

**ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAISAJE EN LA VEREDA RUBIALES DE
PUERTO GAITÁN (META), MEDIANTE EL TRATAMIENTO VISUAL Y DIGITAL
DE IMÁGENES SATELITALES**

FELIX ANDRES ALVAREZ TORRES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2014

**ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAISAJE EN LA VEREDA RUBIALES DE
PUERTO GAITÁN (META), MEDIANTE EL TRATAMIENTO VISUAL Y DIGITAL
DE IMÁGENES SATELITALES**

FELIX ANDRES ALVAREZ TORRES

Trabajo de Grado para optar al título de Biólogo

DIRECTOR

VÍCTOR HUGO SERRANO CARDOZO

DOCTOR EN CIENCIAS DE LA BIOLOGÍA UNAM

PROFESOR TITULAR

ESCUELA DE BIOLOGÍA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE BIOLOGÍA

BUCARAMANGA

2014

AGRADECIMIENTOS

A la compañía System Integral Group por darme la oportunidad de trabajar en sus instalaciones y por la financiación de este proyecto; a Pacific Rubiales Energy por el apoyo logístico en campo; a la Universidad Industrial de Santander por los conocimientos adquiridos durante mi carrera. A mi hermana Lucy Milena, quien ha sido mi apoyo incondicional en todo momento; a la ingeniera Ivonne Cano gerente AFA de la compañía System Integral Group, quien me brindó esta gran oportunidad y creyó en mí; al ingeniero Luis Pulido, por sus enseñanzas sobre cartografía y su presencia durante todo el proceso; al profesor Víctor Hugo Serrano a quien debo múltiples conocimientos y particularmente a Catalina Rivera por acompañarme en todo momento. Por último, un agradecimiento enorme a mis padres, quienes hicieron los esfuerzos más importantes para cumplir esta meta.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. COMPETENCIAS	15
2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	17
2.1 CORINE LAND COVER	19
2.2 MÉTRICAS DEL PAISAJE	20
3. ÁREA DE ESTUDIO	23
3.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS DE LA ZONA	24
3.2 CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO VICHADA	25
3.3 ASPECTOS CLIMÁTICOS	25
3.3.1 Precipitación.	26
3.3.2 Temperatura.	26
3.3.3 Zonificación de climas.	26
4. MATERIALES Y MÉTODOS	29
4.1 ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN	30
4.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	33
4.3 CORRECCIÓN GEOMÉTRICA	34
4.4 CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA	34
4.5 CLASIFICACIÓN DE LA IMAGEN SATELITAL	35
4.6 PUNTOS DE MUESTREO (SALIDA DE CAMPO)	36
4.7 COBERTURAS DE LA TIERRA PRESENTES EN LA ZONA:	38
4.7.1 Ríos.	38

4.7.2 Lagunas	39
4.7.3 Bosque de galería.	40
4.7.4 Cultivos permanentes.	41
4.7.5 Herbazal denso de tierra firme no arbolado.	43
4.7.6 Zonas industriales.	44
4.7.7 Aeropuerto.	45
4.7.8 Zonas quemadas.	47
4.8 VECTORIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN	48
4.9 CÁLCULO DE LAS MÉTRICAS DEL PAISAJE	49
4.9.1 Diversidad de Shannon (DS):	49
4.9.2 Tamaño promedio del fragmento (MPS):	50
4.9.3 Densidad de borde	50
4.9.4 Dimensión fractal:	50
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
5.1 DISTRIBUCIÓN Y EXTENSIÓN DE LA COBERTURA EN EL AÑO 1988	52
5.2 DIVERSIDAD DEL PAISAJE	54
5.3 FORMA DEL PAISAJE	55
5.4 DENSIDAD DE BORDES	56
5.5 DISTRIBUCIÓN Y EXTENSIÓN DE LA COBERTURA EN EL AÑO 2013	58
5.6 DIVERSIDAD DEL PAISAJE	62
5.7 FORMA DEL PAISAJE	62
5.8 DENSIDAD DE BORDES	63
5.9 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS AÑOS 1988 Y 2013	64
5.10 MATRIZ DE CAMBIO PARA EL ANÁLISIS MULTITEMPORAL	69
6. CONCLUSIONES	75
7. RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	78

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del municipio de Puerto Gaitán, departamento del Meta en el contexto nacional.	27
Figura 2. Ubicación de Campo Rubiales en el municipio de Puerto Gaitán.	28
Figura 3. Metodología general del desarrollo del proyecto.	30
Figura 4. Diferentes imágenes de las coberturas visitadas en campo.	37
Figura 5. Fotografía del Caño Rubiales.	38
Figura 6. Río observado en la imagen LandSat 8, correspondiente a la combinación de bandas RGB 564.	38
Figura 7. Río observado en la imagen satelital GEOEYE.	39
Figura 8. Fotografía correspondiente a una laguna ubicada en Campo Rubiales.	39
Figura 9. Laguna observada en la imagen LandSat 5TM, correspondiente a la combinación de bandas RGB 543.	40
Figura 10. Laguna observada en la imagen satelital GEOEYE.	40
Figura 11. Fotografía de un bosque de galería en la zona de estudio.	41
Figura 12. Bosque de galería observado en la imagen LandSat 8, correspondiente a la combinación de bandas RGB 564.	41
Figura 13. Bosque de galería observado en la imagen satelital GEOEYE.	41
Figura 14. Fotografía de un cultivo permanente correspondiente a palma de aceite en la zona de estudio.	42
Figura 15. Cultivo agroforestal permanente observado en la imagen LandSat 8, correspondiente a la combinación de bandas RGB 564.	42
Figura 16 Cultivo agroforestal permanente observado en la imagen satelital GEOEYE.	43

Figura 17. Fotografía de un herbazal denso de tierra firme no arbolado en la zona de estudio.	43
Figura 18. Herbazal denso de tierra firme no arbolado observado en la imagen LandSat 8, correspondiente a la combinación de bandas RGB 564.	44
Figura 19. Herbazal denso de tierra firma observado en la imagen satelital GEOEYE.	44
Figura 20. Fotografía zonas industriales en el territorio estudiado.	45
Figura 21. Zonas industriales observadas en la imagen LandSat 8, correspondiente a la combinación de bandas RGB 564.	45
Figura 22. Zonas industriales observadas en la imagen satelital GEOEYE.	45
Figura 23. Fotografía del aeropuerto Morelia en el territorio estudiado.	46
Figura 24. Aeropuerto observado en la imagen LandSat 5 TM, correspondiente a la combinación de bandas RGB 453.	46
Figura 25. Aeropuerto observado en la imagen satelital GEOEYE.	47
Figura 26. Fotografía de zonas quemadas en el área de estudio.	47
Figura 27. Zonas quemadas observadas en la imagen LandSat 8, correspondiente a la combinación de bandas RGB 564.	48
Figura 28. Zonas quemadas observadas en la imagen satelital GEOEYE.	48
Figura 29. Salida gráfica que muestra la distribución de las coberturas para el año 1988 en Campo Rubiales.	52
Figura 30. Porcentaje de coberturas para el año 1988 en Campo Rubiales.	53
Figura 31. Desarrollo de los bosques de galería con respecto al Caño Rubiales.	57
Figura 32. Salida grafica que muestra la distribución de las coberturas de Campo Rubiales para el año 2013.	60
Figura 33. Porcentaje de coberturas de Campo Rubiales para el año 2013.	61
Figura 34. Cambios en el paisaje durante los años 1988 y 2013.	74
Figura 35. Porcentajes de cambio en las coberturas de Campo Rubiales entre los años 1988 y 2013.	74

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas geográficas y planas del polígono de área de estudio.	24
Tabla 2. Aspectos físicos de la zona de estudio.	27
Tabla 3. Propiedades de las imágenes LandSat utilizadas en el proyecto.	32
Tabla 4. Valores del área, número de parches y tamaño medio del parche perteneciente a la imagen del año 1988 para Campo Rubiales.	53
Tabla 5. Diferentes clases de coberturas presentes en el área con el valor de dimensión fractal media e índice de forma para el año 1988.	56
Tabla 6. Densidad de borde media para las clases de coberturas presentes en la zona en el año 1988.	57
Tabla 7. Valores de área, número de parches y tamaño medio del parche perteneciente a la imagen del año 2013.	59
Tabla 8. Las diferentes clases de coberturas presentes en el área con el valor de dimensión fractal media y el índice de forma para el año 2013.	63
Tabla 9. Densidad de borde para las clases de coberturas presentes en la zona para el año 2013.	64
Tabla 10. Consolidado de valores de área y parches para los años 1988 y 2013.	65
Tabla 11. Matriz de cambios que muestra la variación de las coberturas del paisaje en los años 1988 y 2013.	67

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAISAJE EN LA VEREDA RUBIALES DE PUERTO GAITÁN (META), MEDIANTE EL TRATAMIENTO VISUAL Y DIGITAL DE IMÁGENES SATELITALES*

AUTOR: FELIX ANDRES ALVAREZ TORRES**

PALABRAS CLAVE: ecología del paisaje, análisis multitemporal, diversidad.

La clasificación del paisaje por medio de imágenes obtenidas a través de sensores remotos es importante para el análisis del paisaje, a partir de la distribución, el patrón, la regularidad y la textura de una porción de imagen se infiere un determinado tipo de cobertura que conforma un ecosistema y que permite la interacción de elementos bióticos y abióticos, que definen los hábitats, esto con una perspectiva amplia que permite no solo inferir determinado tipo de cobertura sino lograr un nivel de análisis y asociación de un parche de vegetación con respecto al área objeto de estudio.

Se clasificaron y cuantificaron las coberturas del paisaje presentes en el área de influencia del complejo petrolero campo Rubiales, ubicado en el municipio de Puerto Gaitán, en el departamento del Meta. Los resultados se determinaron con técnicas de procesamiento visual y digital de imágenes satelitales (LandSat). El análisis multitemporal permitió identificar los cambios ocurridos en el paisaje durante los últimos 25 años. En el año 1988 se presentan las siguientes coberturas: el herbazal denso de tierra firme no arbolado, el bosque de galería, las zonas quemadas, los ríos y las lagunas. Para el año 2013 se registran tres nuevas coberturas, adicionales a las presentes en 1988 las cuales son: cultivos permanentes, zonas industriales, y el aeropuerto. La zona de estudio tiene un área de 61082 ha aproximadamente.

Se presenta un aumento en la diversidad del paisaje de 0.802 en 1988 a 1.054 en el año 2013, el herbazal denso de tierra firme no arbolado presentó el mayor número de parches; los bosques de galería con el paso del tiempo aumentaron su cobertura, mientras que los cuerpos de agua disminuyeron; el resultado más relevante ecológicamente es la disminución de las zonas de quemadas, las cuales se redujeron un 7% durante los 25 años.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Director: Víctor Hugo Serrano Cardozo, Doctor en Ciencias de la Biología

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF LANDSCAPE STRUCTURE IN THE VEREDA RUBIALES IN PUERTO GAITÁN (META), THROUGH THE VISUAL AND DIGITAL SATELLITE IMAGE PROCESSING*.

AUTHOR: FELIX ANDRES ALVAREZ TORRES**

KEY WORDS: Landscape ecology, multitemporal analysis, diversity.

The classification of landscape through images obtained using remote sensors is important for landscape analysis itself. Based on the distribution, pattern, regularity and texture of a portion of an image, it is possible to infer a determined cover pattern that conforms an ecosystem and enables the interaction of biotic and abiotic elements that define habitats. Combined with a broad perspective that allows not only to infer a certain type of coverage but also achieve a level of analysis and association of a vegetation patch with respect to the area of study .

The landscape covers present in the area of influence of the Rubiales oil field complex , located in the department of Meta municipality of Puerto Gaitan, were classified and quantified. The results were determined by visual and digital processing techniques of satellite images (LandSat). The multitemporal analysis allowed to identify the changes occurred in the landscape over the past 25 years. In 1988 the following covers were presented: Dense treeless grassland terrain, gallery forest, burned areas, rivers and lagoons. In 2013 three new covers are registered in addition to those present in 1988, these are permanent crops, industrial areas and the airport The study area has an area of approximately 61082 ha.

It is shown an increase in the diverse landscape of 0.802 in 1988 to 1054 in 2013. The dense treeless grassland terrain had the highest number of patches; gallery forests over time increased their cover while the water bodies decreased. The most relevant result ecologically speaking is the decreasing of burned areas, which were reduced by 7% over 25 years.

* Bachelor Thesis

** Science Faculty. Biology program. Director: Víctor Hugo Serrano Cardozo, Doctor en Ciencias de la Biología

INTRODUCCIÓN

La ecología del paisaje es el estudio de la composición, estructura y función de los paisajes. Aunque hay miles de maneras de definir el "paisaje" dependiendo del fenómeno en cuestión, se puede decir, que el paisaje no está solamente definido por su tamaño, sino que se define de acuerdo a un mosaico de interacción de elementos, por ejemplo ecosistemas de interés para un fenómeno considerado a cualquier escala. Por lo tanto, un paisaje es simplemente un área de terreno (a cualquier escala) que contiene un patrón interesante que afecta y se ve afectado por un proceso ecológico de interés. La ecología del paisaje, entonces, implica el estudio de los patrones de paisaje, las interacciones entre los elementos de este modelo, y cómo estos patrones e interacciones cambian con el tiempo. Además, consiste en la aplicación de estos principios en la formulación y resolución de problemas en la vida real (Turner et al., 2001).

La alteración de los ecosistemas de sabanas naturales por intensificación de su uso o cambio de destinación (transformación pastoreo-agricultura) trae consigo una serie de modificaciones de los factores bióticos y abióticos que conforman el medio natural, algunos de los cuales pueden atentar contra la calidad y los recursos de la naturaleza. Por tal razón es necesario conocer el aspecto físico y atender el funcionamiento y las interrelaciones de sus componentes como requisitos previos a cualquier asentamiento humano o a la ejecución de los proyectos de desarrollo agropecuario, esto particularmente válido en el caso de la Orinoquía cuya naturaleza y características la diferencian sustancialmente de la región Andina o de las áreas costeras, territorios largamente habitados y utilizados por poblaciones colombianas y por lo tanto mejor estudiados (Riveros, 1983).

Por medio de observaciones visuales en la zona, podemos considerar que la estructura del paisaje tiene una alta heterogeneidad, a causa de las perturbaciones humanas. Sin embargo la ausencia de estudios relacionados con la ecología del paisaje en la vereda Rubiales, es una limitante al tratar de realizar otras investigaciones como inventarios florísticos y faunísticos, desarrollo de metodologías para reforestación, estudios de conectividad, fragmentación, obras de desarrollo urbano y agroindustriales, estructurar el paisaje, reconocer las diferentes coberturas que integran el paisaje y caracterizar dichas coberturas, entre otras (observación. personal.).

La visión e interpretación del paisaje desarrollada desde la ecología del paisaje se fundamenta en una aproximación de carácter estructural, morfológica y a la vez funcional. Es decir, se analizan las características estructurales y morfológicas que componen un territorio en un momento determinado y/o su evolución a lo largo del tiempo, infiriendo a la vez en su incidencia a nivel de funcionalidad ecológica. Por lo tanto, se puede concluir que la ecología del paisaje focaliza su atención en tres características: la estructura, la funcionalidad y el cambio (Forman & Godron, 1986).

1. COMPETENCIAS

Se realizó el manejo de la cartografía básica y la generación de cartografía temática asociada a la ecología del paisaje en el área de estudio.

Se adquirieron imágenes satelitales de la vereda Rubiales, escogiendo las mejores imágenes LandSat que cumplieran con los parámetros necesarios en éste análisis en cuanto a nubosidad, temporalidad y calidad de la imagen.

Se obtuvo un producto cartográfico a escala 1:50.000 asegurando la calidad posicional, la variación temporal de la cobertura vegetal. Se analizaron las diferentes combinaciones de bandas RGB y se realizaron interpretaciones preliminares de las imágenes LandSat en formato digital.

Se identificó, diferenció y clasificó las principales coberturas del área de estudio. Se realizó el inventario de coberturas de la tierra aplicando la metodología de clasificación de coberturas propuesto por Corine Land Cover, en el cual, las clases de coberturas se definen en un orden jerárquico lógico; limitando primero grandes grupos de coberturas y luego diseñando tipos más detallados derivados de los más grandes, permitiendo el uso de clasificaciones más definidas y apropiadas para el área de estudio. El manejo, procesamiento e interpretación se realizó con software avanzados como ERDAS IMAGINE (INTERGRAPH, 2011), ArcGIS (Esri, 2012), V-LATE - Vector-based Landscape Analysis Tools Extensión (Lang & Tiede, 2003), para el procesamiento digital de imágenes.

Se realizaron diferentes técnicas de realce y mejoras visuales para facilitar el análisis visual de imágenes satelitales; inicialmente se trabajó con el software ERDAS IMAGINE (INTERGRAPH, 2011), el cual cuenta con módulos

especializados para el realce, mejoramiento de imágenes, combinación de bandas espectrales de la imagen LandSat y clasificación de las coberturas presentes; posteriormente se utilizó el software ArcGIS (Esri, 2012), el cual permite digitalizar la información de tipo vectorial y generar productos cartográficos temáticos.

Se realizaron diferentes cálculos asociados a la métrica del paisaje, se interpretaron los resultados obtenidos y se definió la condición del paisaje en la zona de estudio.

Finalmente, el análisis visual de imágenes satelitales se realizó teniendo en cuenta distintos criterios: criterio espectral (color, tono), criterio espacial simple (forma, diseño, tamaño y textura), criterio espacial complejo (sombra y asociación), criterio temporal (fenología) con los cuales se definieron conceptos de métricas del paisaje como: 1) métricas de área: área de cada tipo de cobertura, porcentaje de paisaje, tamaño promedio del parche; 2) medidas de la configuración espacial: número total de parches para cada tipo de cobertura e índice de diversidad de Shannon para las coberturas y 3) métricas de complejidad de los parches: dimensión fractal y densidad de bordes.

2. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

A mediados de los años 80s se introdujo el estudio de la ecología del paisaje como ciencia síntesis de los procesos ecológicos vistos en un ámbito espacial y geográfico. Si bien el análisis fisiográfico realiza un énfasis en la geomorfología y los suelos, la ecología del paisaje lo realiza en la cobertura vegetal como síntesis de los factores físicos y bióticos que interactúan en los ecosistemas. Esta ciencia logra reunir los aspectos biológicos (normalmente puntuales) con los estudios geográficos (espaciales), con el fin de realizar una expresión espacial, funcional y temporal de la dinámica de los ecosistemas (Correa *et al.*, 2005).

En el país se han adelantado estudios integrales de gran importancia utilizando la ecología del paisaje. En 1997 el I.A.v.H., en el Informe Nacional sobre Biodiversidad, aborda el concepto de ecosistema, el cual implica una unidad funcional materializada en un territorio, y es aplicable a diferentes niveles de resolución. Presenta una homogeneidad en sus condiciones biofísicas y antrópicas en una porción del espacio geográfico definido, que se visualiza en la confluencia de una asociación de clima, geoformas, sustratos, comunidades bióticas y usos antrópicos específicos (Correa *et al.*, 2005).

Un ecosistema lleva implícita la dimensión espacial y por lo tanto la diversidad de ecosistemas identificables en un territorio, depende de la escala espacial que se analice. Entre más general sea la aproximación al análisis o menor la escala, menor la cantidad de ecosistemas identificables y mayor su nivel de complejidad. De esta manera, este concepto es aplicable en el desarrollo del mapa general de ecosistemas de Colombia y en el proyecto “Biodiversidad y Desarrollo en Ecorregiones Estratégicas de Colombia – Orinoquía” (Correa *et al.*, 2005).

De acuerdo con este marco de referencia, el desarrollo del estudio de los ecosistemas de la Orinoquía se estructura con los componentes bióticos, abióticos y antrópicos como ejes fundamentales en la delimitación, caracterización y espacialización (mapeo) de los ecosistemas, donde se consideran los aspectos dinámicos por medio de medidas de heterogeneidad espacio/temporal (Correa *et al.*, 2005).

En el “Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2007-2008: piedemonte orinoquense, sabanas y bosques asociados al norte del río Guaviare”, se realiza una clasificación por biomas a escala 1:100.000, en la cual se describe un total de seis biomas y 29 ecosistemas. El peinobioma de la Amazonia y Orinoquía presentó el mayor porcentaje en superficie (50,3%), seguido por el helobioma de la Amazonia y Orinoquía con un 29,9% y el zonobioma húmedo tropical (ZHT) de la Amazonia y Orinoquía con un 15,0%. Los otros tres biomas mostraron superficies inferiores al 3%. El análisis basado en el mapa regional del año 2000 mostró que el 76,5% (16.859.264 ha) del área de estudio se encontraba representado por coberturas naturales y el 24,5% (5.166.944 ha) por coberturas antrópicas (Romero *et al.*, 2009).

La zona de estudio incluye en su interior tres grandes biomas y seis biomas que corresponden a la totalidad del bioma de los Llanos Orientales, parcialmente los bosques del orobioma bajo y medio de los Andes y el zonobioma húmedo tropical de la Amazonia-Orinoquía. El gran bioma de los Llanos Orientales cubre el 74,4% del área de estudio, e incluye los helobiomas, peinobiomas y litobiomas. Estos presentan en su interior una composición de ecosistemas que va desde sabanas abiertas con pastos altos, árboles o arbustos dispersos y bosques de galería; zonas arboladas rodeadas de áreas de sabana, hasta agrupaciones de zonas pantanosas con vegetación herbácea y arbustiva y algunos afloramientos rocosos (Romero *et al.*, 2009).

En el estudio de Fernández (2005) se realiza una clasificación y un análisis multitemporal en los años 1969, 1986 y 2003 en el que se registran los cambios de cobertura y la cuantificación de estos cambios a través del tiempo, resaltando el cambio que se realiza en el paisaje natural debido a la cantidad de cultivos como el café (Fernández, 2005).

2.1 CORINE LAND COVER

En Colombia existen actualmente múltiples metodologías y sistemas de clasificación para levantar información de las coberturas de la tierra. El proyecto “Corine Land Cover (CLC) Colombia” se propuso estandarizar un sistema de clasificación, con categorías jerárquicas definidas de acuerdo con la información que pueden proporcionar las imágenes de satélite LandSat TM, conforme con las condiciones locales del territorio nacional. La adaptación y validación de la metodología CLC permitirá comparar estadísticas de ocupación de la tierra, crear líneas de comunicación entre las diferentes instituciones que adopten el sistema, así como facilitar la homologación de información (IDEAM *et al.*, 2008).

Las principales ventajas de la metodología Corine Land Cover son las siguientes:

- Permite obtener una capa de cobertura de la tierra de una manera relativamente rápida y sencilla, teniendo una de las mejores relaciones calidad-costos existente.
- Su aplicación permite la comparación de datos y porcentajes de uso y ocupación del territorio entre los países europeos y aquellos de América del Sur que lo adopten.
- Permite hacer análisis multitemporales de ocupación del territorio de una manera relativamente sencilla y rápida (IDEAM *et al.*, 2008).

La zonificación de 27'119.383 hectáreas en la cuenca Magdalena-Cauca de las coberturas de la tierra, utilizando la metodología Corine Land Cover, permitió concluir que en la cuenca predominan las coberturas denominadas territorios agrícolas, los cuales constituyen el 58.20% de la cuenca. La segunda unidad de mayor extensión está representada por las áreas cubiertas por bosques y áreas seminaturales, que comprenden el 28.71% del área evaluada. Mientras los territorios artificializados un 0.85%, las áreas húmedas un 2.75% y las superficies de agua un 2.57%. Los territorios clasificados como bosques y áreas seminaturales, comprenden aproximadamente la cuarta parte de la extensión de la cuenca Magdalena-Cauca (28,71%), los cuales casi totalmente están compuestos por coberturas de bosque (49,77%) y áreas con vegetación herbácea y arbustiva (47,60%) (IDEAM *et al.*, 2008).

2.2 MÉTRICAS DEL PAISAJE

En un estudio de la estructura del paisaje adelantado por Correa (2005) en el área metropolitana de Buenos Aires, Argentina, el autor analizó visual y digitalmente imágenes satelitales, aplicando diversas métricas de la ecología del paisaje como métricas de área, configuración espacial y complejidad de formas. La zona estudiada presentó un valor alto de diversidad del paisaje y un valor bajo de dimensión fractal indicando que el paisaje presenta alta intervención y homogenización por acciones antrópicas.

En la evaluación de deforestación, con base en imágenes satelitales, composición y configuración del paisaje en la cuenca alta y media del río Cravo Sur, Cubides y Daza (2008) determinaron que esta es una zona del departamento de Boyacá con una gran incidencia de cultivos. Los autores llegaron a esta conclusión gracias al procesamiento de dos imágenes satelitales de la zona correspondientes al sensor LandSat 5 en los años 1989 y 2001, en las cuales se clasificaron seis coberturas

con la metodología Corine Land Cover, se cuantificó el área de las clases o coberturas, se determinó la diversidad del paisaje, la forma media de los parches y el tamaño medio de los parches. Estos cálculos se realizaron en cada una de las imágenes para luego contrastar los resultados en un análisis multitemporal.

El uso de técnicas de percepción remota es muy importante para generar información de las riquezas naturales, potenciales usos de las diferentes clases de coberturas presentes en el paisaje, generar modelos ambientales y socioeconómicos sostenibles, ya que por medio del procesamiento de imágenes captadas por sensores remotos, se tiene la información global de la zona para realizar estas actividades (Lozano & García-Valencia, 2001).

En Colombia, el uso de la ecología del paisaje es muy importante para estudiar las zonas de manera preliminar y establecer líneas base que beneficien los proyectos ambientales que pretendan realizarse en una zona específica, ya que pueden establecerse puntos estratégicos de muestreo para una especie que tenga determinados requerimientos de hábitat, lo cual disminuirá la inversión económica en las salidas de campo, aumentará la planificación y sobre todo, se podrá disminuir el tiempo que se invierte en reconocimientos preliminares de la zona (Moreira, 1996).

Las principales autoridades ambientales y afines a este tema, tales como Parques Nacionales Naturales de Colombia, las Corporaciones Regionales, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, utilizan estas técnicas constantemente para actualizar la cartografía temática del territorio. Gracias a estas actualizaciones se genera la base de datos ambientales que manejan las instituciones anteriormente nombradas (obs. pers.).

En el departamento del Meta se han realizado algunos estudios con relación al tema; por ejemplo la planificación del uso de la tierra en los Llanos Orientales colombianos, basado en unidades de paisajes. En un Estudio de caso llevado a cabo en el municipio de Puerto López-Meta, se establecieron criterios y recomendaciones para apoyar el proceso de planificación del uso de la tierra en el agroecosistema de sabanas del municipio de Puerto López, a partir del análisis y correlación de las características del paisaje y los suelos (Rodríguez et al., 2011).

3. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a los bloques Rubiales y Piriri establecidos en el marco de la asociación con Ecopetrol, estos dos bloques operados por la empresa Meta Petroleum Corp -PACIFIC RUBIALES ENERGY, tienen forma de corazón y se conoce el área como Campo Rubiales (Figura 2), con una extensión de 61082 ha. Es un espacio geográfico caracterizado por su gran extensión de llanuras.

Estos Bloques se encuentran ubicados en el municipio de Puerto Gaitán (Figura 1) en el departamento del Meta (Tabla 1). El acceso a ellos generalmente se realiza vía aérea aterrizando en el aeropuerto ubicado dentro de Campo Rubiales; sin embargo la maquinaria e insumos se movilizan vía terrestre 140 kilómetros a partir de la cabecera municipal de Puerto Gaitán en una vía en condiciones regulares, existiendo vías alternas de acceso pero que no cuentan con la suficiente seguridad para el tránsito por ellas.

Campo Rubiales se encuentra en la cuenca del Río Vichada, aportando el recurso hídrico por el afluente de Caño Rubiales que se forma en la parte Norte y el Río Tillavá que atraviesa la parte Sur del campo. La geología de la zona es del cuaternario, caracterizado por cuarzoarenitas de color blanco y granulometría gruesa a media con espesores que alcanzan los 30m, con presencia ocasional de arcillas tanto en la superficie como en ciertas profundidades y en algunas partes aparecen capas de gravas cuarzosas (IGAC, 2004). Los suelos son aptos en las sabanas para el manejo silvopastoril, las áreas bajas cerca a los drenajes existentes son propicios para la ganadería semi-intensiva con pastos manejados; los bosques de galería y morichales se prestan para la conservación ecosistémica y la zoocultura mixta. La zona presenta un relieve colinado–alomado, estructural y fluvio-erosional (Tabla 2) con pendientes entre 25% y 50% de laderas medias,

cimas agudas y redondeadas, erosión laminar en arcos, pata de vaca y terracetas (IGAC, 2004).

Tabla 1. Coordenadas geográficas y planas del polígono de área de estudio.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS			
Sur	Norte	Oriente	Occidente
Latitud	Latitud	Longitud	Longitud
3°40'23.051"Norte	3°54'58.905"Norte	71°18'33.01" Oeste	71°35'14.327" Oeste
COORDENADAS PLANAS PROYECTADAS (DATUM MAGNA- ORIGEN ESTE)			
Sur	Norte	Oriente	Occidente
Norte (m)	Norte (m)	Este (m)	Este (m)
897797	924891	974299	943366

3.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS DE LA ZONA

En lo que geomorfológicamente se conoce como altillanura disectada al oriente del departamento del Meta, se encuentran materiales cuya dinámica corresponde al período Terciario y que son básicamente arcillolitas, y en algunos sectores arenas de naturaleza eólica, que han dado origen a suelos actualmente muy evolucionados (principalmente de los órdenes Oxisol y Ultisol).

Cuaternario aluvial (Qa). Terrazas: arenas amarillas y gravas cementadas por hierro secundario. Sucesión granodecreciente, con alto componente de arena gruesa. Los materiales más frecuentes son el cuarzo y chert. Se presentan líticas de ígneas y metamórficas. En la fracción arcillosa, la caolinita es un componente importante.

Cobertura arenosa al borde del escudo (TQ): Cuarzo arenitas de color blanco y granulometría gruesa a media con espesores que alcanzan más de 30m, presencia ocasional de estratos arcillosos tanto en superficie como a ciertas

profundidades y en algunas partes aparecen capas de gravas cuarzosas (Herrera, 2009).

3.2 CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO VICHADA

Formada por las cuencas de los Ríos Tillavá, Guarrojo y Muco. El Río Tillavá recorre el municipio de Puerto Gaitán de suroeste a sureste. Unido al Río Planas forman el Río Vichada. El Río Guarrojo también recorre el municipio de Puerto Gaitán y territorio del departamento del Vichada, desembocando en el Río Vichada. El Río Muco baña los municipios de Puerto Gaitán y La Primavera, en los departamentos del Meta y Vichada, desembocando en el Río Vichada. (Herrera, 2009).

3.3 ASPECTOS CLIMÁTICOS

Por su ubicación en la zona tropical, el territorio del municipio de Puerto Gaitán está bajo la influencia del desplazamiento de la Zona de Confluencia InterTropical o ZCIT. Las precipitaciones oscilan entre 2.000 y 2.700 mm aproximadamente. Entre diciembre y marzo se presenta el período más seco, debido a que los vientos Alisios del noreste son los dominantes en esta época del año y desplazan hacia el sur la ZCIT (Herrera, 2009).

De acuerdo con la variación de altura que hay en el Municipio, el 100% de su superficie está en el piso climático cálido. El municipio de Puerto Gaitán presenta una altura de 149 metros sobre el nivel del mar. De acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen y Geiger, el clima de la altillanura en la Orinoquía Colombiana corresponde al cálido de sabana (Herrera, 2009).

3.3.1 Precipitación. El régimen pluviométrico del área es de tipo monomodal, con un período de lluvias máximas a mediados del año (mayo y junio), seguido de uno de menores lluvias a finales y a comienzos de año (diciembre a marzo).

En el área, las precipitaciones son de carácter convectivo (confluencia de direcciones de vientos en la componente vertical), por la ausencia de relieve montañoso (Herrera, 2009).

3.3.2 Temperatura. El Municipio se encuentra en un piso térmico cálido, con alturas inferiores a los 1.000m y temperaturas medias superiores a los 24°C.

Las variaciones anuales de temperatura son mínimas, es decir, la temperatura es constante durante casi todo el año. A pesar de ello, las oscilaciones diarias son amplias. Las temperaturas máximas registradas en la zona alcanzan los 34°C y las mínimas, 18°C. Las mayores variaciones de temperatura coinciden con los períodos de mayores y menores precipitaciones; las máximas coinciden con las épocas de menores lluvias cuando la cobertura de las nubes no es extensa. El comportamiento más regular de la temperatura, por su parte, coincide con los períodos lluviosos (Herrera, 2009).

3.3.3 Zonificación de climas. Clima Húmedo B3: Con factores de humedad entre 61 y 80, precipitaciones entre 2.600 mm y 1.800 mm, temperaturas entre 26,0° y 26,2°C, presenta déficit de agua en enero y febrero y excesos de agua entre abril y octubre. Esta franja va en sentido sur-norte, cubriendo gran parte del municipio de Puerto Gaitán (Herrera, 2009).

Tabla 2. Aspectos físicos de la zona de estudio.

GEOESTRUCTURA
Megacuena de sedimentación de la Orinoquía
AMBIENTE MORFOGENÉTICO
Estructural, fluvio-erosional
Sedimentación aluvial
PAISAJE
Lomas y colinas
Mesas y/o superficies onduladas
Valles aluviales menores
PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS ACTUALES
Escurrimiento difuso y concentrado
Escurrimiento difuso en los planos convexos
Afectados por inundaciones y encharcamientos prolongados

Figura 1. Ubicación del municipio de Puerto Gaitán, departamento del Meta en el contexto nacional.

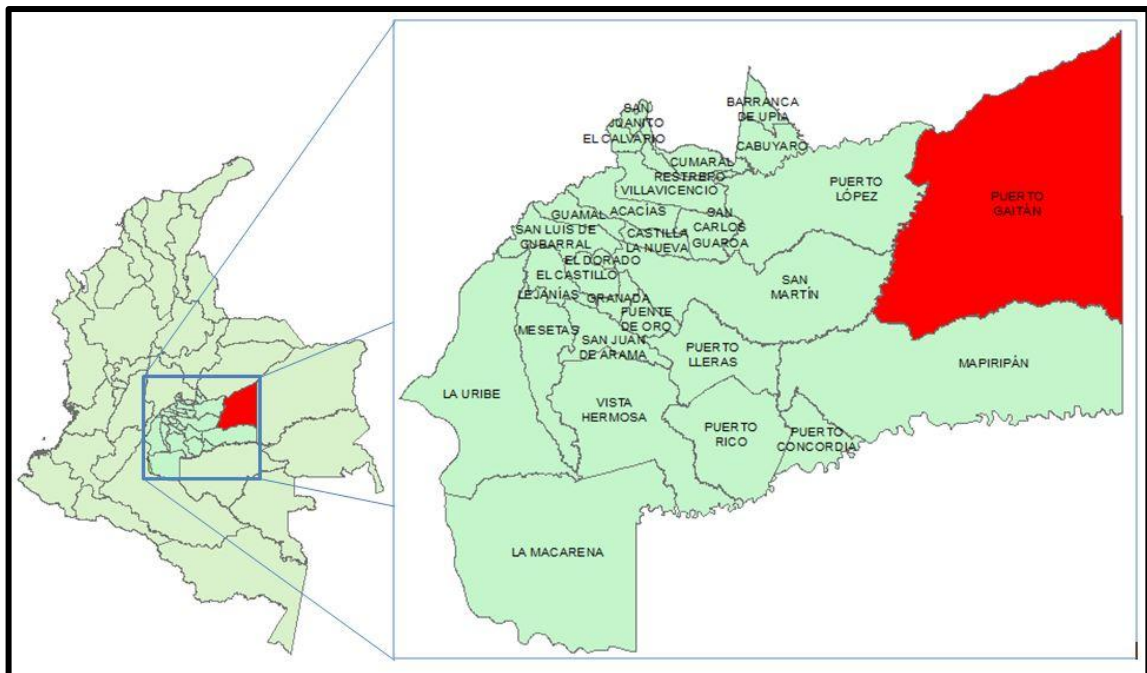
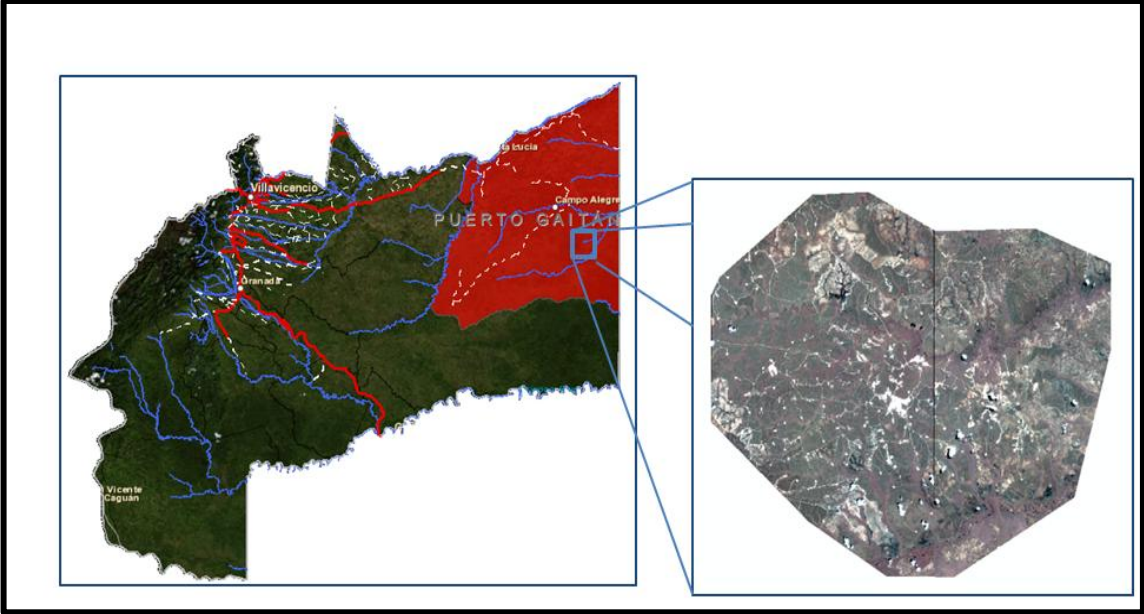


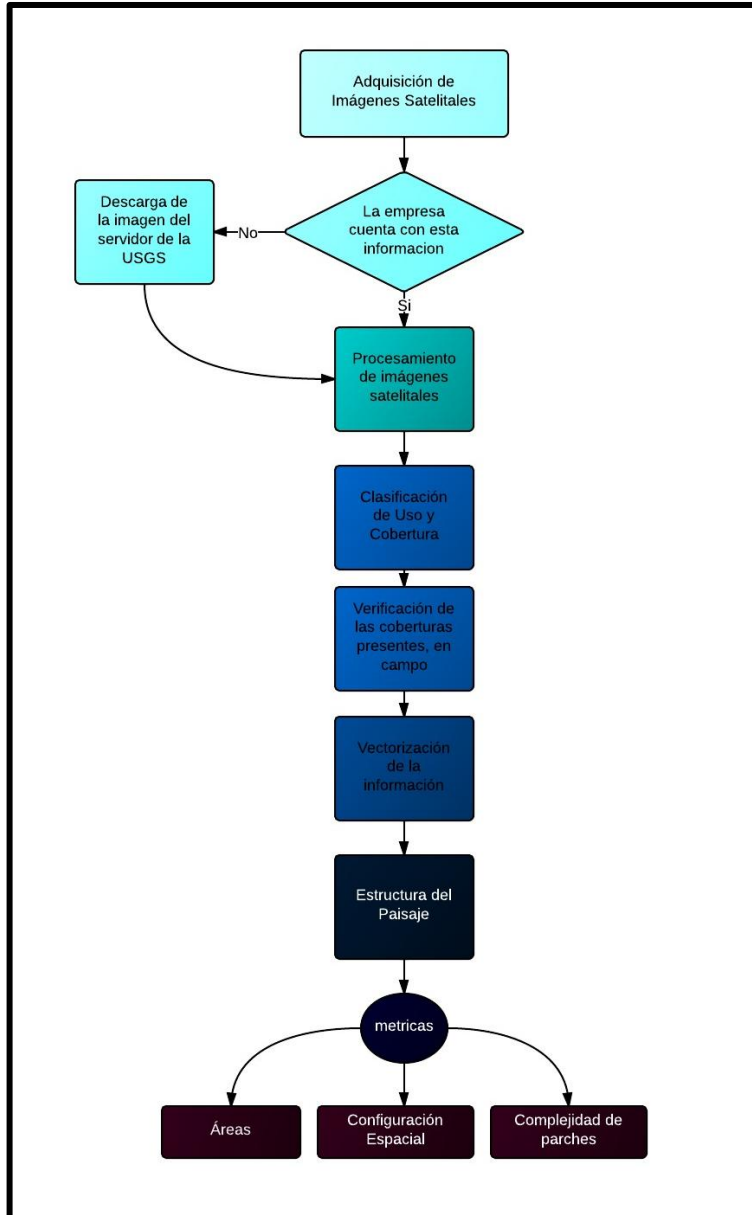
Figura 2. Ubicación de Campo Rubiales en el municipio de Puerto Gaitán.



4. MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos y las técnicas usadas en este estudio se realizaron de acuerdo a los fundamentos de teledetección espacial (Chuvienco, 1990), al manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS Imagine 2011 (IGAC 2012), en los cuales se menciona la metodología para el procesamiento de imágenes, complementado con la asistencia al Taller de Análisis Multitemporal impartido por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el Marco de la Semana Internacional de Geomática 2013. La vectorización de la clasificación supervisada se realizó siguiendo las metodologías sugeridas en la página web de ArcGIS. En términos generales el tratamiento de la información para lograr el análisis multitemporal del paisaje de Campo Rubiales constó de los siguientes pasos (Figura 3).

Figura 3. Metodología general del desarrollo del proyecto.



4.1 ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN

En el momento de seleccionar la mejor imagen satelital para desarrollar proyectos en los cuales se tome ésta como insumo principal, es necesario tener en cuenta

las diferentes variables como la calidad del producto, la variedad de propósitos, la disponibilidad y el costo; una vez efectuado este análisis se optó por seleccionar las imágenes satelitales del sensor LandSat, teniendo en cuenta las siguientes características:

- Resolución espacial: En las imágenes con acceso en el mercado y existentes en bases de datos de empresas privadas y estatales que se pueden comprar, existen imágenes satelitales Ikonos de alta resolución (1 metro), imágenes satelitales rapideye (6.5 metros) o SPOT (15 metros) y LandSat (30 metros espectral y 15 metros en pancromático); este último sensor aunque comparativamente por resolución no se ve como el más ventajoso, para estudios regionales, como el del presente trabajo, es aceptable, puesto que cubre una gran extensión de área, permitiendo generar productos cartográficos a escalas entre 25.000 a 100.000 dependiendo del procesamiento de las imágenes (IGAC, 2012).

- Resolución espectral: El sensor seleccionado, tiene bandas que abarcan desde los 0.45 μm a 2.35 μm , es decir, el sensor captura información tanto en el rango visible, como en el infrarrojo próximo, lejano y en el rango térmico próximo y lejano (IGAC, 2012).

- Resolución radiométrica: La información se entrega como una imagen de 8 bits para el sensor LandSat 4 y de 16 bits para el sensor LandSat 8, esto permite diferenciar 256 y 65536 valores respectivamente, de pixel o niveles digitales, que representan las diferencias en la radiación (IGAC, 2012).

- Resolución temporal: El sensor pasa por una misma zona cada 16 días y las imágenes se ponen al servicio del público casi de manera inmediata, lo que hace del sensor LandSat y su medio de difusión uno de los más efectivos (IGAC, 2012).

- Disponibilidad: El ejercicio de adquirir los mejores productos en el mercado se realizó en empresas privadas, sin embargo, la disponibilidad es muy restringida, las imágenes Quickbird que ofrecían de la zona eran del año 2010 y 2011, aspecto que restringe la capacidad de un análisis del estado actual de una zona, esto sin omitir las cotizaciones a agencias internacionales que venden las imágenes de fechas próximas a un elevado costo y en ambos casos con un porcentaje de nubes grande. Mientras que accediendo a la página web de U.S. Geological Survey, se encuentra un visor geográfico que permite hacer una consulta rápida de todas las imágenes existentes de una zona de estudio, permite tener insumos para estudios multitemporales y permite identificar las características de la imagen como los porcentajes de nubes, la existencia de productos ya ortorrectificados (con correcciones geométricas), entre otras.

- Costo: El costo en empresas nacionales de comercializadoras de imágenes de satélite Quickbird puede encontrarse entre \$20.000 y \$30.000 el kilómetro cuadrado, en caso de solicitar este producto para Campo Rubiales correspondería a un valor de 12 a 18 millones de pesos, lo que se convierte en una restricción para pensar en elaborar un proyecto a escala menor.

Para el presente proyecto se utilizaron como insumo dos imágenes satelitales LandSat, una tomada el 4 de enero de 1988 y la otra tomada el 18 de diciembre de 2013. La Tabla 3 muestra una breve descripción de cada una de ellas.

Tabla 3. Propiedades de las imágenes LandSat utilizadas en el proyecto.

	IMAGEN ANTERIOR	IMÁGEN ACTUAL
Imagen	p006r57_4t19880104	LC80060572013352LGN00
Sensor	LandSat TM 4	LandSat 8
Resolución espacial	30 metros	30 metros
Fecha de toma	4 de enero de 1988	18 de diciembre de 2013

Estas imágenes son el insumo básico para la observación indirecta del territorio y sus características paisajísticas, en un momento dado. En el transcurso del trabajo realizado se logró conseguir una imagen satelital del sensor Geoeye tomada en el año 2011, que permite verificar la calidad de la clasificación obtenida en el estudio, al igual que la planeación de los recorridos en la visita a campo. Las imágenes LandSat fueron obtenidas de forma gratuita en el portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS.

4.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

El procesamiento de la información es el proceso en el cual se toma la información cruda que proporcionan los servidores de USGS y por medio de programas informáticos se construye la imagen en las respectivas bandas que muestran la información capturada en cada rango del espectro electromagnético de interés, para luego realizar las correcciones sugeridas y obtener mayor confiabilidad en los productos generados a partir de esta imagen (IGAC 2012). Existe gran cantidad de programas informáticos que permiten este procesamiento (ILWIS, ArcGIS, PCI GEMATIC, entre otros). Sin embargo, teniendo en cuenta la facilidad en el manejo de los sistemas de referencia, la transferencia de datos y la fácil manipulación, se seleccionó el Software Imagine ERDAS versión 2011, desarrollado por Intergraph, para la composición de las imágenes, el procesamiento, la corrección y el realce de las mismas. Se obtuvo una imagen generada a partir de la clasificación supervisada que el programa logra con un entrenamiento por parte del usuario tomando sitios de muestreo (IGAC, 2012).

La composición de la imagen se realizó mediante el software ERDAS a través del comando Layerstack (IGAC, 2012). En este proceso se generó una imagen conformada por los colores rojo, verde y azul; en cada una de estas composiciones de color se asignó una banda y dependiendo de la composición del

área, los elementos reflejados adquirieron diferentes tonalidades del color. La composición de las bandas se realizó con una resolución espacial de 30 m y se omitieron las bandas correspondientes al infrarrojo lejano, que presentaron una resolución espacial de 60 m, y la banda pancromática. Una vez conformada la imagen, con las bandas requeridas se aplicaron las correcciones geométricas y radiométricas (IGAC, 2012).

4.3 CORRECCIÓN GEOMÉTRICA

Es el proceso en el cual se procede a realizar la Georreferenciación de la imagen capturada por el sensor, por medio de puntos de control geodésicos de primer nivel o cartografía básica existente oficial a una escala conforme a los productos que se van a realizar. Este proceso consiste básicamente en asignarle puntos georreferenciados conocidos a un sitio de la imagen tomada por el satélite (IGAC, 2013).

El siguiente paso, consiste en realizar la corrección de los elementos de la imagen, que se deforman debido al relieve; esta corrección se realiza con la ayuda de modelos digitales de elevación, y es conocido como ortorrectificación de la imagen que permite pasar de una vista con proyección a una vista ortogonal de la imagen (IGAC, 2013).

4.4 CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA

La corrección radiométrica es el proceso en el que se mejora la calidad de la imagen identificando las condiciones del nivel de radiancia del sol, distancia solar en la época del año de toma. Esta corrección es utilizada generalmente cuando se realiza un mosaico de varias imágenes que conforman una zona de estudio, para

que no exista variación entre una imagen y la adyacente; sin embargo, el área de estudio de 61082 hectáreas está dentro de una sola imagen satelital LandSat ubicada en el path 6 row 57 de la grilla de imágenes que maneja la USGS. Además, las imágenes seleccionadas fueron obtenidas en fechas de toma óptima y no requieren correcciones por efectos atmosféricos como bruma u otro fenómeno que pueda afectar la radiancia de la imagen, por eso, aunque se procedió a realizar la corrección geométrica de las imágenes, no se presentó gran diferencia al compararla con la imagen original. Para el caso de la imagen actual (año 2013) tomada con el sensor LandSat 8, el cambio fue aún menor, debido a que este sensor cuenta con mejoras notables para disminuir las distorsiones radiométricas que pueda tener la imagen (IGAC, 2013).

4.5 CLASIFICACIÓN DE LA IMAGEN SATELITAL

Para los fines académicos y de conocimiento de los procesos se realizó la clasificación de la imagen de forma no supervisada y no se obtuvieron buenos resultados. También se realizó la clasificación supervisada, tanto en el software ArcGIS como en el ERDAS, y se obtuvieron clases más confiables con el software ERDAS entrenando la clasificación por medio de firmas espectrales, por cada tipo de cobertura presente en la imagen se tomaron cerca de 20 zonas para el entrenamiento del programa (IGAC, 2012).

La clasificación de la cobertura de Campo Rubiales se realizó con conocimiento previo de la zona, debido a que se realizó una visita al campo en el marco de otros proyectos. Esta información permitió identificar lugares donde se conocía claramente la cobertura existente y sirvieron de punto de muestreo para entrenar el software que realizó la clasificación de forma automática para toda el área de estudio.

4.6 PUNTOS DE MUESTREO (SALIDA DE CAMPO)

Para corroborar la veracidad y la coincidencia que tenían las imágenes con la zona de estudio, se realizó una salida a campo durante seis días (del 2 al 8 de diciembre del año 2013), tiempo en el cual se recorrió el área (Figura 47), ubicando con anticipación diferentes coberturas en la imagen satelital del año 2013. Al llegar a los puntos de muestreo se verificó si la cobertura que aparecía en la imagen satelital, efectivamente era acorde a la zona (GeoPlaDes, 2009).

Se realizaron recorridos en automóvil de 7 am a 5 pm, tratando de llegar a los puntos más distantes y hacer el mayor número de comprobaciones en campo. Se utilizó un GPS para obtener las coordenadas del punto y luego se extrapola la información con la imagen satelital, también se usó una cámara fotográfica para registrar las imágenes de las respectivas coberturas. Se recorrieron algunas coberturas marcando los diferentes tracks con el GPS, para comprobar la exactitud posicional y el perímetro de la imagen LandSat (GeoPlaDes, 2009).

Figura 4. Diferentes imágenes de las coberturas visitadas en campo.



4.7 COBERTURAS DE LA TIERRA PRESENTES EN LA ZONA:

4.7.1 Ríos. Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal considerable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río (IDEAM, 2010). Ver Figura 5, 6 y 7

Figura 5. Fotografía del Caño Rubiales.



Figura 6. Río observado en la imagen LandSat 8, correspondiente a la combinación de bandas RGB 564.

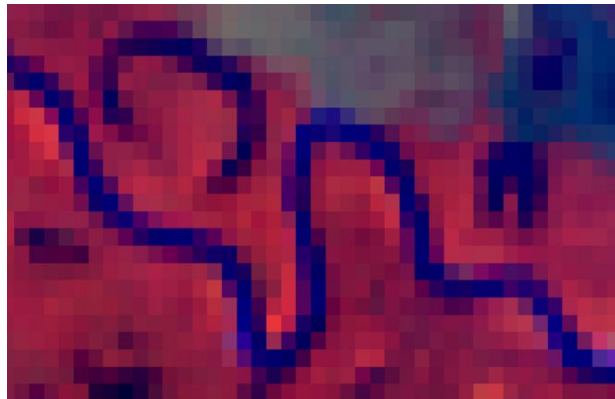


Figura 7. Río observado en la imagen satelital GEOEYE.



4.7.2 Lagunas Superficies o depósitos de agua naturales de carácter abierto o cerrado, dulce o salobre, que pueden estar conectadas o no con un río o con el mar (IDEAM, 2010). Ver Figura 8, 9 y 10.

Figura 8. Fotografía correspondiente a una laguna ubicada en Campo Rubiales.



Figura 9. Laguna observada en la imagen LandSat 5TM, correspondiente a la combinación de bandas RGB 543.

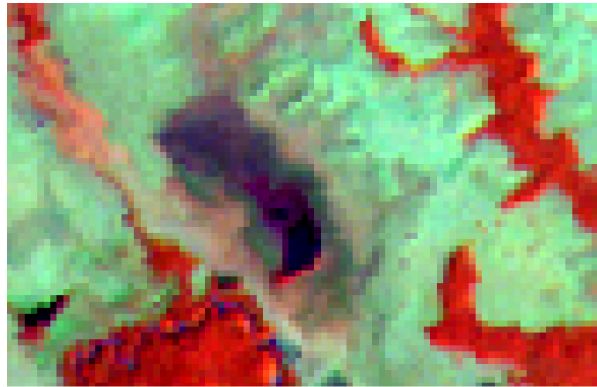


Figura 10. Laguna observada en la imagen satelital GEOEYE.



4.7.3 Bosque de galería. Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en regiones de sabanas se conoce como bosque de galería o cañadas (IDEAM, 2010). Figura 11, 12 y 13.

Figura 11. Fotografía de un bosque de galería en la zona de estudio.



Figura 12. Bosque de galería observado en la imagen LandSat 8, correspondiente a la combinación de bandas RGB 564.

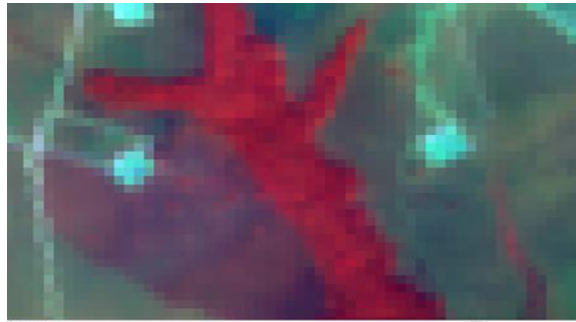
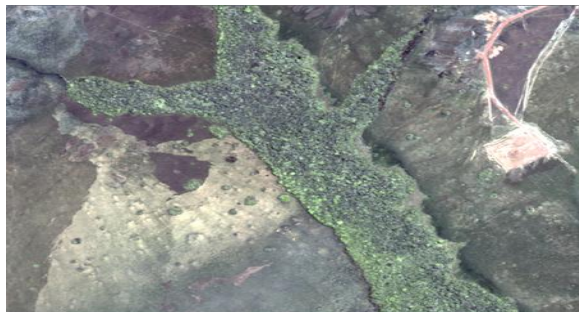


Figura 13. Bosque de galería observado en la imagen satelital GEOEYE.



4.7.4 Cultivos permanentes. Comprende los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar; se incluyen en esta categoría los cultivos de herbáceas como caña de azúcar, caña panelera, plátano y banano; los cultivos arbustivos como

café y cacao; y los cultivos arbóreos como palma africana y árboles frutales (IDEAM, 2010). Ver Figura 14, 15 y 16.

Figura 14. Fotografía de un cultivo permanente correspondiente a palma de aceite en la zona de estudio.



Figura 15. Cultivo agroforestal permanente observado en la imagen LandSat 8, correspondiente a la combinación de bandas RGB 564.

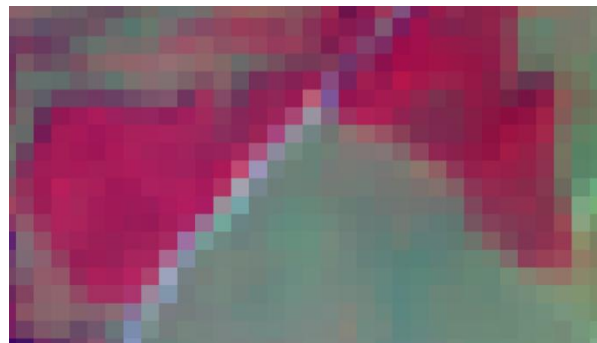
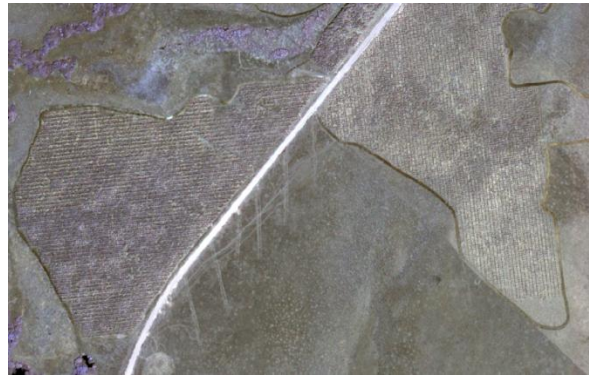


Figura 16 Cultivo agroforestal permanente observado en la imagen satelital GEOEYE.



4.7.5 Herbazal denso de tierra firme no arbolado. Corresponde a una cobertura natural constituida por un herbazal denso de tierra firme, donde no existe presencia de elementos arbóreos y/o arbustivos, o en caso de existir en ningún caso representarán más del 2% del área total de la unidad. Se localizan principalmente en áreas con limitaciones de suelos y de clima, como la altillanura de la Orinoquía, y las zonas de páramo y subpáramo de la alta montaña (IDEAM, 2010). Ver Figura 17, 18 y 19.

Figura 17. Fotografía de un herbazal denso de tierra firme no arbolado en la zona de estudio.



Figura 18. Herbazal denso de tierra firme no arbolado observado en la imagen LandSat 8, correspondiente a la combinación de bandas RGB 564.

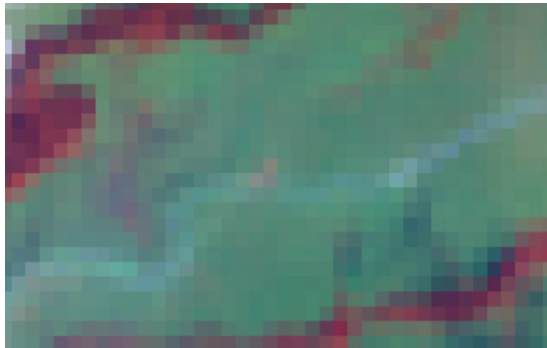


Figura 19. Herbazal denso de tierra firme observado en la imagen satelital GEOEYE.



4.7.6 Zonas industriales. Son las áreas cubiertas por infraestructura artificial (terrenos cimentados, alquitranados, asfaltados o estabilizados) sin presencia de áreas verdes dominantes, las cuales se utilizan también para actividades comerciales o industriales (IDEAM, 2010). Ver Figura 20, 21 y 22.

Figura 20. Fotografía zonas industriales en el territorio estudiado.



Figura 21. Zonas industriales observadas en la imagen LandSat 8, correspondiente a la combinación de bandas RGB 564.

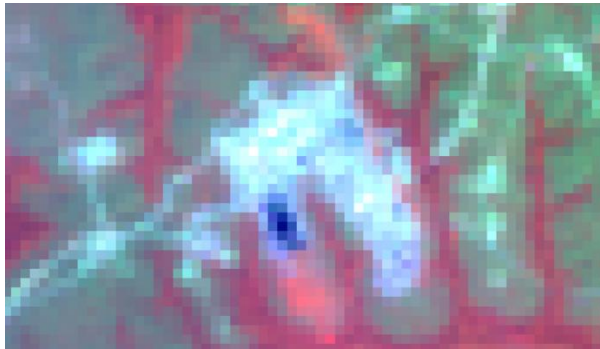


Figura 22. Zonas industriales observadas en la imagen satelital GEOEYE.



4.7.7 Aeropuerto. Comprende la infraestructura donde funciona una terminal aérea. Incluye las pistas de aterrizaje y carreteo, los edificios, las superficies libres,

las zonas de amortiguación y la vegetación asociada (IDEAM, 2010). Ver Figura 23, 24 y 25.

Figura 23. Fotografía del aeropuerto Morelia en el territorio estudiado.



Figura 24. Aeropuerto observado en la imagen LandSat 5 TM, correspondiente a la combinación de bandas RGB 453.

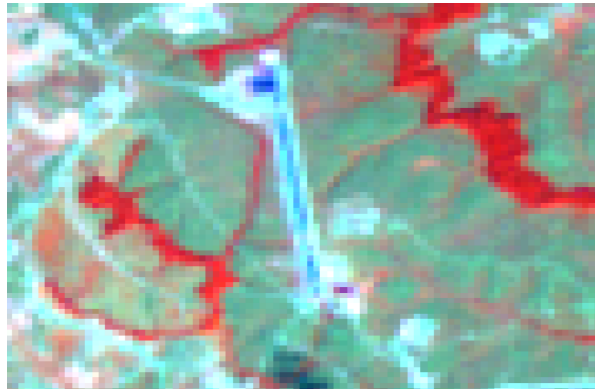


Figura 25. Aeropuerto observado en la imagen satelital GEOEYE.



4.7.8 Zonas quemadas. Comprende las zonas afectadas por incendios recientes, donde los materiales carbonizados todavía están presentes. Estas zonas hacen referencia a los territorios afectados por incendios localizados tanto en áreas naturales como seminaturales, tales como bosques, cultivos, sabanas y arbustales (IDEAM, 2010). Ver Figura 26, 27 y 28.

Figura 26. Fotografía de zonas quemadas en el área de estudio.



Figura 27. Zonas quemadas observadas en la imagen LandSat 8, correspondiente a la combinación de bandas RGB 564.

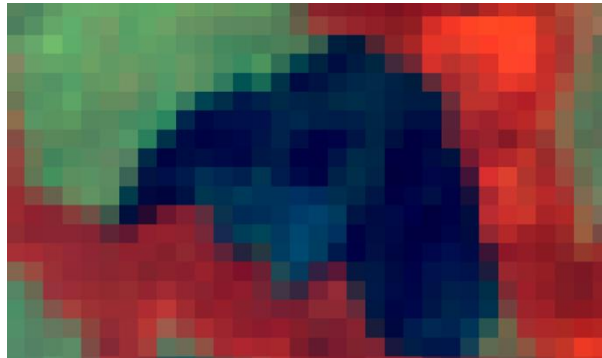


Figura 28. Zonas quemadas observadas en la imagen satelital GEOEYE.



4.8 VECTORIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

El software ArcGIS 10, con extensiones de arcinfo para el geoprocesamiento de la información, desarrollado por Esri permite la conversión de formato raster a formato vectorial (regiones de pixeles a polígonos), realiza operaciones de generalización de polígonos y análisis espacial de mayor usabilidad y es eficiente para el tratamiento de información vectorial por medio de la manipulación de la información gráfica como las tablas alfanuméricas asociadas al dibujo (Esri, 2013). Además permite una mayor facilidad en la realización de consultas sobre las

diferentes clases de coberturas existentes o selección de elementos por rangos de áreas específicas (Esri, 2013).

Mediante este software, se realizó la conversión de la información en formato raster a vectorial incluyendo los atributos relacionados con la clasificación supervisada realizada previamente; se unieron las clases adyacentes con la misma clasificación de cobertura de la tierra; se detectaron los parches que presentaron un área demasiado pequeña y se unieron a la cobertura adyacente de área mayor; y se generó el mapa de cobertura de la tierra, con la simbología adecuada, el sistema de referencia, convenciones escala gráfica entre otras cualidades de un mapa (Esri, 2013).

4.9 CÁLCULO DE LAS MÉTRICAS DEL PAISAJE

Para el cálculo de las métricas del paisaje existe abundante bibliografía, fórmulas, teorías y autores; también existen software que ofrecen el cálculo de estos indicadores, evitando la manipulación directa de las coberturas. Se utilizó el modulo V-LATE - Vector-based Landscape Analysis Tools Extensión, de la Universidad de Salzburg Austria, para generar todos los indicadores que describen la ecología del paisaje, de forma ágil y confiable. Este software trabaja directamente sobre el programa ArcGIS, lo cual permitió una interacción sencilla. Finalmente la información obtenida se exportó en formato de texto plano para ser manipulada posteriormente, por cualquier programa (Lang & Blaschke, 2007).

4.9.1 Diversidad de Shannon (DS): se calcula en función de la proporción de paisaje ocupado por las manchas de cada clase, para el conjunto de manchas del paisaje (Alonso, 2013):

$$DS = - \sum_{i=1}^m (P_i * \ln P_i)$$

Donde, m: clases de coberturas y P_i : proporción de parches de las coberturas respecto al total de parches.

4.9.2 Tamaño promedio del fragmento (MPS): Relación entre el área ocupada por una clase y el número de fragmentos correspondientes a aquella clase (Badii & Landeros, 2007). Se basa en la siguiente fórmula:

$$MPS = \frac{\sum_{k=1}^n A_k}{n}$$

Donde, n: número de fragmentos para los cuales la media se está calculando y A_k : área del fragmento k-ésimo.

4.9.3 Densidad de borde: Un borde es la frontera entre dos clases diferentes. La densidad de borde (en m/ha) es igual a la longitud (en metros) de todas las fronteras entre los diferentes tipos de conexión (clases) en un área de referencia dividida por el área total de la unidad de referencia (Eiden et al., 2000). El índice se calcula como:

$$ED = \frac{E}{A}$$

Donde, E: Borde total (m) y A: Área Total (ha)

4.9.4 Dimensión fractal: Para el cálculo de la dimensión fractal de cada mancha se utilizó la formula (Rodríguez-Loínaz et al., 2007):

$$FD = \frac{2LnP}{LnA}$$

Donde, A: área de cada mancha en m^2 y P: perímetro de cada mancha en metros.

La dimensión fractal media: Donde FD : dimensión fractal y nP : número de parches del paisaje.

$$MFRAC = \frac{FD}{NP}$$

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 DISTRIBUCIÓN Y EXTENSIÓN DE LA COBERTURA EN EL AÑO 1988

En la Figura 29 se observan las coberturas presentes en el año 1988 en Campo Rubiales, se cuantificaron 245 parches de coberturas en toda la extensión del territorio, comprendiendo aproximadamente 61082 hectáreas. La cobertura matriz del paisaje, es decir, la de mayor proporción, fue el herbazal denso de tierra firme no arbolado, comprendiendo un 72% del territorio estudiado. Le sigue el bosque de galería con un 18%, las zonas quemadas con un 9% y los cuerpos de agua con un 1% del territorio (Figura 30). Las zonas quemadas de dicha época se deben a la colonización del territorio por parte del hombre.

Figura 29. Salida gráfica que muestra la distribución de las coberturas para el año 1988 en Campo Rubiales.

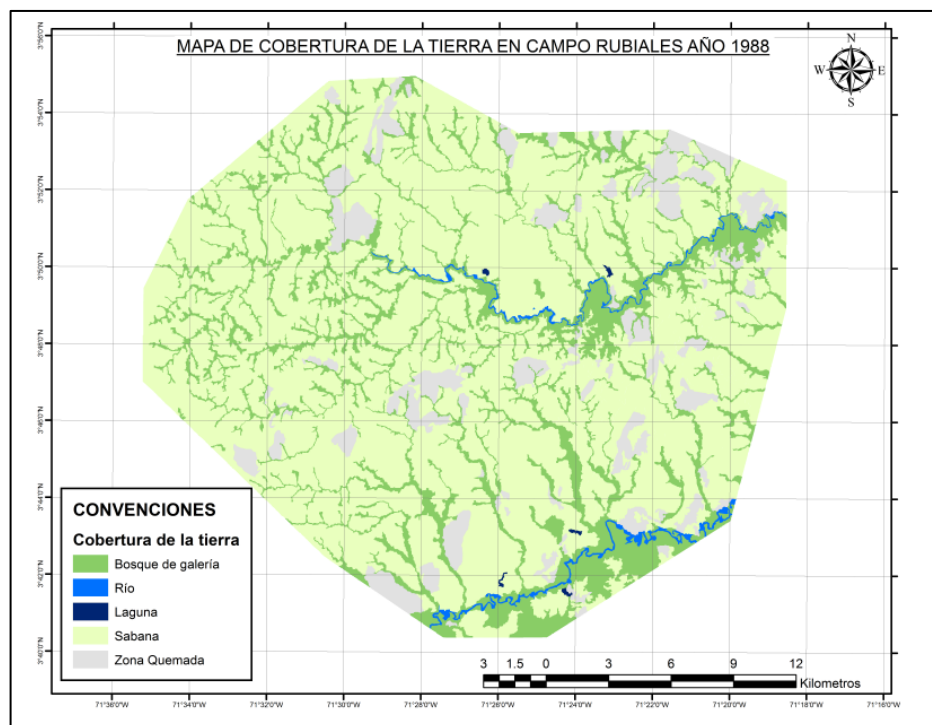
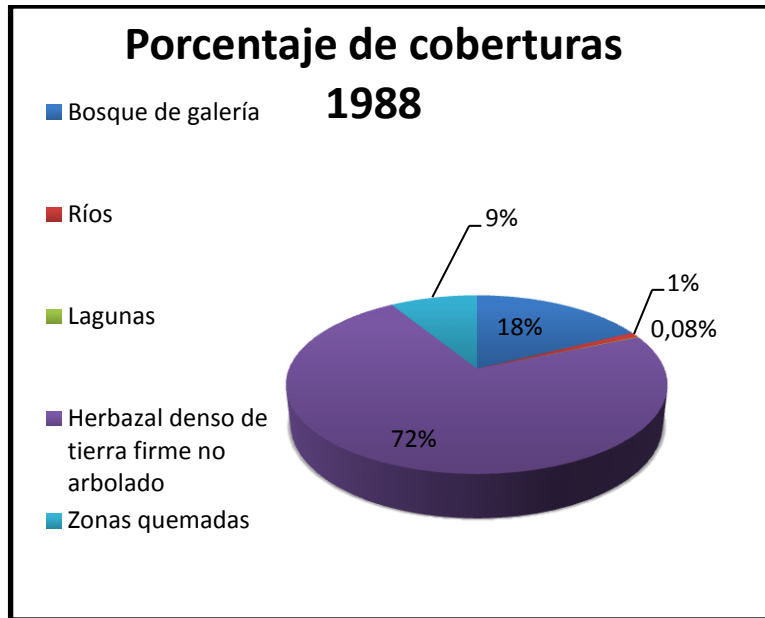


Figura 30. Porcentaje de coberturas para el año 1988 en Campo Rubiales.



El herbazal denso de tierra firme no arbolado presentó el tamaño medio de parche con mayor área, 534.33 ha, seguido del bosque de galería con 143.56 ha, las zonas quemadas con 68.83 ha y los cuerpos de agua que comprenden los ríos y las lagunas con 144.62 ha y 9.93 ha, respectivamente (Tabla 4). Estos resultados son consecuentes con el porcentaje de cada cobertura en el territorio estudiado.

Tabla 4. Valores del área, número de parches y tamaño medio del parche perteneciente a la imagen del año 1988 para Campo Rubiales.

Clases de coberturas	Número de Parches	Área (ha)	Tamaño medio del parche(ha)
Bosque de galería	75	10767.16	143.56
Ríos	4	578.48	144.62
Lagunas	5	49.66	9.93
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	83	44381.25	534.33
Zonas quemadas	78	5369.08	68.83

Para la generación cartográfica a una escala de 1:50.000 el sistema de clasificación Corine Land Cover, estableció una unidad mínima de mapeo (parche) de 6.25 ha, lo cual redujo la clasificación de la cobertura natural Palmares, siendo para la zona las comunidades caracterizadas por la dominancia de palma moriche (*Mauritia flexuosa* L.f.), con alturas hasta de 18 m, que ocupan las depresiones y áreas inundadas principalmente en la Orinoquía colombiana (IDEAM, 2010); debido a que estas formaciones son lineares, tienen un área, por lo general, menor a la unidad mínima de mapeo y el ancho de la cobertura es menor al tamaño del pixel (30m). Además, en esta zona los morichales generalmente se ven asociados a los bosques de galería. Mediante la vectorización de las coberturas a través de la herramienta Eliminate del software ArcGIS, se unieron estos parches a la cobertura más grande, que usualmente, era el bosque de galería. La imagen LandSat no permitió diferenciar claramente la transición que se da entre los morichales y el bosque de galería, incluso se pueden ver áreas donde la respuesta espectral de los verdegales (herbazal ubicado en los drenajes intermitentes con alto contenido de humedad) es similar a la de los morichales lo que hace más complicada su interpretación a la escala que permite este tipo de imagen. Esto se presenta tanto en la imagen de 1988 como en la de 2013.

5.2 DIVERSIDAD DEL PAISAJE

El índice de Diversidad de Shannon (DS) es una medida de diversidad de parches a nivel de paisaje, que será igual a cero si hay un solo parche e incrementa a medida que aumenta el número de parches. Para el año 1988 el valor del índice de Diversidad de Shannon fue de 0.802, lo que significa que existe homogeneidad en el número de parches de la zona. La heterogeneidad puede estar asociada a la fragmentación, la cual es baja en este caso debido a la homogeneidad en las coberturas, según el valor arrojado por el índice de diversidad (Cubides & Daza, 2008).

En el caso del Río Cravo Sur en el departamento de Boyacá, donde se realizó un análisis multitemporal en los años 1992 y 2001, se obtuvo para 1992 un valor de 4.25, indicando una elevada heterogeneidad con respecto a lo encontrado en el paisaje de Campo Rubiales para el año 1988. Esto se debe, posiblemente, a las actividades agrícolas que se desarrollan en el departamento boyacense a diferencia de la zona de la vereda Rubiales donde el uso del suelo no es intensivo. Por otra parte, la tenencia de los territorios en el departamento del Meta se da en grandes latifundios contrario a lo que sucede en el departamento de Boyacá (Cubides & Daza, 2008).

5.3 FORMA DEL PAISAJE

La Dimensión Fractal se expresa dentro de un rango de 1 a 2, cuanto más se acerca a 2 las formas de los parches son más complejas (Correa, 2005)

Los ríos presentaron una dimensión fractal media (MFRAC_T) de 1.435 (Tabla 5), este valor se debe a sus formas alargadas. Los bosques de galería también tuvieron un valor alto de MFRAC_T (1.396), debido a que es una cobertura muy correlacionada con los ríos, principalmente por su conformación. Las zonas quemadas arrojaron el valor más bajo de MFRAC_T (1.289), debido a que estos elementos forman una especie de polígonos cerrados sin bordes encerrando las áreas planas. En la mayoría de los casos estas zonas son producidas por el hombre para el establecimiento de asentamientos humanos y ganadería.

El herbazal denso firme también presenta una dimensión fractal media relativamente alta (1.305), posiblemente por ser la cobertura dominante y cubrir grandes áreas, y comparte más bordes con las diferentes coberturas, aumentando de esta manera la heterogeneidad de sus formas.

La dimensión fractal general de todas las coberturas tiene un valor de 1.33 debido a que las coberturas predominantes del paisaje tienen formas sinuosas y comparten fronteras, como es el caso de los bosques de galería y los cuerpos de agua.

Tabla 5. Diferentes clases de coberturas presentes en el área con el valor de dimensión fractal media e índice de forma para el año 1988.

Clase	Dimensión fractal media	Índice de forma
Bosque de galería	1.396	4.964
Ríos	1.435	7.831
Lagunas	1.311	1.718
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	1.305	2.672
Zonas quemadas	1.289	1.819

El índice de forma nos permite clasificar un espacio en fragmento o corredor en un área dada, una elevada proporción indica una forma alargada o compleja y una proporción baja indica formas compactas y más simple (Irastorza, 2006). Como podemos ver en la Tabla 5, los valores más altos coinciden con las coberturas naturales como lo son los ríos y el bosque de galería, los que pueden comportarse como un corredor o una barrera ecológica dependiendo de las especies.

5.4 DENSIDAD DE BORDES

Los valores observados de borde son importantes para el análisis del paisaje de Campo Rubiales, sin embargo para lograr comparar este paisaje con respecto a otros, es necesario contar con una unidad que nos indique la relación del borde en una unidad de área definida, para esto se calculó la densidad de borde, 75.42 m/ha, este resultado se ve favorecido por la gran cantidad de segmentos, las

formas alargadas y ondulantes de las coberturas presentes (bosques de galería y ríos) que aumentan la densidad total de borde (Tabla 6), podemos ver el claro ejemplo de los bosques asociados al Caño Rubiales, el cual recorre el territorio estudiado de occidente a oriente presentando una de las más altas acumulaciones de bosque (Figura 31.).

Figura 31. Desarrollo de los bosques de galería con respecto al Caño Rubiales.

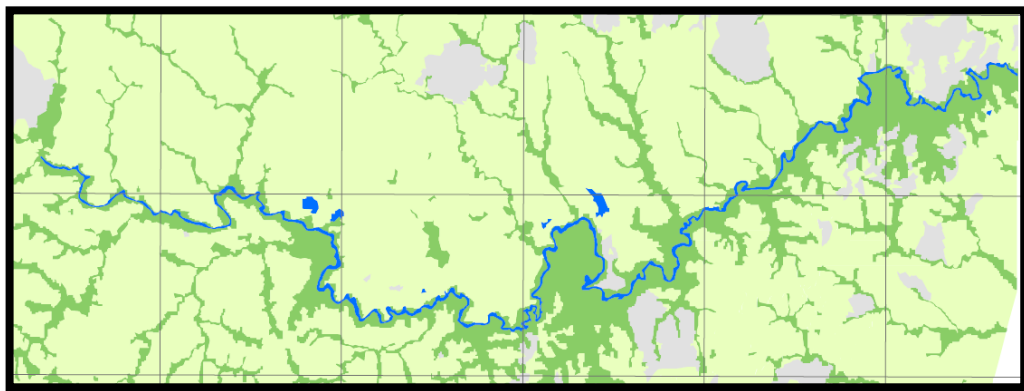


Tabla 6. Densidad de borde media para las clases de coberturas presentes en la zona en el año 1988.

Clase	Densidad de borde media m/ha
Bosque de galería	26163.08
Ríos	39362.13
Lagunas	1921.23
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	25281.28
Zonas quemadas	4894.99

Los fragmentos alargados y delgados como los ríos y bosques densos tienen proporcionalmente mayor longitud de borde (Tabla 6) que aquellos que tienen formas cuadradas o redondeadas, en éstas últimas formas es más probable que el

interior del fragmento mantenga sus condiciones internas y los efectos de la matriz queden restringidos al borde del mismo (Correa, 2005).

Claramente el hombre juega un papel fundamental en el mantenimiento de los bordes, la vegetación es ajustada o emparejada según los usos de la tierra, en este caso influye la adecuación de campos forrajeros para el ganado y las quemadas producidas por el hombre.

En este caso, la transformación en la densidad de los bordes y la complejidad de las formas de las coberturas naturales hacia tipos más simples presenta importantes implicaciones ecológicas que recaen sobre la diversidad y la dinámica de los ecosistemas. Según expone Etter (1991), de acuerdo con la forma que tenga un parche de una superficie dada varía la relación borde-superficie, lo cual tiene implicaciones marcadas sobre la composición y los gradientes energéticos que se crean hacia la matriz circundante. Éste fenómeno es llamado efecto de borde. Las implicaciones del efecto dependen en gran medida del tamaño y forma del mismo así como de la configuración espacial resultante del conjunto de fragmentos, implican cambios en las condiciones ambientales del interior del fragmento como modificaciones en el microclima por las variaciones de la insolación y los efectos del viento, lluvias, heladas, etc. Estas variaciones ambientales afectan directamente al componente biológico de los sistemas naturales, algunas especies se ven favorecidas por estas condiciones de mayor radiación, temperatura, etc. (Correa, 2005).

5.5 DISTRIBUCIÓN Y EXTENSIÓN DE LA COBERTURA EN EL AÑO 2013

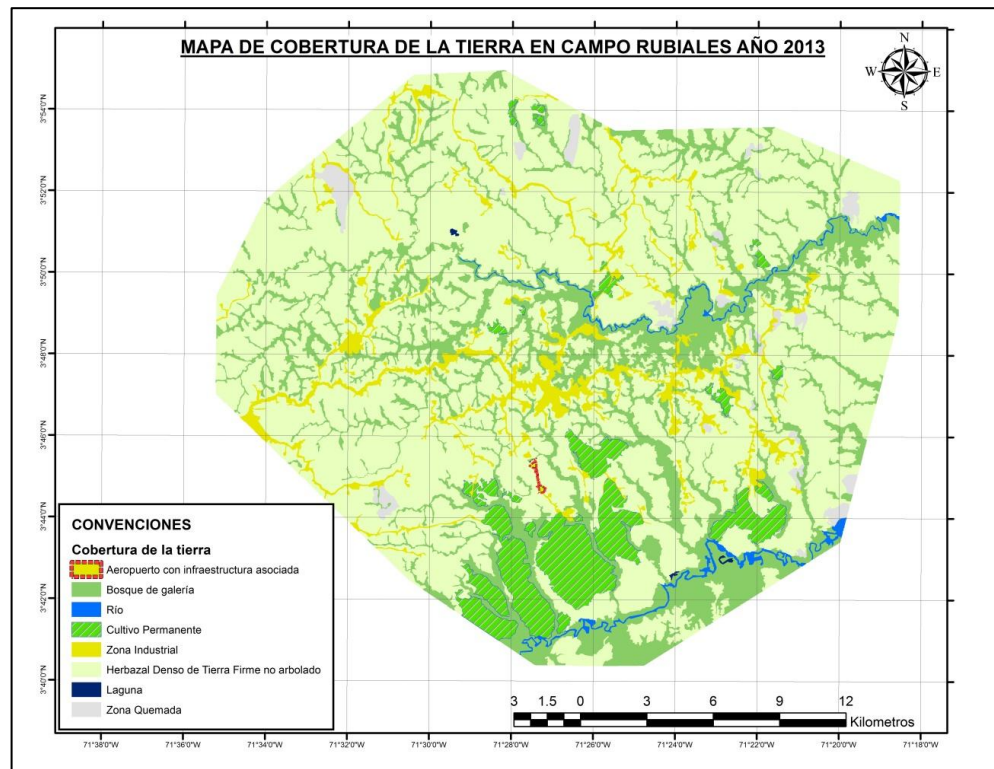
Se evidencia el aumento del área de cobertura en los bosques de galería presentes en la zona y también la disminución de su número de parches, esto debido a ciertas áreas que se encontraban fragmentadas y se pudieron unir

probablemente a la disminución de las quemadas en la región, la disminución en las áreas de los cuerpos de agua y en su número de parches puede deberse a la unidad mínima de mapeo, ya que algunas lagunas no cumplían con el área mínima para la clasificación, el herbazal denso de tierra firme se vio disminuido principalmente por la aparición de zonas industriales, aeropuertos, cultivos y demás (ver Tabla 7 y Figura 32).

Tabla 7. Valores de área, número de parches y tamaño medio del parche perteneciente a la imagen del año 2013.

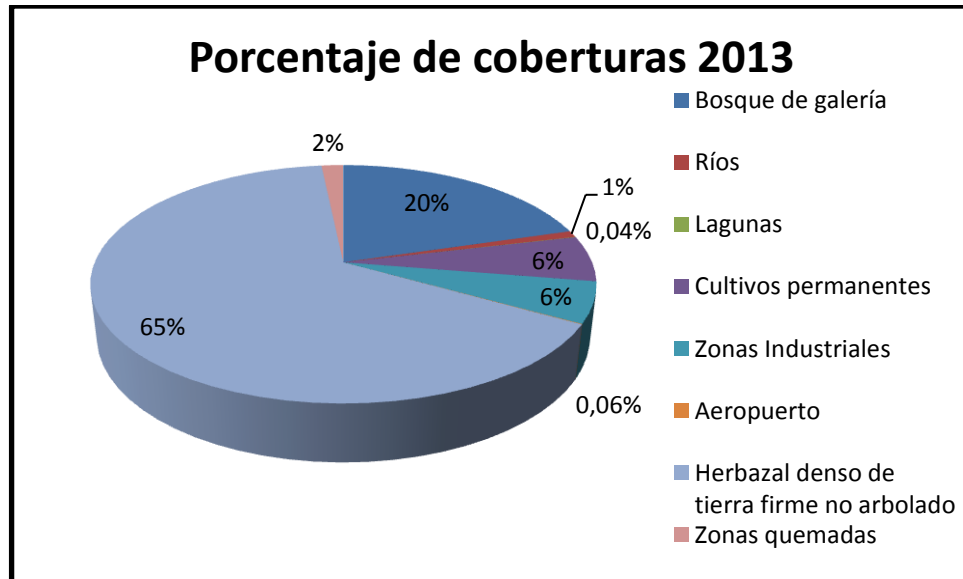
Clases de coberturas	Número de parches	Área (ha)	Tamaño medio del parche
Bosque de galería	66	12476.67	189.04
Ríos	3	542.61	180.87
Lagunas	3	25.44	8.48
Cultivos permanentes	26	3791.19	145.81
Zonas Industriales	48	3384.13	70.50
Aeropuerto	1	36.34	36.34
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	162	39808.87	245.73
Zonas quemadas	28	1016.86	36.31

Figura 32. Salida grafica que muestra la distribución de las coberturas de Campo Rubiales para el año 2013.



Analizando las coberturas existentes en el paisaje de Campo Rubiales, en cuanto a las métricas del paisaje, se muestra una gran cantidad de parches de Herbazal denso de tierra firme no arbolado, constituyendo la cobertura con mayor área dentro del paisaje, con un 65% de las 61082 hectáreas de la zona de estudio; siendo esta cobertura la matriz del modelo estructural del paisaje definido. Los parches de bosques de galería representan un 20% del paisaje y se encuentran asociados a las zonas de drenaje, conformando los corredores que permiten la movilidad de las especies de mamíferos y aves de tamaño menor que transitan a lo largo del sotobosque. Los cuerpos de agua, cobertura conformada por ríos y lagunas, representan un 1% y 0.04%, respectivamente (Figura 33).

Figura 33. Porcentaje de coberturas de Campo Rubiales para el año 2013.



Las zonas de quemadas, asociadas a las actividades de adecuación del material vegetal para la ganadería extensiva, se encuentran en zonas confinadas de cerca de 1016 hectáreas que representa tan solo el 2% del paisaje, además cabe notar que esta clasificación tiene una relevancia menor, dado su rápido cambio a lo largo del tiempo, pasando a herbazales densos de tierra firme no arbolados en pocos meses.

Se observó que la actividad agrícola ha logrado tener un buen rango de participación en el paisaje con un 6% del área total, debido a los cultivos permanentes conformados por palmas de aceite y especies maderables que se identifican en 49 parches ubicados predominantemente en las áreas menos colinadas junto al Río Tillavá, al sur de Campo Rubiales. Con semejante área de intervención del 6%, se observan las zonas industriales que se conforman por los campos petroleros y sus asociaciones con vías y oleoductos que tienen un ancho considerable como para que el sensor lo detecte (>30m), el aeropuerto de Morelia también hace parte del paisaje con un 0.06%.

5.6 DIVERSIDAD DEL PAISAJE

La diversidad del paisaje se encuentra en función de la frecuencia promedio de determinada cobertura en el paisaje (Sánchez-Rojas & Rojas-Martínez, 2007). El índice de diversidad de Shannon en Campo Rubiales en el año 2013 es de 1.054 indicando que existe una homogeneidad relativa causada por la presencia de la matriz definida por el herbazal denso de tierra firme no arbolado, que es la cobertura predominante. Sin embargo, la fragmentación generada por las zonas industriales y los cultivos incrementan el valor de la diversidad. En otros trabajos como el del Río Cravo Sur en el departamento de Boyacá, se puede ver que el valor de la diversidad disminuye con el tiempo, aunque no en gran medida, ya que la gran heterogeneidad del paisaje se mantiene. En el estudio efectuado en el municipio de Filandia en el departamento del Quindío, los investigadores encuentran una diversidad media de 1.227 para la zona de cuenca media del Río Otún donde se clasificaron seis tipos de cobertura a una escala 1:10.000 utilizando fotografías aéreas (Armenteras, 2005).

5.7 FORMA DEL PAISAJE

Con respecto al año 1988, la dimensión fractal media tuvo cambios en todas las coberturas naturales, el bosque de galería presentó 1.391 y los ríos 1.476 (Tabla 8). En otro estudio realizado en el año 2005 en Colombia, para los seis tipos de elementos del paisaje analizado, se permite inferir que tres de los cuatro elementos boscosos (borde, cañada y bosque) son los que mayor tendencia poseen hacia formas más complejas (Armenteras, 2005).

Por otra parte, las zonas industriales tienen un valor de 1.396, esto se debe a los oleoductos y las redes viales presentes en la zona, estas tienen formas alargadas y comparten fronteras con las diferentes coberturas. Los cultivos permanentes con

el índice de forma más bajo 1.283, esto es lógico, ya que en la agricultura se buscan formas simétricas para dar un mejor manejo a los cultivos. Los pastizales y las plantaciones forestales presentan comportamientos similares: valores bajos asociados a formas no muy complejas y bajas variabilidades (Armenteras, 2005).

Tabla 8. Las diferentes clases de coberturas presentes en el área con el valor de dimensión fractal media y el índice de forma para el año 2013.

Clases de coberturas	Dimensión fractal media	Índice de forma
Bosque de galería	1.391	4.813
Ríos	1.476	9.995
Lagunas	1.33	1.919
Cultivos permanentes	1.283	1.829
Zonas industriales	1.396	3.688
Aeropuerto	1.313	2.09
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	1.316	2.578
Zonas quemadas	1.296	1.722

Para el índice de forma continua la tendencia de las coberturas naturales como los principales corredores del paisaje, las zonas industriales también muestran un valor muy alto aunque estos claramente reflejan barreras ecológicas para el tránsito de la fauna silvestre lo cual es un factor negativo, esto se debe al valor del perímetro que aportan los oleoductos y redes viales, las cuales por sus formas alargadas aumentan este valor.

5.8 DENSIDAD DE BORDES

La cuantificación del borde de las coberturas en la interpretación del paisaje de Campo Rubiales permite identificar el grado de complejidad del mismo; se observa una densidad de 85.42 m/ha definida por las coberturas presentes y dominantes

como los herbazales densos firmes no arbolados y los bosques de galería. Las formas alargadas de los elementos existentes en los bosques de galería y los cuerpos de agua presentan un aumento en la densidad de borde al paso del tiempo, las zonas quemadas presentan una disminución en la densidad de borde debido a que los límites son controlados. Con respecto al año 1988 todas las coberturas naturales tuvieron un incremento en la densidad de borde media como se puede ver en la Tabla 9, excepto el herbazal denso firme no arbolado el cual disminuyó en densidad de borde pasando de 25281.28 m/ha a 14160.54 m/ha en 2013, las nuevas coberturas tienen una importante densidad de borde ya que estas tienen fronteras con las otras coberturas y este factor puede aumentar.

Tabla 9. Densidad de borde para las clases de coberturas presentes en la zona para el año 2013.

Clases de coberturas	Densidad de borde media m/ha
Bosque de galería	28321.72
Ríos	50924.01
Laguna	1973.86
Cultivos permanentes	6367.99
Zonas Industriales	13178.71
Aeropuerto	4467.15
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	14160.54
Zonas quemadas	3327.71

5.9 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS AÑOS 1988 Y 2013

En la época actual se registran nuevas coberturas que cambian el paisaje de la región, tres nuevas coberturas generadas por el hombre para el desarrollo económico de estos territorios, como son los cultivos permanentes de palma de aceite, especies de interés forestal y la actividad petrolera, también se registra un

incremento en el número de parches de un 37.5%, esto se debe al aumento de la actividad humana en la zona, ya que se agregan nuevas coberturas al paisaje las cuales fragmentan las ya existentes, generando nuevos parches (Tabla 10).

Tabla 10. Consolidado de valores de área y parches para los años 1988 y 2013.

	Número de Parches (1988)	Número de Parches (2013)	Área (ha) (1988)	Área (ha) (2013)	Tamaño medio del parche(ha) (1998)	Tamaño medio del parche(ha) (2013)
Bosque de galería	75	66	10767.16	12476.67	143.56	189.04
Ríos	4	3	578.48	542.61	144.62	180,87
Lagunas	5	3	49.66	25.44	9.93	8,48
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	83	162	44381.25	39808.87	534.33	245.73
Zonas quemadas	78	28	5369.08	1016.86	68.83	36.31
Cultivos permanentes	0	26	0	3791.19	0	145.81
Zonas Industriales	0	48	0	3384.13	0	70,50
Aeropuerto	0	1	0	36.34	0	36.34

En los 25 años, el bosque de galería aumento su área 1709.51 ha (15.8%) lo cual es muy importante para el mantenimiento de la biodiversidad en la zona, por otra parte los cuerpos de agua perdieron 60.09 ha (9.5%) causando que algunos parches de laguna no cumplan con la unidad de mapeo de 6.25 ha de área mínima de cobertura para la escala de trabajo manejada, el herbazal denso de tierra firme no arbolado disminuyó su área 4572.38 ha (10%), esto se debe principalmente al establecimiento de infraestructura (zonas industriales) y a los diferentes cultivos permanentes establecidos en la zona. Un dato muy alentador es la disminución de 4352.22 ha (81%) de las zonas quemadas, las cuales arrasaban con toda la biodiversidad a su paso y fragmentaban el paisaje de una manera drástica (Tabla 10), aunque el fuego es un factor ecológico determinante

en la fisonomía de varias de las comunidades y formaciones vegetales. En la Orinoquía, su uso se relaciona con el aprovechamiento económico de los pastizales para mejorar el contenido proteínico y la palatabilidad de los elementos dominantes, condición que se logra al obtener los rebrotes después de haber provocado las quemadas (CIAT, 2001).

Tabla 11. Matriz de cambios que muestra la variación de las coberturas del paisaje en los años 1988 y 2013.

	MATRIZ DE CAMBIO (PORCENTAJE CON RESPECTO AL TOTAL DEL PAISAJE)										
	Coberturas presentes año 2013										
Coberturas presentes en el año 1988	Bosque de Galería	Río	Cultivo Permanente	Zona Industrial	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	Laguna	Aeropuerto	Zonas Quemadas	Porcentaje de pérdida de cobertura	Porcentaje de ganancia de cobertura	Variación de la cobertura
Bosque de Galería	12,95%	0,22%	0,13%	0,14%	3,98%	0,02%	0,00%	0,19%	4,68%	7,46%	2,79%
Río	0,29%	0,41%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,30%	0,24%	-0,06%
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	6,57%	0,00%	5,25%	4,20%	57,82%	0,01%	0,06%	1,37%	17,46%	10,69%	-6,77%
Laguna	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%	0,04%	-0,03%
Zonas Quemadas	0,60%	0,01%	0,92%	0,65%	6,63%	0,01%	0,00%	0,13%	9%	1,56%	-7,26%

La diversidad del paisaje aumentó con la inclusión de nuevas coberturas, por consiguiente incrementó la fragmentación y el número de parches presentes en la zona, variables que están involucradas directamente en el cálculo de la diversidad del paisaje. El índice de Diversidad de Shannon aumentó debido a las múltiples alteraciones, como zonas industriales, la creación de redes viales, el establecimiento de oleoductos y los diferentes procesos que se llevan a cabo para el establecimiento de diferentes cultivos; aun así, un valor de 1.054, significa una diversidad baja en el paisaje.

Al igual que la dimensión fractal general, el índice por coberturas se mantuvo sin cambios relevantes, a excepción del bosque de galería el cual tuvo una ligera disminución. Esto puede deberse a las reforestaciones que se realizan en la zona, que tienen como objetivo unir parches de bosque y evidentemente a la disminución de las zonas de quema como práctica ganadera, ya que estas fragmentan el bosque, creando un mayor número de parches y aumentando el índice de dimensión fractal.

El valor de la densidad de borde tuvo un incremento del 13.25%, debido a la heterogeneidad producida en los parches donde anteriormente no se presentaba ningún tipo de división. De igual forma, se observa que aunque hubo un aumento en el área del bosque de galería, existe una disminución en la densidad del borde de sus parches, lo cual permite inferir que el crecimiento se ha dado aumentando la presencia del bosque en las zonas con relación a los drenajes, donde se había perdido dicha cobertura a lo largo de este.

Es importante tener en cuenta la unidad mínima de mapeo, con respecto a la escala de trabajo establecida por el tipo de sensor que se maneja para el estudio. Este ejercicio se realizó dos veces modificando el área mínima cartografiable, primero con un valor de 0.55 ha, y segundo con respecto a la unidad mínima de mapeo a escala 1:50.000 que corresponde a 6.25 ha, este valor es sugerido por el

Corine Land Cover (IDEAM, 2013) y el IGAC, ya que esta unidad mínima, se refleja directamente en la calidad del producto cartográfico y en la calidad de las métricas del paisaje. Otro factor de variabilidad que hemos considerado es el de escala. Como antes indicamos, las medidas de patrón paisajístico son muy dependientes tanto de la unidad mínima que se considere (resolución o grano), como de la extensión del área analizada (marco) (Chuvieco, 1996).

5.10 MATRIZ DE CAMBIO PARA EL ANÁLISIS MULTITEMPORAL

La matriz muestra de forma un poco más explícita los cambios en la cobertura terrestre, la interacción entre el bosque de galería y el herbazal denso de tierra firme no arbolado, muestra que un 3.98% del paisaje que representaba bosque de galería pasó a ser herbazal denso de tierra firme, el 6.57% del paisaje que anteriormente presentaba herbazal denso paso a ser bosque de galería, generando una ganancia de bosque del 2.79% en el paisaje de Campo Rubiales. Particularmente el bosque de galería perdió un 0.22% con respecto a los ríos, lo cual es probable que se deba a las zonas inundables o a los cambios del curso que presentan las corrientes de los ríos; por construcciones de zonas industriales, disminuyó un 0.14% de la mancha de bosque. Las quemas, un factor que produce cambios sin precedentes en los ecosistemas redujo un 0.19% total del paisaje donde antes se encontraba la cobertura de bosque de galería (Tabla 11).

El herbazal denso de tierra firme no arbolado, como se mencionaba anteriormente, pierde terreno con el bosque de galería, a esto se suma una pérdida de 5.25% debido al cambio en el uso de los suelos, con fines agrícolas principalmente enfocados a los cultivos permanentes. De la misma forma las zonas industriales que son despejadas por completo para emparejar los suelos y posteriormente construir las instalaciones necesarias, reemplazan un 4.20% del paisaje total con respecto al herbazal denso de tierra firme no arbolado. La reducción del 0.07%

que se da en las lagunas del paisaje, puede deberse a la época del año en que se toma la imagen satelital, ya que en épocas de verano se presentan altas temperaturas y bajas precipitaciones teniendo en cuenta que esta es una zona monomodal en cuanto a las precipitaciones, factores que reducen los espejos de agua de dichas lagunas, dejando expuesto el terreno para hacer la transición a herbazal denso de tierra firme no arbolado (Tabla 11).

En un trabajo realizado en México en la Cuenca Lechuguilla se evalúan las coberturas presentes en los años 1973-1986, en ambos años la clase dominante fue la agricultura, contrario a lo que se presenta en la zona de Rubiales donde las coberturas naturales conforman la mayoría del paisaje, aunque en esta zona se presenta una tendencia al aumento de las zonas agrícolas, en el caso de México las zonas agrícolas mostraron una ligera tendencia negativa disminuyendo casi el 10% en 1986 con respecto a 1973. La vegetación secundaria fue la clase con mayor pérdida de área, siendo desplazada principalmente por la agricultura, pero también presentó ganancias importantes a expensas de agricultura y selva, por lo que el balance final fue positivo incrementando su superficie en casi el 16% con respecto al año inicial. La clase con mayor tasa de crecimiento fueron los poblados (centros urbanos) con una estabilidad de residencia del 50% (Berlanga-Robles *et al.*, 2011).

Siguiendo con el estudio realizado en la Cuenca Lechuguilla en los años 1986-2000. En el año 2000 la agricultura cubrió casi el 45% de la cuenca y a diferencia de lo ocurrido de 1973 a 1986, para este periodo mostró una tendencia positiva aumentando casi el 30% con respecto a su superficie en 1986. Tanto de 1973 a 1986 como de 1986 al 2000, el manglar mostró una ligera tendencia positiva, lo que lo diferencia de otros manglares del estado de Sinaloa que presentan tendencias negativas, al igual que en la zona de Rubiales donde se presenta un incremento de los bosques de galería, en esta región Mexicana también se

presenta un incremento en una de las coberturas naturales, lo cual es positivo para la flora y la fauna de la zona (Berlanga-Robles *et al.*, 2011).

En Colombia se realiza un estudio a escala 1:100.000 de cobertura del paisaje en el departamento de la Guajira donde se presentan las siguientes coberturas, la clase “Mar Caribe”, la clase “Tierras desnudas y degradadas” y la clase “Vegetación Esclerófila”. Las dos últimas presentan cambios opuestos en el tiempo, es decir, mientras que las Tierras desnudas y degradadas aumentan en 2.62%, la Vegetación Esclerófila disminuye en 1.15%, esto posiblemente, es debido a las condiciones normales desérticas de la región (Temperaturas alrededor de 24°C y vientos Alisios del Noreste) o por el uso del suelo, este incremento genera una disminución importante en las coberturas de Rastrojo alto, Arbustos y Matorrales esto es comparable a lo que sucede con el herbazal denso de tierra firme no arbolado, el cual disminuye su cobertura por acciones antrópicas (Mendoza & García, 2011).

Al contrario de lo que se presenta en la zona de Rubiales, en la Guajira los cuerpos de agua como Lagunas y Lagunas Costeras, presentaron un incremento de 308 ha, con el registro de nuevos cuerpos de agua, el cual es bastante alto considerando que el aumento se concentra a lo largo de toda la zona costera, generando que las actividades que allí se realizan se vean amenazadas, por inundaciones y masas de agua que dieciséis años atrás no existían. Este cambio permite sugerir un aumento en el nivel del mar y en las temporadas invernales, que seguramente continuara haciéndose más notorio (Mendoza & García, 2011).

Las zonas quemadas que para 1988 constituían un área representativa del paisaje, se vieron reducidas sustancialmente por otras metodologías de preparación del suelo, para las actividades ganaderas. Las zonas quemadas perdieron un 0.60% de su área representativa en el paisaje, área que fue reemplazada por el bosque de galería. También se evidencia un 6.63% que

corresponde al área de quemas que fue reemplazada por los herbazales densos de tierra firme. Las áreas quemadas también fueron utilizadas en un 0.92% para convertirlas en cultivos permanentes, por último las zonas industriales representan un 0.65% del territorio que anteriormente fue sometido al fuego. La intervención directa del hombre en ecosistemas naturales mediante la quema de biomasa, ha llevado a una alteración de los espacios naturales traducida en la expansión de la frontera agrícola. Estos eventos antrópicos crean una serie de perturbaciones que incluyen: pérdida de biomasa, extinciones locales continuas de especies nativas y desplazamiento de especies animales (Amaya & Armenteras, 2012).

En otro trabajo realizado en Colombia basado en la metodología de clasificación Corine Land Cover, se evalúan los focos y la incidencia de incendios en el departamento de Cundinamarca, donde se aprecia que los años con mayor número de focos son 2004 y 2007. Para el primero ambas temporadas secas muestran picos altos, de 97 focos en febrero y 123 focos activos en agosto. Para el año 2007 la temporada seca de enero a marzo se perfila como la más prolífica en cuanto a detecciones de incendios en la serie, con un pico que alcanza en febrero 135 focos activos y un acumulado en la temporada de 168, la mayor de todos los registros. Desde enero de 2001 hasta mediados de 2007 se observa un alto número de registros, con un promedio anual de 171 focos activos. A partir de abril de este último año, se nota una clara reducción en el número de fuegos detectados en temporadas secas, pero con picos sustancialmente más pequeños que en el lapso anterior, el último registro más alto se da en agosto de 2009 con 29 registros. La causa de esta reducción puede estar ligada a una mejor intervención por parte de las entidades del estado como las Corporaciones Autónomas Regionales y Secretaria de Ambiente Distrital, quienes se han focalizado en reducir los eventos con monitoreo periódico de las zonas con mayor recurrencia y con campañas de vigilancia, educación y sensibilización principalmente en poblaciones campesinas vinculadas directa o indirectamente con los eventos (Amaya & Armenteras, 2012). En Campo Rubiales también se

detectó una importante reducción de las zonas quemadas, gracias a la concientización de las comunidades locales y a la intervención de las industrias de la zona quienes controlan este tipo de quemas.

En general las coberturas se reducen en relación al área total. Los ríos y lagunas perdieron un 0.06% y 0.03% respectivamente, probablemente debido a las condiciones ambientales de la época. El herbazal denso de tierra firme no arbolado, fue la cobertura natural que sufrió más cambios, perdió cerca de un 6.77% de su área a lo largo del tiempo, por los factores que se nombran anteriormente y cuya sucesión más importante es la que se da con el bosque de galería. Las zonas quemadas se reducen notablemente perdiendo un 7.26% del área total del paisaje, lo cual resulta esperanzador para el bienestar de los ecosistemas de la región (Tabla 11).

Por último, al analizar los cambios ocurridos en el paisaje (color rojo en la Figura 34), visualmente se puede detectar que la mayoría de los cambios en la cobertura se presentan hacia el norte de la zona en fronteras con el Río Tillavá, donde la gran mayoría del cambio se da en el herbazal denso de tierra firme no arbolado, el cual es reemplazado por zonas industriales y cultivos permanentes; también se puede notar el importante incremento en el área del bosque de galería, el cual aumenta con relación al Caño Rubiales y se extiende de occidente a oriente por toda la zona. En la Figura 35 podemos ver el porcentaje en la transformación del paisaje que se da en 25 años, el cual corresponde a un 32% del paisaje, similar a otros estudios como el realizado en México, donde el porcentaje de cambio a nivel de paisaje fue de 33% en el periodo comprendido entre 1973 y 1986, pero ligeramente menor en el periodo de 1986 al 2000 con un 27% de cambio a nivel de paisaje (Mendoza & García, 2011). En la zona de Rubiales este cambio se da en gran medida por intervenciones antrópicas, el porcentaje de paisaje que se conserva corresponde al 68% el cual en su gran mayoría pertenece a coberturas naturales.

Figura 34. Cambios en el paisaje durante los años 1988 y 2013.

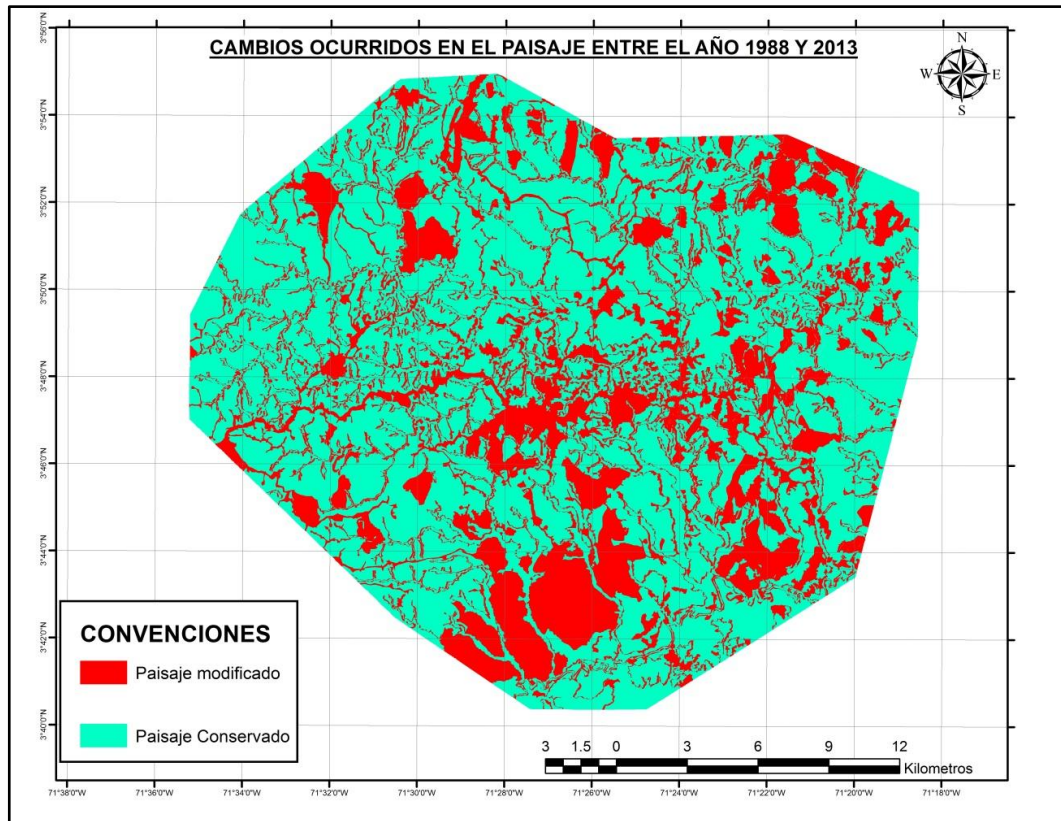
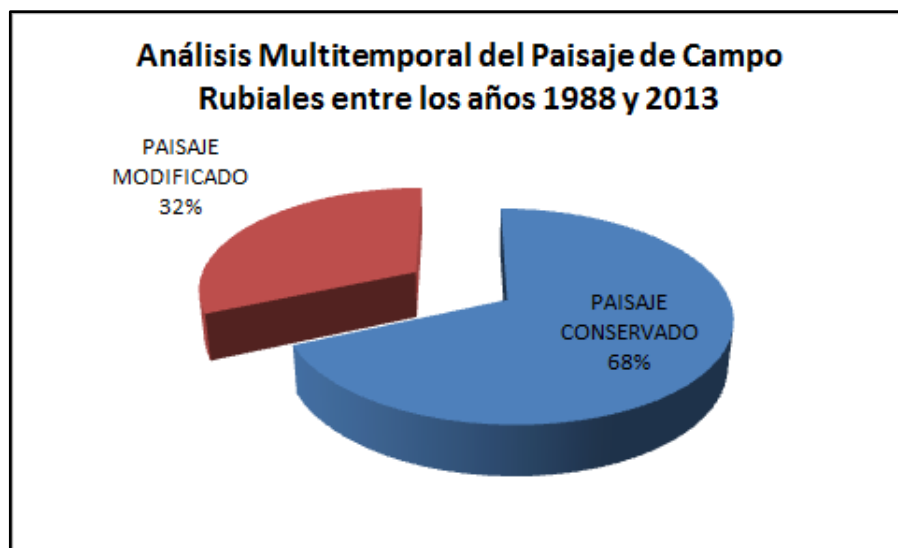


Figura 35. Porcentajes de cambio en las coberturas de Campo Rubiales entre los años 1988 y 2013.



6. CONCLUSIONES

Se evidencia la notable reducción del número de quemas en la zona durante los 25 años, se considera el cambio más importante y positivo para la biodiversidad de la zona.

Se resalta el aumento de aproximadamente 2000 ha y la reducción del número de parches en el bosque de galería; esto indica que los bosques que se encontraban fragmentados se conectaron durante los 25 años.

La actividad antrópica en la zona generó nuevas coberturas que causaron gran impacto en la matriz del paisaje (herbazal denso); esto reduce notablemente su área y aumenta su número de parches.

Los ríos mantuvieron durante los 25 años el 1% del paisaje, el Río Tillavá mantuvo su curso estable, mientras que el Caño Rubiales tuvo pequeños cambios en el curso de su cauce.

Las lagunas tuvieron el porcentaje de cobertura más bajo, 0,08% para el año 1988 y 0,04% para el año 2013.

El herbazal denso de tierra firme no arbolado perdió el 7% de su cobertura durante los 25 años, posiblemente debido al cambio del uso del suelo que pasó de una cobertura natural a una artificial.

En cuanto a la transición de coberturas, un 3,98% de bosque de galería existente en el año 1988 fue reemplazado por herbazal denso de tierra firme no arbolado en el año 2013, y un 6,5% de herbazal denso de tierra firme no arbolado fue

reemplazado por bosque de galería, dando como resultado final una ganancia de 2,8% de bosque en la zona.

Un 0,22% de bosque de galería, existente en el año 1988, fue reemplazado por río en el año 2013, lo cual es probable que se deba a las zonas inundables o a los cambios del curso de los ríos.

En cuanto a actividades antrópicas, el hombre tuvo poca incidencia en la pérdida de bosque de galería, tan sólo un 0,14% de bosque de galería fue reemplazado por zonas industriales.

7. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta que Campo Rubiales es una zona con alta perturbación por actividades extractivas de crudo, se recomienda seguir el comportamiento de las diferentes coberturas del paisaje, aplicando de forma constante técnicas especializadas en sensores remotos y utilizando insumos de mejor calidad que puedan mejorar la resolución, precisión y por tanto, la obtención de las diferentes métricas del paisaje, que permitan tomar decisiones acertadas en cuanto a las acciones de conservación.

Los productos obtenidos por medio del análisis de sensores remotos, permitirían realizar un plan de ordenamiento territorial, que proteja las zonas más vulnerables y se encargue de la distribución de los lugares propicios para las diferentes actividades económicas que se realizan en la región, disminuyendo el impacto que estas tienen en las coberturas naturales.

Teniendo en cuenta que se desarrollan planes de conservación para la región, son necesarios estudios más detallados para obtener información acerca de los cambios que se dan en las coberturas, ya que esta zona es de gran potencial energético.

El bosque de galería asociado al Caño Rubiales, tiene una gran continuidad a lo largo del territorio, protegiendo dicho cuerpo de agua, lo que hace de este un ambiente propicio para mantener la biodiversidad en la zona, además de ser un amplio corredor ecológico. Por lo tanto, se recomienda mayores esfuerzos para mantener este corredor biológico sin perturbaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, S. (2013). Estudio histórico de los cambios en el paisaje de la Sierra de Atapuerca y Alrededores (Burgos), 1956-2009. Tesis de Maestría, España, Universidad Complutense Madrid y Universidad Autónoma de Madrid.

Amaya, D. & Armenteras, D. (2012). Incidencia de incendios sobre la vegetación de Cundinamarca y Bogotá D.C. (Colombia), entre 2001-2010. *Acta Biológica Colombiana* 17(1):143-158

Amenteras D. (2005). Análisis preliminar de patrones del paisaje en paisajes rurales ganaderos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. UNISIG.

Badii, M. & Landeros, J. (2007). Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con Sustentabilidad. *Daena: International Journal of Good Conscience* 2(1):26-38.

Berlanga-Robles, C., Ruiz-Luna, A., Covarrubias-Legaspi, H. & Hernández-Guzmán, R. (2011). Patrones de escurrimiento en la Cuenca Lechuguilla-Ohuira-Navachiste, Sinaloa, asociados a cambios de uso del suelo: Una aproximación con el modelo del número de curva. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 63(1), 39-52.

CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical. (2001). Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los llanos orientales de Colombia. Publicaciones CIAT n0. 32. Cali, Colombia, 2001. 302p.

Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones Rialp S.A. Madrid, 1990. 453 p.

Chuvieco, E. 1996. Empleo de imágenes de satélite para medir la estructura del paisaje: análisis cuantitativo y representación cartográfica. Serie geográfica vol 6, universidad de Alcalá, España.131-147p.

Correa, C. A. (2005). Análisis de la estructura del paisaje en el Área Metropolitana de Buenos Aires mediante el tratamiento visual y digital de imágenes satelitales. Tesis de especialización, Argentina, Universidad Nacional de Lujan.

Correa, H. D, Ruiz, S. L. & Arévalo, L. M. (2005). Plan de acción en biodiversidad de la cuenca del Orinoco – Colombia / 2005 - 2015 – Propuesta Técnica. Bogotá D.C.: Corporinoquía, Cormacarena, I.A.v.H, Unitrópico, Fundación Omacha, Fundación Horizonte Verde, Universidad Javeriana, Unillanos, WWF - Colombia, GTZ –Colombia. 273 p.

Cubides, P. & Daza, H. (2008). Evaluación de deforestación con base en imágenes satelitales, composición y configuración del paisaje en la cuenca alta y media del río Cravo Sur. Tecnologías geoespaciales al servicio del desarrollo territorial. Análisis Geográficos N° 49. 172-188.

Eiden G., Kayadjanian M. & Vidal C. (2000) Capturing landscape structures: Tools. The European Commission, en Agriculture. Available from: <http://ec.europa.eu/agriculture/publi/landscape/ch1.htm>

Esri. (2012). ArcGIS Resources. Available from: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#/na/00qn00000056000000/>

Esri. (2013). Conjunto de herramientas de generalización. Available from: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#//00170000005n000000>

Etter, A. (1991). Introducción a la Ecología del Paisaje. IGAC. Bogotá

Fernández, A. (2005). Estudio multi-temporal de cambio de coberturas en un sector de los municipios de Circasia y Filandia (Quindío, Colombia). Una aproximación desde los modelos basados en agentes (ABM). Tesis de pregrado en Ecología. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C. 170 p.

Forman, R. T. T. & Godron, M. (1986). Landscape Ecology. John Wiley & Sons, New York. 619 p.

GeoPlaDes CIA. LTDA (2009) Estudio Multitemporal del Nor-Oriente del Ecuador. The Nature Conservancy. 31 pp.

Herrera Ariza, N. A (2009) Plan prospectivo agropecuario, Puerto Gaitán 2020. Alcaldía de Puerto Gaitán. 361p

IDEAM (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.

IDEAM, IGAC & CORMAGDALENA. (2008). Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y corporación autónoma regional del río grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p. + 164 hojas cartográficas.

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2012). Manual de percepción remota con el programa ERDAS Imagine 2011, Bogotá D.C.

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2013). Análisis multitemporal de imágenes multiespectrales orientado al monitoreo de inundaciones. Bogotá D.C.

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004) Geología. Formato digital. Escala 1:500000. Mapa geología del departamento del Meta. Available from: <http://www.meta.gov.co/es/el-meta-2/mapas/mapa-de-geologia-del-departamento-del-meta/>

IGAC. (2004). Instituto GeoMapa Agustín Codazzi. Geomorfología. Formato digital. Escala 1:500000. Mapa geomorfología del departamento del Meta. Available from: <http://www.meta.gov.co/wp-content/uploads/2012/12/80-geomorfologia.pdfIns>

INTERGRAPH (2011). ERDAS IMAGINE. Available from: <http://download.intergraph.com/downloads/erdas-imagine-2011>

Irastorza, P. (2006). Integración de la ecología del paisaje en la planificación territorial. Aplicación a la comunidad de Madrid. Available from: http://oa.upm.es/468/1/PEDRO_IRASTORZA_VACA.pdf. (Consultado el 28 de enero de 2014).

Lang, S. & T. Blaschke (2007): Landschaftsanalyse mit GIS, UTB-Reihe. - Ulmer Verlag, Stuttgart, 420 pages.

Lang, S. & Tiede, D.(2003): vLATE Extension für ArcGIS - vektorbasiertes Tool zur quantitativen Landschaftsstrukturanalyse, Esri Anwenderkonferenz 2003 Innsbruck. CDROM

Lozano P. & García-Valencia C. (2001). Sistemas de información geográfica y sensores remotos, herramientas de apoyo en la caracterización y diagnóstico de las zonas costeras en Colombia. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés.

Mendoza, G. E. & García, K.P. (2011) Análisis multitemporal de uso y cobertura del suelo en el Municipio de Manaure-Guajira-Colombia, Implementando imágenes landast. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil. 6442-6449

Moreira A. (1996) Los Sistemas de Información Geográfica y sus aplicaciones en la conservación de la diversidad biológica. Ambiente y Desarrollo. 12(2): 80-86

Riveros S. (1983). La Orinoquía Colombiana. Sociedad Geográfica de Colombia, 118(36): 1-9.

Rodríguez, L. M. S., Beaulieu, N. & Sanabria, Y. R. (2011) Planificación del uso de la tierra en los Llanos Orientales Colombianos, basado en unidades de paisajes. Estudio de caso: Municipio de Puerto López-Meta. 78p.

Rodríguez-Loinaz, G., Amezaga, I., San M. & Peña L. (2007). Análisis del paisaje de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai. Forum de sostenibilidad catedra UNESCO. 1:59–69.

Romero M.H., Maldonado-Ocampo J.A., Bogotá-Gregory J.D., Usma J.S., Umaña-Villaveces A.M., Murillo J.I., Restrepo-Calle S.L., Aldana Dominguez J. & Payán E. (2009). Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2007-2008: piedemonte orinoquense, sabanas y bosques asociados al norte del río Guaviare. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia. 151 p.

Sánchez-Rojas, G. & Rojas-Martínez, A. (2007). Tópicos en Sistemática, Biogeografía, Ecología y Conservación de Mamíferos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 217 p.

Turner, M. G., Gardner, R. H. & O'Neill, R. V. (2001). Landscape ecology in theory and practice: pattern and process. Springer, New York.