAND	%

Anexo 6. Tabla de resultados de las métricas de fragmentación del paisaje aplicadas en el PANACAM. Honduras, 2014.

Resumen de las métricas aplicadas						
Clases	PLAND	NP	PD	LPI	PROX_MN	FRAC
Bosque de pino	23.17	7,533.00	23.57	4.55	4,647.88	1.10
Matorral	25.94	10,513.00	32.89	5.85	4,793.84	1.10
Bosque latifoliado	32.14	4,778.00	14.95	26.00	32,170.40	1.08
Agricultura	1.26	1,622.00	5.07	0.07	8.24	1.07
Pastizal	6.15	5,613.00	17.56	0.14	34.67	1.09
Cafetal	8.09	556.00	1.74	0.61	330.25	1.10

Anexo 7. Distribución de las categorías de los usos y coberturas de la tierra para cada zona del PANACAM, Honduras, 2014

Zona de amortiguamiento			Zona núcleo		
Usos	ha	%	Usos	ha	%
Agricultura	289.54	1.31	Agricultura	65.02	0.71
Asentamiento humano	314.24	1.42	Bosque de pino	874.92	9.55
Bosque de pino	6,391.61	28.82	Bosque latifoliado	6,802.54	74.28
Bosque latifoliado	3,618.90	16.32	Cafetal	69.86	0.76
Cafetal	2,478.71	11.17	Cuerpos de agua	19.15	0.21
Cuerpos de agua	50.67	0.23	Matorral	1,201.18	13.12
Matorral	6,631.59	29.90	Pastizal	90.23	0.99
Pastizal	1,878.85	8.47	Suelo desnudo	35.02	0.38
Suelo desnudo	527.24	2.38			
Total	22,181.34	100.00		9,157.91	100.00