



PRESENTACION PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

QUINTA CONVOCATORIA INTERNA PARA PROYECTOS DE GRUPOS Y
SEMILLEROS DE INVESTIGACION 2016

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO:

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental

AREA DE ACTUACIÓN: Ingeniería y Tecnología

LÍNEA DE INVESTIGACION MEDULAR: San Alberto Magno O.P. Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Gestión Ambiental

ASOCIACIÓN AL PLAN GLOBAL DE DESARROLLO: *Proyecto Formación en procesos de Investigación* (Eje 1 USTA SOCIEDAD - Programa de Investigación e Innovación).

1. NOMBRE DEL PROYECTO

Análisis ecológico del paisaje de la Reserva Forestal Protectora Vanguardia usando elementos de la geomática, en el municipio de Villavicencio, Meta.

MODALIDAD DE PRESENTACION: Modalidad de proyectos formulados entre grupos inter sedes de la USTA Colombia

NOMBRE DE LOS GRUPOS DE INVESTIGACION QUE PARTICIPAN: Grupo GAUV –Sede Villavicencio y Grupo INAMUSTA –Sede Bogotá

LIDERES DEL PROYECTO DE INVESTIGACION EN LAS SEDES INVOLUCRADAS. Rodrigo Isaac Velosa Caicedo –Sede Villavicencio. Biólogo, M.Sc. University of Idaho. Docente universitario por un periodo de 20 años; Funcionario en provisionalidad, planta global de Parques Nacionales Naturales de Colombia por un periodo de 2 años; Contratista Parques Nacionales Naturales por más de 10 años.

Adriana Alejandra Bernal –Sede Villavicencio. Ecóloga, Espec. Universidad Santo Tomás. Docente universitario. Consultora Gestión Ambiental.

Germán Amilkar Hernández –Sede Bogotá. Ingeniero Forestal. Candidato a Magister en manejo, uso y conservación del bosque, Universidad Distrital.

VALOR TOTAL DEL PROYECTO: Cuarenta millones de pesos (\$40.000.000)

MONTOS DE CONTRAPARTIDAS: \$20.000.000 Sede Villavicencio; \$20.000.000 sede Bogotá.

PERIODO DE FORMULACION CONJUNTA DE LA PROPUESTA: Abril – Julio 2016.

RESUMEN

El monitoreo de los patrones espaciales de la cobertura vegetal tiene gran importancia y aplicabilidad en la conservación y manejo de áreas protegidas. Se propone realizar la caracterización de la estructura del paisaje en un área protegida de piedemonte llanero afectado por deforestación, con el objeto de valorar el estado o calidad del paisaje estudiado, y como insumo para la actualización del plan de manejo de la reserva.

Mediante el uso de imágenes satelitales se determinará la variación multitemporal en las coberturas vegetales, a partir de la cual se construirán matrices y mapas de cambio o no cambio en la heterogeneidad del paisaje. La fragmentación del bosque será analizada mediante métricas de heterogeneidad, configuración espacial y continuidad, lo cual permitirá la cuantificación y categorización de los efectos de la fragmentación y de los cambios en la cobertura vegetal. Como insumo adicional para determinar la funcionalidad del paisaje se determinará la variabilidad en la composición y diversidad de plantas leñosas y aves en cada uno de los tipos diferenciales de cobertura vegetal que se reconozcan, en su función como proveedora de hábitats para la biodiversidad.

El análisis de la funcionalidad del paisaje que se propone puede actuar como pieza de apoyo para la definición de pautas de manejo precisas tendientes a compatibilizar los conflictos de uso y manejo del área protegida.

PALABRAS CLAVE: Ecología del paisaje, patrones espaciales, cobertura vegetal, índices, fragmentación, heterogeneidad, piedemonte llanero, Colombia.

INFORME DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA

Con el propósito de identificar las tendencias en el ámbito científico relacionado con la publicación de artículos en el campo de los análisis cuantitativos de los patrones espaciales de la cobertura vegetal, se realizó un ejercicio de vigilancia tecnológica (Tabla 1). Este ejercicio consistió en la determinación de indicadores

cienciométricos de la producción científica en el tema (Landscape ecology, spatial patterns, vegetation cover, índices, fragmentation, heterogeneity, hábitat, Colombia), empleando las bases de datos de Scopus (Elsevier, B.V. 2016), Scientist Direct (Elsevier, B.V. 2016) y páginas de internet relacionadas con el tema.

Tabla 1. Ficha técnica del ejercicio de vigilancia tecnológica

Facultad	Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Villavicencio
Objeto	Presentar los indicadores bibliométricos de actividad científica (artículos) relacionados con el tema de análisis cuantitativos de los patrones espaciales de la cobertura vegetal, durante el periodo de consulta 1990 – 2016
Tema	Análisis cuantitativos de los patrones espaciales de la cobertura vegetal, durante el periodo de consulta 1990 – 2016
Factor crítico	Avances en la investigación científica (artículos) relacionada con los análisis de patrones espaciales de la cobertura vegetal
Palabras clave	Landscape ecology, spatial patterns, vegetation cover, fragmentation, indices, heterogeneity, habitat, Colombia
Periodo de consulta	1999 a 2016
Herramientas de consulta	Bases de datos bibliográficas: - Scopus (Elsevier, B.V. 2016) - Scientist Direct Páginas de internet relacionadas con el tema
Responsable	Rodrigo Isaac Velosa Caicedo

Teniendo en cuenta las palabras clave propuestas para la realización de este ejercicio de vigilancia tecnológica, se estructuró la siguiente ecuación de búsqueda en la base de datos de Scopus:

(TITLE-ABS-KEY ("landscape ecology") AND TITLE-ABS-KEY ("spatial patterns") OR TITLE-ABS-KEY ("vegetation cover") OR TITLE-ABS-KEY (fragmentation) OR TITLE-ABS-KEY (indices) OR TITLE-ABS-KEY (heterogeneity) OR TITLE-ABS-KEY (habitat) OR AFFILCOUNTRY (Colombia)) AND DOCTYPE(ar) AND PUBYEAR > 1999

Se obtuvieron 2.932 registros que corresponden a artículos científicos relacionados con el tema. Mediante el uso de Excell se obtuvieron los indicadores cienciométricos relacionados en este informe.

En la Figura 1 se presenta la dinámica científica de la producción de artículos relacionados con el tema de estudio durante el periodo 1990 – 2016, utilizando 8 descriptores.

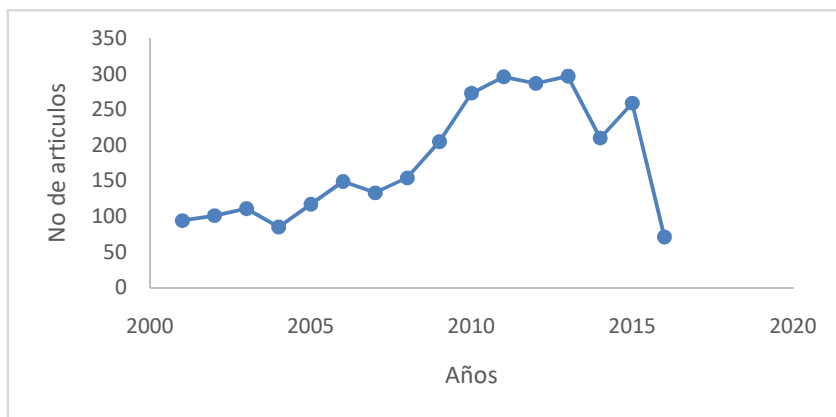


Figura 1. Variación de la producción científica relacionada con el tema de análisis de patrones espaciales de la cobertura vegetal durante el periodo 2000 – 2016.

Puede notarse que, según 8 descriptores diferentes utilizados, hay una tendencia creciente en la investigación teórica y práctica por el tema de análisis de patrones espaciales de la cobertura vegetal. Los años con mayor actividad fueron del 2011 al 2013 con un promedio de 293 artículos. En lo transcurrido del 2016 se presentan 71 artículos indexados en la base de datos, de acuerdo con la ecuación de búsqueda estructurada.

En cuanto a la distribución de los artículos científicos por área de conocimiento (Figura 2), se observa que los mayores números tienen aplicación en Ciencias Ambientales (1.987) y en Ciencias Agrícolas y Biológicas (1.645) con números bajos en otras disciplinas del conocimiento (ciencias sociales, ciencias de la tierra, bioquímica, genética y biología molecular y medicina).

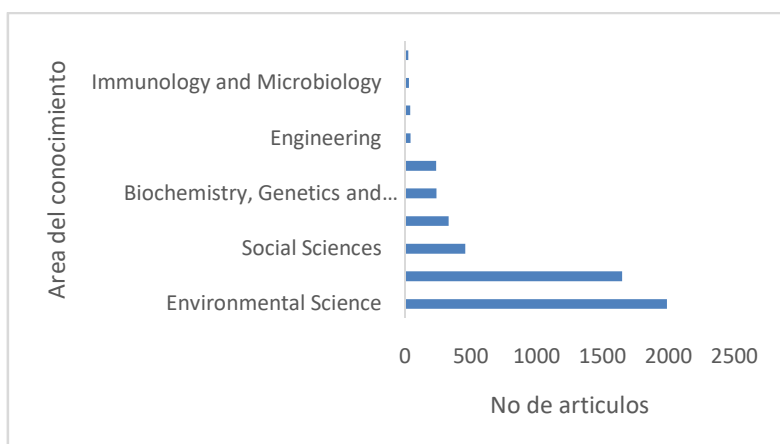


Figura 2. Distribución de artículos según las áreas de conocimiento relacionadas con el tema de análisis de patrones espaciales de la cobertura vegetal (cálculos basados en información de Scopus (Elsevier 2015), fecha de consulta 06/22/2016).

En la Figura 3 se ilustra las principales revistas científicas (top 10) en las que se encuentra el mayor número de publicaciones relacionadas con el tema de estudio, a saber: Landscape Ecology (262), Plos One (141), Biological Conservation (102), Shengtai Xuebao Acta Ecologica Sinica (82), y Landscape And Urban Planning (74) entre otras.

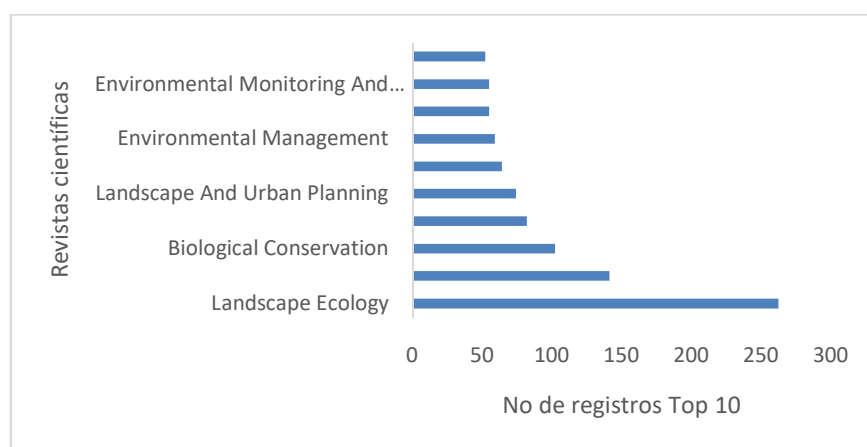


Figura 3. Distribución del número de artículos científicos según las revistas donde aparecen publicados, relacionadas con el tema de análisis de patrones espaciales de la cobertura vegetal.

En la Tabla 1 se consignan los datos más importantes de las principales revistas relacionadas con el tema de estudio. De acuerdo con el impacto relativo calculado con el indicador SCImago Journal Rank desarrollado por SCImago Lab con base en las publicaciones indexadas en Scopus, las revistas incluidas en la Tabla 1 pertenecen alcuartil Q1 en las temáticas relacionadas con Ecología; Geografía, Planificación y Desarrollo; Conservación del paisaje; Agricultura y Ciencias Biológicas; y Ciencias Ambientales.

Tabla 1. Clasificación de las 5 principales revistas relacionadas con el tema de análisis de patrones espaciales de la cobertura vegetal, de acuerdo con el indicador SCImago Journal Rank. (<http://www.scimagojr.com/journalsearch.php>).

Título	ISSN	Editor	Cuartil (SJR, 2015)			
			Q1	Q2	Q3	Q4
Landscape Ecology	15729761 , 09212973	Kluwer Academic/ Plenum Publishers	Ecology; Geography, Planning and Development; Nature and Landscape Conservation			
Plos One	19326203	Public Library of Science	Agriculture and Biological Sciences			
Biological Conservation	00063207	Elsevier BV	Agriculture and Biological Sciences, Environmental Science			
Landscape and Urban Planning	01692046	Elsevier BV	Environmental Science			
Forest Ecology and Management	03781127	Elsevier BV	Agriculture and Biological Sciences, Environmental Science			

La distribución de las publicaciones relacionadas con el tema de estudio, discriminada por países, se ilustra en la Figura 4. De acuerdo con esta figura, la mayor actividad productiva se registra en Estados Unidos con 1.005 artículos, seguido por China, Australia y Reino Unido con 439, 323 y 218 respectivamente. Nótese que el único país latinoamericano dentro del top 10, es Brasil con 139 registros (artículos).

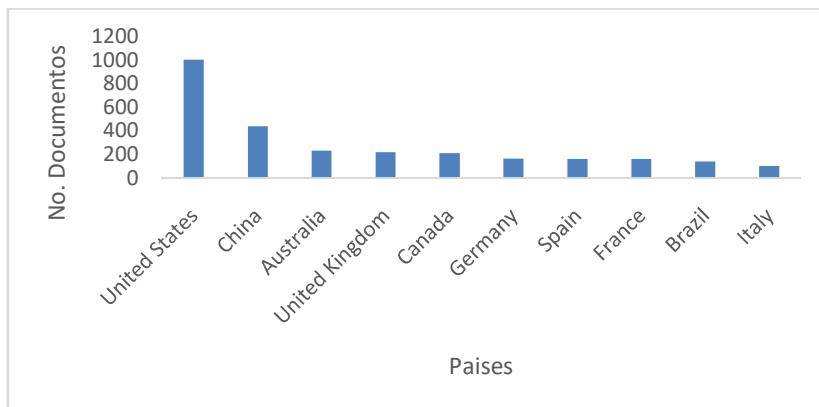


Figura 4. Distribución de artículos científicos relacionados con el tema de análisis de patrones espaciales de la cobertura vegetal, discriminado por países a nivel mundial (Top 10). (cálculos basados en información de Scopus (Elsevier 2015), fecha de consulta 06/22/2016).

Dentro de las instituciones y universidades, relacionadas con el tema de análisis de patrones espaciales de la cobertura vegetal, las más importantes de acuerdo al número de publicaciones, se encuentran las siguientes (Figura 5): Academia China de Ciencias con el mayor número de registros (63), seguido muy de cerca por la Universidad de Wisconsin, la Universidad de Sveriges, la Universidad de Florida y el Servicio Forestal de los Estados Unidos con 61, 48, 47 y 42 respectivamente.

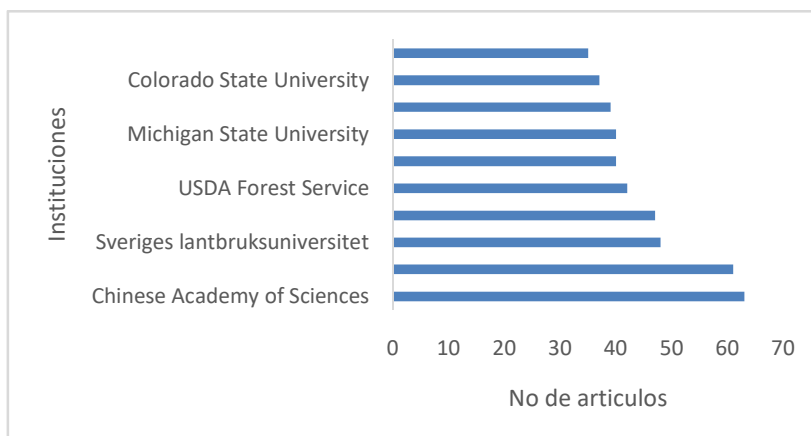


Figura 5. Distribución por instituciones y universidades, de artículos científicos relacionados con el tema de análisis de patrones espaciales de la cobertura vegetal (Top 10). (Cálculos basados en información de Scopus (Elsevier 2015), fecha de consulta 06/22/2016).

En la Figura 6 se ilustran los principales investigadores a nivel mundial relacionados con el tema de estudio, con producciones similares respecto al

número de artículos publicados, a saber (Scopus, 2015): Burel, F., Lindenmayer, D.B., Fahring, L., Peng, J., Wang, Y., Saura, S., Fisher, J., He, H.S., Metzger, J.P., y Turner, M.G.

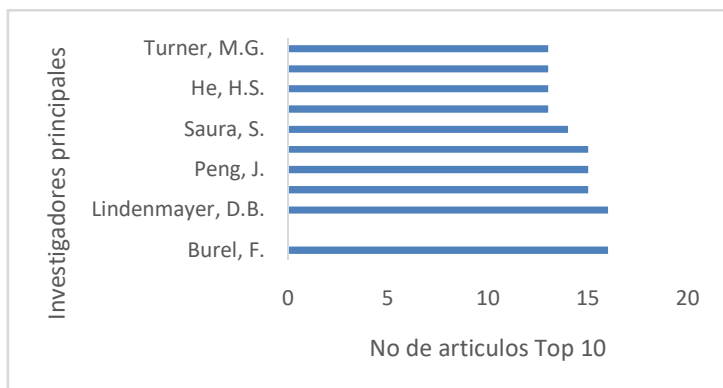


Figura 6. Principales autores relacionados con investigaciones en el tema de análisis de patrones espaciales de la cobertura vegetal (Cálculos basados en información de Scopus (Elsevier 2015), fecha de consulta 06/22/2016).

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las pérdidas de cobertura vegetal en áreas protegidas como es el caso de la Reserva Forestal Protectora Vanguardia en el municipio de Villavicencio trae consigo la necesidad de monitorear los cambios en el estado de los valores de conservación definidos para estas áreas y de los factores de disturbio asociados, con miras a establecer el manejo adecuado de las mismas y el logro de objetivos de conservación. El estudio de los cambios multitemporales en el estado de las coberturas vegetales es una aproximación a escala de paisaje que cada vez se utiliza con mayor frecuencia en las áreas protegidas para realizar reportes sobre el estado actual de los ecosistemas presentes, los cuales pueden servir de base para un posterior estudio de la funcionalidad del paisaje. Adicionalmente, tales estudios son importantes para detectar los conflictos entre los usos que se les esté dando a las diferentes secciones del área protegida y la normatividad que la regula.

Los fenómenos de expansión urbana y crecimiento de la población en la ciudad de Villavicencio están ocasionando pérdidas importantes de cobertura vegetal, aún no suficientemente cuantificadas, en las áreas protegidas vecinas a la ciudad ubicadas en zonas de piedemonte llanero, y que por su topografía con fuertes pendientes imponen serias restricciones a los usos agrícolas, ganaderos y de expansión urbana (Corpes de la Orinoquía 1997).

OBJETIVO GENERAL

Analizar los patrones espaciales de la cobertura vegetal en la Reserva Forestal Protectora Vanguardia, como ensayo metodológico para la caracterización de la estructura del paisaje en un ecosistema de piedemonte llanero.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Generar el mapa de Cobertura y Usos de la Tierra utilizando la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia en dos periodos de tiempo diferentes, como insumo para el análisis comparativo de los patrones del paisaje.
2. Realizar un análisis multitemporal de coberturas por medio de indicadores a escala de paisaje (heterogeneidad, configuración espacial y continuidad) para valorar el estado de conservación/degradación del área protegida
3. Realizar la caracterización en campo de los tipos de cobertura identificados mediante la cuantificación de atributos de diversidad de flora (plantas leñosas) y fauna (aves) representativa, como insumo adicional para la valoración de la calidad del paisaje.
4. Realizar un análisis de la calidad del paisaje, para aportar a la implementación del plan de manejo del área protegida.

JUSTIFICACIÓN

El análisis de los patrones espaciales de la cobertura vegetal en sistemas montañosos posee gran aplicabilidad en la conservación y manejo de áreas naturales protegidas (Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales 2011, Washburger et al 2006). A partir de este análisis es factible determinar la probabilidad de que un área protegida cumpla con los objetivos de conservación de biodiversidad a nivel de ecosistemas y de hábitats. La identificación de la vulnerabilidad a los diferentes regímenes de perturbación de cada una de las diferentes secciones en que puede dividirse un área protegida, es un reflejo de la influencia de diferentes procesos sostenidos de intervención antrópica (Wilson et al 2005, Villota 1992).

A partir de un análisis estructural y temporal de los paisajes se pueden desprender resultados de interés para la comprensión del estado actual de los ecosistemas presentes en un área protegida, lo cual puede servir de base para un análisis de la calidad o funcionalidad de un área. Una valoración de la matriz del paisaje mediante el empleo de índices de fragmentación y forma principalmente, permite inferir las probables causas y consecuencias del patrón de paisaje estudiado (Katán y Murcia 2003). De manera complementaria, una comparación temporal de los ecosistemas y áreas intervenidas en dos fechas, nos proporciona una idea del

grado de avance o retroceso en los procesos de conservación y/o deterioro del área, lo cual puede ser utilizado para la definición de pautas de manejo precisas tendientes a compatibilizar los conflictos de uso y manejo del área protegida (Parques Nacionales Naturales de Colombia 2012^a, Barbosa 2005). En este contexto, la información aportada por los análisis estructurales del paisaje de un área protegida le permite a la Corporación encargada del manejo y administración de las áreas protegidas (Cormacarena en este estudio), revisar en detalle lo que está ocurriendo en el área protegida y actuar en consecuencia atendiendo a la normatividad establecida.

Los análisis espaciales de coberturas en las áreas protegidas de piedemonte de la Orinoquia son escasos. Estudios de la vegetación natural de la Orinoquía realizados a partir de aerofotografías han permitido definir la presencia de tres mesas boscosas; la primera se localiza en las sabanas de Arauca y Casanare, la segunda en la altillanura disectada al sur del departamento del Meta, y la tercera en las laderas de la cordillera oriental o piedemonte llanero (Corpes de la Orinoquía 1997). Estas últimas han sido las más afectadas por la deforestación y la adecuación de tierras para la agricultura y la ganadería, con la consiguiente pérdida de las coberturas vegetales originales. Sin embargo, no se han realizado esfuerzos consistentes tendientes a determinar el impacto de diferentes actividades antrópicas a partir de análisis en los patrones espaciales de las matrices paisajísticas resultantes en áreas de piedemonte llanero. Tales estudios son de especial importancia no solo para predecir los efectos de las alteraciones del hábitat sobre conjuntos florísticos o faunísticos, sino también para identificar especies particulares que son especialmente sensibles a tales alteraciones y para identificar prácticas de manejo que puedan incrementar la disponibilidad del hábitat para especies raras, endémicas o amenazadas. Tal relación está basada en la premisa de que "existe una relación predecible entre el porcentaje de determinado tipo de cobertura vegetal remanente y la funcionalidad del ecosistema o paisaje" (Parques Nacionales Naturales de Colombia 2012^a).

La Reserva Forestal Protectora Vanguardia en el municipio de Villavicencio, Meta, es una de las pocas áreas protegidas localizada en zona de piedemonte llanero, cuyo objetivo fundamental es proteger las cuencas altas de las corrientes utilizadas para el abastecimiento de la población que habita en sus cercanías y conservar muestras de los ecosistemas y paisajes de la vertiente oriental de la cordillera oriental, correspondiente a una porción del denominado "Refugio de Villavicencio" (Cormacarena 2007, Hernández – Camacho 1992). Sin embargo, la mayor parte de los ecosistemas de la reserva, cuya conservación justificó en parte su creación incluyendo una propuesta de ampliación de sus límites actuales, han

sido y continúan siendo degradados, lo cual indica que se requiere de soluciones urgentes a fin de que la reserva pueda garantizar la protección y conservación de la biodiversidad en el futuro, así como la producción de agua para una parte del municipio de Villavicencio (cerca de 5.000 habitantes) incluyendo el aeropuerto, el bioparque Los Ocarros, la industria Aceites del Llano y el cementerio Jardines del Llano. La expansión urbana, que ha reducido gran parte de la vegetación forestal protectora desde antes de la declaratoria de la reserva, representa la mayor amenaza en el presente, lo cual a su vez genera otras amenazas como la extracción de leña y madera, uso inadecuado y contaminación del agua, construcción de infraestructura, y el desarrollo de turismo mal planificado (Cormacarena 2007).

Aun cuando la Reserva Vanguardia cuenta con un plan de manejo elaborado en 2007, no se ha realizado una evaluación de su estado actual desde la perspectiva de la ecología del paisaje. Este estudio además de pretender contribuir con información a la actualización del plan de manejo de la reserva, también es un intento por valorar la eficiencia de las políticas de manejo y control aplicadas a la reserva y a la generación de correctivos por parte de Cormacarena, que puedan llevar a un incremento del estatus de conservación de esta área protegida.

MARCO TEORICO

El paisaje puede ser considerado como una superficie espacialmente heterogénea, representable como un mosaico constituido por un conjunto de unidades homogéneas denominadas fragmentos o parches, los cuales se conforman por unidades naturales, seminaturales o intervenidas, entre las que se establecen relaciones espaciales y funcionales (Fernández et al 1992, Etter 1991, Forman y Grodon 1986; Zonneveld 1979). Los fragmentos, parches o remanentes de vegetación son áreas relativamente homogéneas internamente con respecto a la estructura y a la edad de la vegetación, pudiéndose asociar a algún tipo de especie, hábitat, ecosistema o proceso bio - ecológico (fragmentación, corredores, gradiente altitudinal etc.) (Etter et al 2005, Kattan y Murcia 2003). Su efectividad depende tanto del tamaño como de la forma –borde, por lo que no deben estar aislados de los recursos adyacentes para no generar un efecto de isla (Etter et al 2005).

Diferentes estudios en América tropical han resaltado el uso de imágenes de satélite para el monitoreo de los cambios en la cobertura vegetal frente a patrones de deforestación, inclusive integrados en algunos casos y de manera reciente, a patrones socioeconómicos como la pobreza en contextos urbanos (Duque et al 2015, Portillo-Quintero 2012, Broich et al 2009, Hansen et al 2008, Castro et al 2003, Tucker & Townshend 2000, Turner y Gardner 1990). En Colombia los

estudios de cambio en la cobertura vegetal se han centrado en la escala de paisaje (Etter et al 2006, Mendoza & Etter 2002, García 2002, Etter & Van Wyngaarden 2000). Romero-Ruiz et al (2012) realizaron un análisis cuantitativo multitemporal de los cambios en cobertura en ecosistemas de sabana de los Llanos Orientales de Colombia durante el periodo 1987 – 2007, utilizando imágenes de satélite (Landsat y CBERS). En este estudio se reporta una disminución de un 14 - 23% de las coberturas vegetales de sabana desde 1987, con una tendencia a un incremento en la última década; tales cambios fueron asociados principalmente a la expansión del cultivo de palma de aceite y a las explotaciones petroleras y mineras. Sin embargo, este tipo de estudios en zonas de piedemonte llanero son escasos o no se han realizado.

Para cuantificar los patrones de paisaje, de manera tal que se adquiriera información sobre el estado de un ecosistema – paisaje, se han propuesto en la literatura un gran número de métricas; esto es, algoritmos (indicadores) que cuantifican patrones espaciales característicos de los parches, clases de parches o de mosaicos paisajísticos enteros (Sudhakar Reddy et al 2013, Hill et al 2011, O'Neill et al 1988, Gardner et al 1987). La fisonomía del paisaje es factible caracterizarla bajo tres aspectos fundamentales: heterogeneidad (composición), configuración espacial y continuidad (Monedero y Gutiérrez 2001). Estos tres aspectos pueden considerarse de manera independiente o integrada, a fin de lograr una interpretación de los procesos ecológicos (fragmentación, aislamiento, conectividad, gradiente altitudinal) y de los flujos de organismos que pueden ser asociados (Tovar et al 2013, Cayuela et al 2006).

La composición, como indicador de la heterogeneidad espacial, expresa las características asociadas a la variedad de parches, expresados tanto por la extensión de unidades de conservación –áreas naturales, seminaturales y transformadas- como por la extensión total de unidades de cobertura, dentro del mosaico de un área protegida (Parques Nacionales Naturales de Colombia 2012). La heterogeneidad tiene especial importancia en lo relativo a la disponibilidad de hábitat requerido por las diferentes especies.

La configuración se refiere a la disposición espacial de cada tipo de parche a lo largo del paisaje, su ubicación relativa (en este caso por rango altitudinal), los bordes o límites de hábitats o ecosistemas (que se pueden discriminar por el tipo de cobertura vegetal) que expresa alguno de los procesos ecológicos fundamentales como conectividad/aislamiento, fragmentación, efecto de borde (Parques Nacionales Naturales de Colombia 2012). La continuidad de otra parte, hace referencia a las conexiones físicas existentes (aislamiento y proximidad) entre parches similares (en este caso a la cohesión longitudinal y altitudinal entre

parches), expresando el grado en el cual el mosaico facilita o impide flujos ecológicos.

El análisis cuantitativo de la composición, configuración y continuidad puede abordarse mediante el uso de diferentes tipos de métricas, los cuales pueden tener diferentes significados ecológicos de acuerdo a la escala de estudio seleccionada (parche, tipo de parche o paisaje/ecosistema) (Opdam 2003). En este estudio se considera un sistema de piedemonte de la cordillera oriental dentro del refugio pleistocénico denominado “Refugio de Villavicencio”, que incluye bosques primarios intervenidos, bosques secundarios maduros y bosques secundarios jóvenes distribuidos entre 380 – 830 msnm.

La composición y configuración del paisaje actúa como un filtro ecológico de los caracteres de historia natural de las especies, siendo determinantes de la composición de una comunidad biológica (Dufplot et al 2014). Algunos estudios realizados con aves, escarabajos y comunidades de plantas han permitido establecer una asociación entre las características del paisaje y ciertos atributos de las especies relacionados con su capacidad de dispersión, fenología, reproducción y el nivel trófico ocupado (Dufplot et al 2014, Barbaro y Van Halder 2009, Bennett et al 2006).

MARCO METODOLÓGICO

AREA DE ESTUDIO

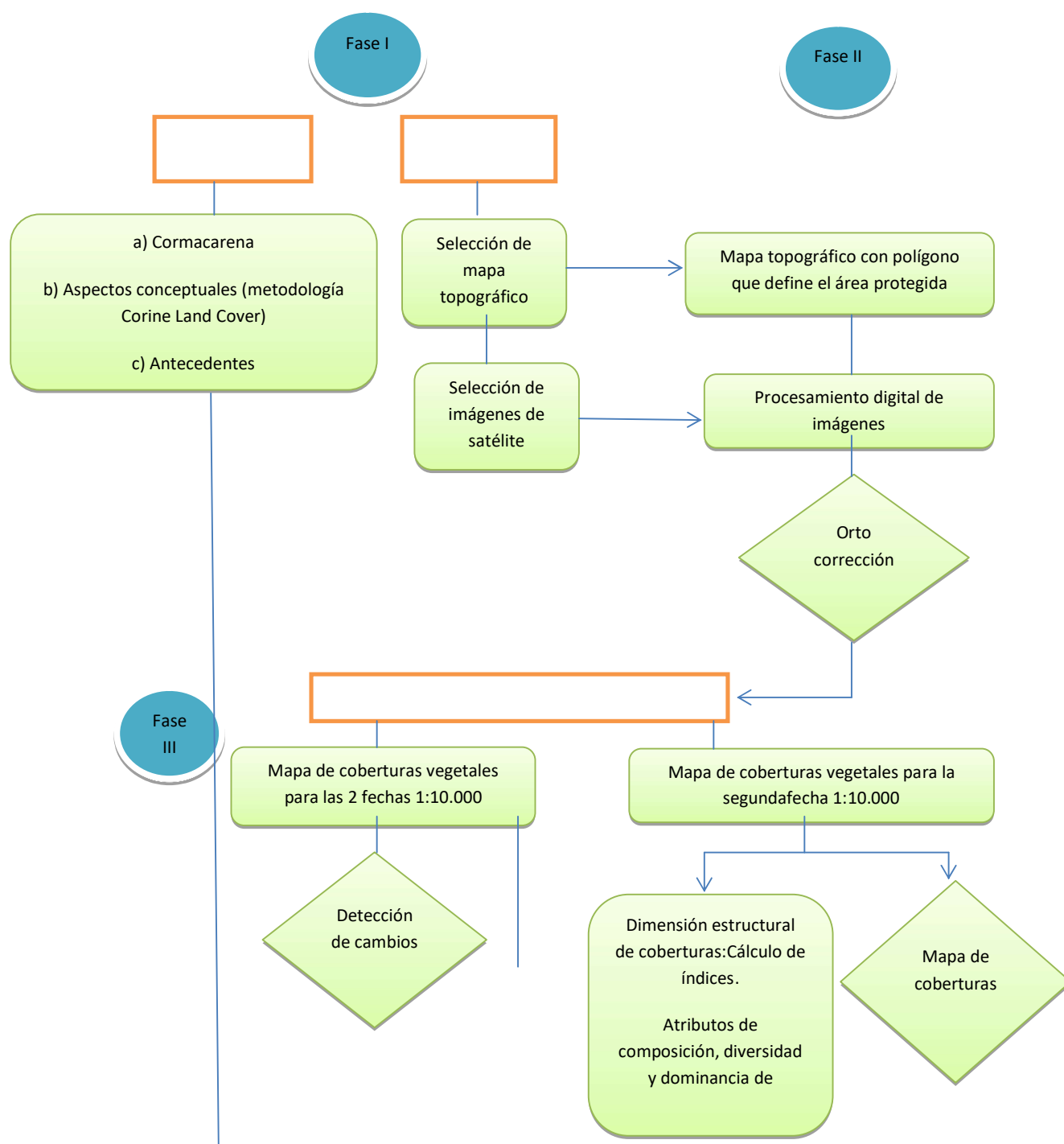
La Reserva Forestal Protectora RFP Vanguardia se localiza en la vertiente oriental de la cordillera oriental en el municipio de Villavicencio, Meta; abarca una superficie de 750 has incluyendo la zona propuesta para su ampliación, alcanzando alturas entre 380 -830 m en la zona de piedemonte llanero (Cormacarena 2007). La RFP Vanguardia es un área protegida de carácter nacional y es el resultado de la fusión de las Reservas Forestales Protectoras “Cerro Vanguardia” y “Caño Vanguardia y quebrada Vanguardiuno”; está surcada por la vía Troncal al Llano que comunica a Villavicencio con los departamentos de Arauca y Casanare y limitada de forma natural por el río Guatiquía en la porción noroccidental (Cormacarena 2007)

La RFP Vanguardia constituye una isla en medio de ecosistemas transformados y fragmentados, con algunas porciones de bosques primarios originales del piedemonte de la cordillera oriental. Además de ser valiosa en términos de su biodiversidad, en la reserva se originan importantes fuentes hídricas que abastecen parte del sector rural de Villavicencio por medio de acueductos comunitarios y a un gran número de establecimientos comerciales, hoteles, restaurantes y balnearios ubicados en su zona de influencia inmediata.

En la reserva se han registrado alrededor de 440 especies de plantas (algunas en categoría de bajo riesgo de extinción como el bejuco *Dichapetalum spruceanum*, la mula muerta *Gustavia hexapetala*, y el merecurillo amarillo *Licania subarachnophylla*(Cormacarena 2007). Igualmente se han reportado 51 especies de anfibios, 41 de reptiles, 27 de mamíferos y 161 de aves, algunas de importancia para la conservación por su carácter de endemismo, entre los que sobresalen la rana saltona de Villavicencio *Colostethus ranoides*, el mono zocay *Callicebus ornatus*, el mico nocturno *Aotus brumbacki*, y el oso palmero *Myrmecophaga tridactyla*(Cormacarena 2007).

METODOLOGIA

En la Figura 1 se ilustra la ruta metodológica propuesta para el análisis espacial de las coberturas del área protegida.



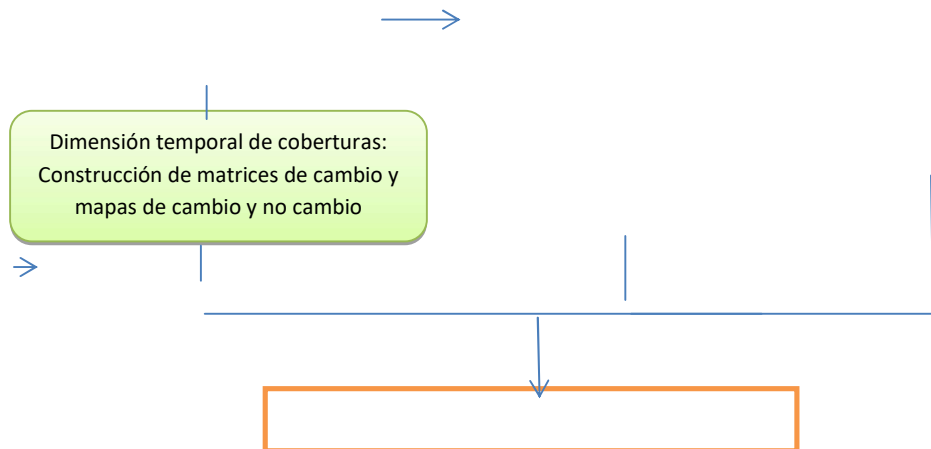


Figura 1. Esquema metodológico (adaptado de Albarrán y Molina 2011).

Fase I. Revisión bibliográfica y cartográfica.

La Fase I se relaciona con la revisión bibliográfica y cartográfica del área protegida conducente a la selección del mapa topográfico y de las imágenes de satélite adecuadas para la interpretación visual de las coberturas. En lo posible el mapa topográfico debe contener información de línea base de la zona (vías, drenajes, curvas de nivel, límites municipales, áreas urbanas entre otros), modelo de elevación digital DEM, u otra información estadística disponible para la zona de estudio (IGAC 2011)

Fase II. Procesamiento digital de imágenes. Control de calidad.

En la Fase II se realiza el procesamiento digital de las imágenes de satélite seleccionadas. Se utilizará el software ArcGIS 10.2 siguiendo los parámetros de interpretación y codificación empleados por la metodología de Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA 2008). Se utilizará un formato shapefile de polígono para consignar la información. Se definirá una tabla de atributos para la capa de coberturas. Se llevará a cabo un proceso de control de calidad de los polígonos interpretados para definir tanto la unidad mínima de mapeo para la escala seleccionada, como para comprobar la ausencia de espacios, superposiciones o repeticiones de los polígonos interpretados.

Fase III. Interpretación de imágenes: Elaboración de mapas de coberturas para dos fechas. Validación en campo. Matriz de cambio y mapas de cambio y estabilidad.

En la Fase III, y a partir de la interpretación visual en pantalla realizada sobre las imágenes de satélite se producen los mapas de coberturas a escala 1:10.000. Para realizar la validación de la información obtenida en la interpretación, se realizará trabajo de campo en las áreas del área protegida accesibles, que

permitan la verificación de puntos de muestreo y permitan decidir si las coberturas definidas fueron correctamente identificadas en la imagen satelital. Con el levantamiento de información realizado en campo se procederá a realizar los ajustes a la capa de coberturas interpretada con fines de consolidar completamente la base de datos y presentar el mapa definitivo de coberturas.

También en la Fase III y para generar la dimensión temporal de las coberturas, se plantea la utilización de un procedimiento de análisis espacial que consiste en el cruce entre los pares de mapas de coberturas generados para las 2 fechas a comparar, todo ello con la finalidad de obtener los cambios en las diferentes coberturas para el periodo de análisis. Este cruce permite por comparación pixel a pixel entre pares de mapas, la construcción de una matriz de cambio y la generación de mapas de cambio y estabilidad. Esta matriz propuesta revela la dinámica del cambio que se presenta durante el periodo de análisis; en la diagonal de la matriz se representan las coberturas donde no hubo espacialmente cambios entre parejas de categorías, mientras que el resto de las celdas ilustran las coberturas que experimentaron cambios, así como la dirección de las mismas. También producto del cruce entre los mapas de coberturas, se genera un mapa con la distribución de las áreas que cambiaron y las que se mantuvieron estables para el periodo de análisis (Albarran A.J., y G.Z. Molina, 2011).

Aplicación de métricas de paisaje. Mapas de distribución de métricas

Con la información de los mapas de coberturas de las dos fechas a estudiar, y después de hacer los análisis de cambio multitemporal de las coberturas, se aplicarán los indicadores de paisaje, mediante la utilización del programa FRAGSTATS vers. 4 (McGarigal et al 2002). También se elaborarán mapas con la distribución de las métricas aplicadas. La descripción de algunos índices propuestos se sintetiza de la siguiente manera, discriminados por sus atributos ecológicos – en paréntesis se ilustra la categoría del indicador (McGarigal et al 2002):

Medidas de Heterogeneidad (Composición). El término describe a todo el mosaico paisajístico y refiere a que tan variable es un paisaje internamente. En este caso los indicadores propuestos refieren a la diversidad de parches tanto en términos de extensión de áreas de conservación (natural, seminatural y transformada), como de extensión de unidades de cobertura. La heterogeneidad tiene especial importancia en lo relativo a la disponibilidad de hábitat requerido por las diferentes especies

Extensión (Area Total) de unidades de cobertura. Este indicador calcula la extensión de cada tipo de cobertura discriminada al interior del área. Se establecerá cuantificando el área, utilizando ArcGIS, de cada una de las coberturas vegetales que conforman el paisaje.

Porcentaje del Paisaje como unidad de conservación (áreas naturales, seminaturales y transformadas). En este estudio la cantidad de cobertura vegetal

presente en el área protegida, discriminada de acuerdo al grado diferencial de conservación (áreas naturales -con poco disturbio; áreas seminaturales -con disturbio moderado, y áreas transformadas - con alto disturbio), es referida como Porcentaje del Paisaje. Se calcula de la siguiente manera:

Porcentaje del paisaje = Sumatoria del área (ha) de la o las coberturas vegetales asociadas a la unidad de conservación de referencia / área total del AP, multiplicado por 100.

La cobertura actual de la vegetación en el área se obtendrá a partir del procesamiento digital de una imagen de satélite y corroboración en campo, identificando y diferenciando las áreas transformadas (por ejemplo tierras desnudas y degradadas; pastos enmalezados o enrastrados) de aquellas con escaso o muy bajo nivel de transformación (por ejemplo bosque natural denso alto –sin intervención).

Medidas de Configuración espacial (Composición/Estructura). Refiere a las características espaciales, posición y orientación de los parches dentro de una clase o paisaje. En este caso los indicadores propuestos refieren a las variaciones espacialmente explícitas a nivel del parche (en términos del número, tamaño, relación área: perímetro de los parches distribuidos por unidades de paisaje y/o por límites altitudinales); también se incluyen la proporción de áreas transformadas y el área núcleo efectiva.

Tales indicadores representan el reconocimiento de que las propiedades ecológicas de un parche están influenciadas por su contexto (ej. por el efecto de borde) y que la magnitud de estas influencias es dependiente del tamaño y forma del parche o fragmento.

Los indicadores propuestos para configuración espacial son los siguientes (McGarigal et al 2002):

Número de parches (fragmentos)/ tipo de cobertura vegetal. Indica el número de parches o fragmentos discriminados por tipos de cobertura vegetal al interior del área protegida.

Índice de parche (fragmento) más grande /tipo de cobertura vegetal. Se genera un índice a partir de la relación del número de fragmentos y el tamaño de los mismos por cobertura vegetal. Cuantifica el porcentaje del total del área del paisaje compuesta por el parche más grande, por lo que puede ser considerado como una medida simple de dominancia (Albarran y Molina, 2000). Constituye una referencia de la cantidad de hábitat disponible para poblaciones biológicas, proporcionada por un determinado tipo de cobertura.

Area núcleo efectiva/tipo de cobertura vegetal. Hace referencia al área de cobertura natural que se encuentra fuera de una distancia mínima de influencia a partir del borde del área. En otros términos, representa el área interior de un

parche o fragmento cuando no se considera el borde (de ancho definido por el usuario). Se relaciona principalmente con los efectos de borde. Valores altos del indicador, se relacionan con una mayor área núcleo efectiva y por consiguiente con un menor efecto del borde.

Número y tamaño de parches -fragmentos de cobertura vegetal densa / rango de elevación. Para el propósito de este análisis, se utilizará únicamente la categoría de cobertura vegetal densa (con poco grado de intervención) como el tipo de hábitat más importante para poblaciones biológicas. Utilizando ArcGIS, se determinará el área de cada uno de los polígonos o fragmentos dentro de esta categoría, en tres (3) rangos de elevación que ocurren en el área protegida (menor de 530 m; entre 530 – 680 m, y mayor de 680 m). Para un mejor análisis, el tamaño (en ha) de cada uno de los fragmentos se agrupará en clases. Se parte del supuesto de que entre más pequeños sean los fragmentos, la abundancia – densidad de las poblaciones es menor y el riesgo de extinción es mayor.

Relación Perímetro: Área de fragmentos de cobertura vegetal densa / rango de elevación. La relación Perímetro / Área - $P:A$ es una de las métricas aplicables a nivel de parche o fragmentos. Este indicador calcula un índice a partir del tamaño -área de un fragmento y del perímetro del fragmento por tipo de cobertura vegetal densa. En este estudio y con el objeto de complementar la calidad del hábitat, se evaluará la forma de cada fragmento o polígono de cobertura densa, para cada rango de elevación del área protegida, mediante la relación de perímetro a área ($P:A$), utilizando ArcGIS.

Mientras más pequeña llega a ser la relación $P:A$ para un polígono, la distancia promedio desde el interior de la cobertura vegetal densa hasta el borde disminuye y consecuentemente la cantidad de hábitat disponible para las especies dependientes del interior disminuye. Por lo tanto, aquellos polígonos con relaciones de $P:A$ más grandes serán los más apropiados para la viabilidad de las poblaciones biológicas. De acuerdo a lo anterior, la estructura del paisaje en términos de forma es de importancia clave para las especies, porque aun cuando el área sea de gran tamaño, es posible que no pueda contener suficiente interior de bosque para contrarrestar los efectos de borde, reduciendo así la calidad del hábitat.

Cuando la forma es compacta el índice tiende a 1 y se incrementa el valor conforme aumenta la irregularidad de los parches. El dominio de las condiciones naturales favorece las formas irregulares o curvilíneas (valor alto de la relación P/A); en contraposición, el dominio de la intervención humana supone una mayor dominancia de formas rectilíneas (valor bajo de la relación P/A) (Albarran y Molina, 2000). De acuerdo a lo anterior, un valor bajo de la relación Perímetro (P) / Área (A) (forma compacta) indica que la cantidad de hábitat de interior no es suficiente para contrarrestar los efectos de borde. Por el contrario un valor alto de la relación P / A (forma irregular o curvilínea), indica una mayor funcionalidad de la cobertura vegetal densa en su rol como proveedora de hábitat.

Medidas de Continuidad (Función). Refiere al grado en que un paisaje facilita o impide flujos ecológicos. La continuidad estructural en un paisaje puede evaluarse a partir del aislamiento – proximidad en el espacio entre parches. En este caso los indicadores propuestos refieren a la distancia al parche vecino más cercano y a la continuidad longitudinal y altitudinal entre unidades de paisaje.

Estas métricas son espacialmente explícitas a nivel de clases (de fragmentos) o de paisaje como un todo. Representan el reconocimiento de que los procesos ecológicos y los organismos están afectados por el aislamiento o la conectividad de los parches y clases de parches dentro del mosaico.

Los indicadores a utilizar para continuidad son los siguientes (McGarigal et al 2002):

Conectividad entre fragmentos/tipo de cobertura vegetal (Distancia euclidiana al vecino más cercano). Es un indicador que mide la distancia entre los parches o fragmentos discriminados por tipo de cobertura vegetal. Suministra información sobre el aislamiento/conectividad de los parches o fragmentos que conforman las coberturas vegetales del área protegida.

Un valor alto del indicador hace referencia a una mayor distancia entre los fragmentos de la cobertura (y por consiguiente un mayor grado de aislamiento entre los mismos). Por el contrario, un valor bajo del indicador, hace referencia a una menor distancia entre los fragmentos (y por consiguiente un menor grado de aislamiento entre ellos).

Continuidad -cohesión longitudinal entre fragmentos/tipo de cobertura vegetal. Indica el grado en el cual la matriz original el paisaje facilita o impide flujos ecológicos; esto es, el grado de continuidad o discontinuidad física entre los fragmentos o parches de las coberturas diferenciadas. El índice de continuidad longitudinal se incrementa a medida que la distribución de un tipo particular de parche es más agrupada; por consiguiente los parches están más conectados físicamente. Por el contrario, este índice toma un valor cercano a cero, cuando la proporción de parches de un tipo disminuye; por consiguiente están más subdivididos y menos conectados físicamente.

Continuidad -cohesión altitudinal entre fragmentos/tipo de cobertura vegetal. (Adaptación de la amplitud del rango altitudinal). Hace referencia al grado en el cual los fragmentos de las coberturas vegetales se encuentran físicamente conectados a lo largo de un gradiente altitudinal. El valor del índice se acerca a 0 cuando los parches están poco conectados en el perfil altitudinal del paisaje y, a la inversa, se incrementa cuando la proporción de parches aumenta en el perfil altitudinal del paisaje total evaluado, indicando una mayor continuidad (Washburger et al 2006).

Indica el grado en el cual la matriz original el paisaje facilita o impide flujos ecológicos en un perfil altitudinal; esto es, el grado de continuidad o discontinuidad

física entre los fragmentos o parches de las coberturas diferenciadas a lo largo de un gradiente altitudinal.

Los tres aspectos anteriores (heterogeneidad, configuración espacial y continuidad) serán considerados tanto de manera independiente como integrada, a fin de lograr una interpretación de los procesos ecológicos (fragmentación, aislamiento, conectividad, gradiente altitudinal) y de los flujos de organismos que pueden ser asociados a la funcionalidad del paisaje.

Composición y diversidad de flora (plantas leñosas) y fauna (aves)/tipo de cobertura

Adicionalmente se realizará una caracterización de estado de las coberturas en el contexto de su funcionalidad como proveedora de hábitat para la biodiversidad a la que se asocia. Tal funcionalidad puede ser registrada a partir de la variabilidad en la composición y diversidad de especies asociadas a cada uno de los tipos de cobertura que resulten diferenciadas en la fotointerpretación. Esto es, las modificaciones en la riqueza, equidad y dominancia de especies a partir de comparaciones en unidades de muestreo estandarizadas en cada uno de los tipos de cobertura diferenciados, pueden ser utilizadas como indicadoras del grado de funcionalidad de estas estructuras como proveedoras de hábitat para biodiversidad. En este estudio el indicador propuesto refiere a variaciones en la pendiente de la curva de diversidad –dominancia de especies en unidades de muestreo estandarizadas. Si hay incremento en la riqueza y equidad y una disminución en la dominancia de especies, aumenta la posibilidad de que los flujos ecológicos se mantengan y es mayor la funcionalidad de la unidad de cobertura como proveedora de hábitat para biodiversidad.

En cada uno de los tipos diferenciales de cobertura que se discriminen a partir de la fotointerpretación y de visitas de campo se realizará una caracterización de la flora (plantas leñosas) y fauna (aves) para incorporar atributos de biodiversidad a cada unidad de cobertura. Los sitios de muestreo que se establezcan podrán ser diferenciales de acuerdo al grado de homogeneidad/heterogeneidad en la composición de la vegetación. A todos los sitios de muestreo se les dará el mismo tratamiento metodológico, sin importar su tamaño, con el objeto de mantener homogeneidad en el muestreo y reducir las diferencias atribuibles al tamaño del área de muestreo. Para los censos aviarios se utilizará una adaptación del método de conteo en fajas de amplitud variable en transectos lineales de máximo 100 m de longitud ubicados de manera aleatoria dentro de cada sitio seleccionado y distanciados al menos 200 m uno del otro para asegurar independencia en los censos de aves (Reynolds et al 1980). Los sitios para levantamiento de vegetación coincidirán con los sitios de censo de aves. Se delimitarán cuadrículas de 50 metros cuadrados dispuestas a lo largo del eje longitudinal de los transectos. Estrictamente, se trata de parcelas de 25 x 2 metros cuadrados (parcelas Gentry),

dentro de las cuales se registrarán variables de estructura de la vegetación, composición florística y diversidad.

La estructura y composición florística del estrato alto (dosel y subdosel) se determinará con base en todos los individuos con DAP >1.0 cm. Se realizará la descripción de la composición del sotobosque en una franja de cada transecto, con un área de 20 metros cuadrados. En estas parcelas se evaluará la composición y cobertura de la vegetación con altura >de 30 cms.

Se utilizará la información sobre abundancia, dominancia y frecuencia de cada especie para calcular su Índice de Valor de Importancia (IVI). La abundancia se define como el número total de individuos en el área total muestreada; la frecuencia es el número de transectos en los que se encuentra al menos un individuo de la especie, y la dominancia es el área basal total. El IVI, que es una medida de la representatividad de una especie, se define como el promedio de las proporciones de la abundancia, la frecuencia y la dominancia.

Para la cuantificación de las medidas de diversidad alfa (expresión de la diversidad interna de transectos) y beta (expresión de la homogeneidad de la composición florística entre transectos y entre tipos de cobertura), se utilizará el software Biodiversity Pro. La diversidad alfa será cuantificada por: Número de especies / Índices de Hill / Índice de Margalef / Índice de heterogeneidad Shannon Wiener / Índice de rareza Chao 1.

Para la cuantificación de diversidad beta, se utilizara el coeficiente de Bray Curtis y se construirá un dendrograma de similitud utilizando el método de agrupamiento promedio. Se elaborarán curvas especies – área para determinar el grado de representatividad del muestreo, discriminado por tipo de cobertura.

Se realizará un análisis de varianza no paramétrico para probar la hipótesis nula de que no existen diferencias en la composición/abundancia de la comunidad aviaria entre los diferentes tipos de cobertura que logren ser diferenciados. Mediante el cálculo del índice de disimilaridad de Bray-Curtis se evaluará el grado de complementariedad (traslape) en la utilización del hábitat por las especies de aves. Se utilizará el algoritmo de Análisis Factorial (AF) con una Solución de Componentes Principales para ordenar las especies de aves (censadas en transectos lineales) de acuerdo a su posición relativa dentro del hábitat de piedemonte, utilizando el programa SAS. Se generarán estimativos de densidad (D) para cada una de las especies de aves mediante el método de las fajas de amplitud variable.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

No.	Actividad	Desde	Hasta	Tiempo
1	Análisis espacial de coberturas			
1.1	Fase I: Revisión bibliográfica y cartográfica. Selección de mapa topográfico y de imágenes satelitales.	1	2	Meses
1.2.	Fase II: Procesamiento digital de imágenes. Control de calidad.	2	4	Meses
1.3.	Fase III. Interpretación de imágenes	4	6	Meses
1.3.1.	Elaboración de mapas de coberturas para dos fechas.	4	5	Meses
1.3.2.	Validación en campo.	4	5	Meses
1.3.3.	Elaboración de matriz de cambio y mapas de cambio y estabilidad.	5	6	Meses
1.4.	Aplicación de métricas de paisaje. Mapas de distribución de métricas.	5	6	Meses
2	Composición y diversidad de flora (plantas leñosas) y fauna (aves)/tipo de cobertura			
2.1.	Selección de sitios de muestreo	5	6	Meses
2.2.	Censos de plantas leñosas	5	7	Meses
2.3.	Censos de aves	5	7	Meses
3.	Análisis del área y calidad del paisaje	7	8	Meses
4.	Elaboración del documento final	7	9	Meses

PRESUPUESTO:

RUBRO	SUBTOTAL(\$)	TOTAL(\$)
Materiales		\$6.000.000
- Papelería	\$1.000.000	
- Adquisición de imágenes satelitales y fotografías aéreas	\$3.000.000	
- Insumos para investigación sobre flora (plantas leñosas) y para trabajo de grado en pregrado: Metros de modistería o cinta diamétrica; desjarretadora, prensa botánica; tijeras podadoras; bolsas plásticas transparentes de 30x40 cm; costales de fibra plástica; libreta de campo; cabuya o pita plástica; papel periódico; marcadores indelebles; etanol al 70%; bolsas grandes gruesas y doblemente selladas (para alcoholizar las colecciones, envío de muestras a herbario).	\$ 1.000.000	
- Insumos para investigación sobre fauna (aves): Binoculares; libreta de campo; lápiz o rapidógrafo; guías de campo; redes de niebla; calibrador o pie de rey.	\$1.000.000	
Capacitación especializada		3.000.000
- Determinación taxonómica de plantas	\$3.000.000	
Trabajo de campo		\$6.000.000
- Reconocimiento del área de estudio. Validación en campo de coberturas	\$3.000.000	
- Selección de sitios de muestreo. Censos de plantas y aves.	\$3.000.000	
Participación en eventos nacionales		\$8.000.000
- Inscripción a Congreso Nacional	\$500.000/pers ona	
- Viaje a Congreso Nacional	\$1.500.000/per sona	
- Conversatorio regional		\$2.000.000
Participación en eventos internacionales		\$10.000.000
- Inscripción a Congreso Internacional –	\$800.000/pers ona	
- Viaje a Congreso Internacional	\$4.200.000/per sona	
Publicaciones		\$5.000.000
- Derecho de publicación (2 artículos)	\$2.500.000	
- Traducción (2 artículos)	\$2.500.000	
TOTAL		40.000.000

PRODUCCIÓN PROGRAMADA E IMPACTO ESPERADO

CATEGORIA COLCIENCIAS	PRODUCTOS ESPERADOS
a- Productos de nuevo conocimiento	Tres (3) artículos a enviar a revistas reconocidas por Elsevier © : 1. Artículo: Análisis cuantitativo de los patrones espaciales de la cobertura vegetal en la Reserva Forestal Protectora Vanguardia, municipio de Villavicencio 2. Artículo: Relaciones aves –hábitat en la Reserva Forestal Protectora Vanguardia, municipio de Villavicencio 3. Artículo: Estructura de la vegetación en la Reserva Forestal Protectora, Vanguardia, municipio de Villavicencio.
b. Productos de apropiación social del conocimiento	Participación en: 1. Evento Científico: Participación con ponencia en evento nacional y en evento internacional. 2. Espacios de participación ciudadana en CTel: Conversatorio regional “Planes de manejo de áreas protegidas del piedemonte llanero: Realidades”. Participantes: Cormacarena, Parques Nacionales Naturales de Colombia, UniMeta, UniLlanos, ONGs ambientales, comunidad local. 3. Alianza con Cormacarena para cooperación en el desarrollo de pasantías, tesis de grado y proyectos de investigación de docentes de la USTA en el área de gestión ambiental.
c. Productos de formación del recurso humano	1. Trabajo de grado pregrado: Dirección del trabajo de grado “Características microclimáticas y de la vegetación en áreas de borde de bosque en la Reserva Forestal Protectora Vanguardia , municipio de Villavicencio” Dos estudiantes de VIII semestre de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás Villavicencio. La dirección estará a cargo del Docente Rodrigo Isaac Velosa Caicedo.

BIBLIOGRAFÍA

Albarrán, A.J.y Molina, G.Z.(2000). Análisis ecológico de los paisajes del Parque Nacional Yacambú, Andes de Venezuela, usando herramientas de la geomática. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía, Mérida, Venezuela, p. 18.

Barbaro, L., van Halder, I. (2009). Linking bird, carabid beetle and butterfly lifehistory traits to habitat fragmentation in mosaic landscapes. *Ecography* 32, 321-333.

Barbosa, C. (2005). Caracterización preliminar de las coberturas vegetales de las cuencas de las quebradas Piritama y La Tenería, en la Playa de Belén, N.S. En: Documento de ampliación del ANU Los Estoraques para la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. UAESPNN, Bucaramanga, p. 30 - 40.

Bennett, A.F., Radford, J.Q., Haslem, A. (2006). Properties of land mosaics: implications for nature conservation in agricultural environments. *Biological Conservation* 133, 250-264.

Broich, M., Stehman, S. V., Hansen, M. C., Potapov, P. V., & Shimabukuro, Y. E. (2009). A comparison of sampling designs for estimating deforestation from Landsat imagery: a case study of the Brazilian Legal Amazon. *Remote Sensing of Environment*, 113, 2448-2454.

Castro, K., Sánchez-Azofeifa, G. A., & Rivard, B. (2003). Monitoring secondary tropical forest using space-borne data: implications for Central America. *International Journal of Remote Sensing*, 24(9), 1853-1894.

Cayuela, L., Benayas, J. M., & Echeverria, C. (2006). Clearance and fragmentation of tropical montane forest in the highlands of Chiapas, Mexico (1975-2000). *Forest Ecology and Management*, 226, 208-218.

Cormacarena. (2007). Formulación participativa del plan de manejo de las Reservas Forestales Protectoras "Cerro Vanguardia" y "Caño Vanguardia y quebrada Vanguardiuno". Corporación para el desarrollo sostenible del área de manejo especial La Macarena. Villavicencio. p. 220.

Corpes de la Orinoquía. 1997. Sabanas, Vegas y Palmares. Reflexiones sobre el uso sostenible de sistemas agrarios. Universidad Javeriana (Instituto de Estudios Rurales), Instituto Mayor Campesino, CIPAV, Santafé de Bogotá, D.C.

Duque, J.C., Patino, J.E., Ruiz, L.A., Pardo-Pascual, J.E. (2015). Measuring intra-urban poverty using land cover and texture metrics derived from remote sensing data. *Landscape and Urban Planning* 135, 11–21.

Etter, A., McAlpine, C., Pullar, D., & Possingham, H. (2005). Modeling the age of tropical moist forest fragments in heavily-cleared lowland landscapes of Colombia. *Forest Ecology and Management* 208, 249–260.

Etter, A., McAlpine, C., Phinn, S., Pullar, D., & Possingham, H. (2006). Unplanned land clearing of Colombian rainforests: Spreading like disease?. *Landscape and Urban Planning* 77, 240–254.

Etter, A. (1991). *Introducción a la Ecología del Paisaje: Un marco de integración para los levantamientos rurales*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, Bogotá, Colombia.

Etter, A. (1998). Mapa general de ecosistemas de Colombia -1:2.000.000 scale, (General ecosystem map of Colombia). In M.E. Chaves, & N. Arango (Eds.), *Informe Nacional sobre el Estado de la Biodiversidad en Colombia -1997* (National Biodiversity Report -1997). Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C.

Etter, A., Sarmiento, A., & Romero, M.H. (2011). Land use changes (1970 – 2020) and the carbon emissions in the Colombian Llanos. In Michael J. Hill, & Niall P. Hanan (Eds.), *Ecosystem function in savannas: Measurement and modeling at landscape to global scales*. Boca Ratón, Florida: CRC Press. Pp. 383-402.

Etter, A., van Wyngaarden, W. (2000). Patterns of landscape transformation in Colombia with emphasis in the Andean region. *Ambio* 29 (7), 432–439.

Fernández, R., Martín, A., Ortega, F., Ales, E. (1992). Recent changes in landscape structure and function in Mediterranean region of SW Spain (1950 – 1984). *Landscape Ecology* 7 (1), 3 – 18.

Forman, R., Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons, New York.

García, J., 2002. *Estudio de la transformación de los ecosistemas secos de la baja Guajira (1940–1997)*, Colombia. BSc Thesis, PUJ, Bogotá.

Gardner, R.H., Milne, B.T., Turner, M.G. & O'Neill, R.V. (1987). Neutral models for the analysis of broadscale landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1, 1928.

Hansen, M. C., Shimabukuro, Y., Potapov, P., & Pittman, K. (2008). Comparing annual MODIS and PRODES forest cover change data for advancing monitoring of Brazilian forest cover. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3784-3793.

Hernández – Camacho, J.I., Walschburger, T., Ortiz, R., & Hurtado, A. (1992^a). Estado de la biodiversidad en Colombia. En: La diversidad biológica de Iberoamérica, G. Haffer (compilador), Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Instituto de Ecología, A.C. México. 389 p.

Hill, M.J., Román, M.O., Schaaf, C.B., Hutley, L., Brannstrom, C., Etter, A., and Hanan, N.P. (2011). Characterizing vegetation cover in global savannas with an annual foliage clumping index derived from the MODIS BRDF product. *Remote Sensing of Environment* 115, 2008–2024.

IDEAM, IGAC & CORMAGDALENA. (2008). Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena e Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Bogotá, D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma Regional del río Grande de la Magdalena (CORMAGDALENA).

IGAC. (2011). Elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra. Subdirección de Agrología. Bogotá, D. C.

Kattan, G., Murcia, C. (2003). A review and synthesis of conceptual frameworks for the study of forest fragmentation. Bradshaw and P.A. Marquet Eds. *How the landscape changes*. Ecological Studies 162. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.

McGarigal, K., Cushman, S.A., Neel, M.C., Ene, E., 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html.

Mendoza, J.E., Etter, A. (2002). Multitemporal analysis (1940–1996) of land cover changes in the south-western Bogota highplain (Colombia). *Landsc. Urban Plann.* 59, 147–158.

Monedero, C., Gutiérrez, M. (2001). Análisis cuantitativo de los patrones espaciales de la cobertura vegetal en el geosistema montañoso tropical El Ávila. *Sociedad Venezolana de Ecología*. *Ecotropicos* 14,1, 19 – 30.

Muñoz-Villares, L. E., & López-Blanco, J. (2008). Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 29(1), 71-93.

Murcia, G.U.G.; Huertas, M.C.; Rodríguez, J.M.; Castellanos, H.O. 2011. Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia colombiana, a escala

1:100.000. Cambios multitemporales en el período 2002 al 2007. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, D. C.

O'Neill, R., Krummel, J., Gardner, R., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D., Milne, B., Turner, M., Zygmunt, B., Christensen, S., Dale, V., & Graham, R. (1988). Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology* 1 (3), 153-162.

Opdam, P., Verboom, J., Pouwels, R. (2003). Landscape cohesion: an index for the conservation potential of landscapes for biodiversity. *Landscape Ecology* 18, 113–126.

Parques Nacionales Naturales de Colombia.(2012^a). “Instructivo metodológico para ejecutar indicadores de estado de conservación, ArcGIS – Fragstats”. Ciontescu N. Grupo de Planeación y Manejo –Subdirección Técnica. Sin publicar.

Portillo-Quintero, C.A., Sánchez, A.M., Valbuena, C.A., González, Y.Y., & Larreal, J.T. (2012). Forest cover and deforestation patterns in the Northern Andes (Lake Maracaibo Basin): A synoptic assessment using MODIS and Landsat imagery. *Applied Geography* 35, 152-163.

Reynolds, R.T., Scott, J.M., &Nussbaum, R.A. (1980). A variable circular plot method for estimating bird numbers. *Condor* 82: 309-313

Romero-Ruiz, Flantua, S.G.A., Tansey, K., & Berrío, J.C. (2012). Landscape transformations in savannas of northern South America: Land use/cover changes since 1987 in the Llanos Orientales of Colombia. *Applied Geography* 32, 766-776.

Romero-Ruiz, M., Maldonado-Ocampo, J. A., Bogotá-Gregory, J. D., Usma, J. S., Umaña-Villaveces, A. M., Murillo, J. I., et al. (2009). Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2007e2008: piedemonte orinoquense, sabanas y bosques asociados al norte del río Guaviare. Bogotá D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Sudhakar Reddy, C., Sreelekshmi, S., Jha, C.S., & Dadhwal, V.K. (2013). National assessment of forest fragmentation in India: Landscape indices as measures of the effects of fragmentation and forest cover change. *Ecological Engineering* 60, 453-464.

Tovar, C., Seijmonsbergenb, A.C., &Duivenvoorden J.F. (2013). Monitoring land use and land cover change in mountain regions: An example in the Jalca grasslands of the Peruvian Andes. *Landscape and Urban Planning* 112, 40–49.

Tucker, C. J., & Townshend, J. R. G. (2000). Strategies for monitoring tropical deforestation using satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6-7), 1461-1471.

Turner, M., Gardner, R. (1990). *Quantitative Methods in Landscape Ecology. Analysis and interpretation of Landscape Heterogeneity*. Vol. 82. Springer –Verlag.

Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales - UAESPNN. (2011). *Estructura ecológica y áreas protegidas: metodología para identificar áreas protegidas como elementos incluyentes dentro de la estructura ecológica*. Ciontescu, N. Grupo de Planeación y Manejo –Subdirección Técnica. Parques Nacionales Naturales. Bogotá.

Villota, H. (1992). *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras*. IGAC, Bogotá, p. 258.

Washburger, T., Romero, M., Rosas, M.L., Hurtado, A., & Gómez, L.F. (2006). *Análisis Ecorregional Chocó (Documento preliminar)*. World Wildlife Fund Colombia, Santafé de Bogotá.

Wilson, K., Pressey, R.L., Newton, A., Burgman, M., Possingham, H., & Weston, C. (2005). *Measuring and incorporating vulnerability into conservation planning*. *Environmental Management*, in press.

Zonneveld, I.S. (1979). *Landscape ecology and its applications*. *Landscape Ecology and Management*. Polyscience Publications Inc., Montreal, Canada.