
CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL DEL PAISAJE CAFETERO EN LA CUENCA ALTA DEL RIO SAN JUAN, SUROESTE ANTIOQUEÑO, COLOMBIA

Alba Lucia Marín Valencia¹, Luís Jairo Toro Restrepo² & Sandra Inés Uribe Soto³

1. Ing. Forestal. Investigadora asociada Grupo de Investigación en Sistemática Molecular

2. MSc. Ing. Forestal. Profesor asociado. Laboratorio Manejo Forestal. Dir. Grupo de Investigación Teledetección y Manejo Forestal

3. PhD. MSc. Ing. Agrónoma. Profesora asociada. Dir. Grupo de Investigación en Sistemática Molecular Universidad Nacional de Colombia sede Medellín

almarin@unal.edu.co, ljtoro@unalmed.edu.co

Recibido para evaluación: 22 de Agosto de 2007 / Aceptación: 18 de Junio de 2008 / Recibida versión final: 23 de Junio de 2008

RESUMEN

Se estudiaron variables estructurales del paisaje en 19464 (ha) del norte de la cordillera occidental de los Andes con presencia de vegetación natural, pastos y cultivos. Se incorporaron herramientas de teledetección y análisis de imágenes satelitales SPOT del 2001 y se realizó una clasificación supervisada con ocho categorías: Bosque Nativo (B), Café sin sombra (C_{ss}), Café con sombra (C_s), Rastrojos (R_s), Pastos (P), Nubes (N), Sombras de Nube (S_n) e Infraestructura (I). El patrón del paisaje fue caracterizado en términos de su composición, configuración y forma de los elementos de este, el grado de conectividad estructural de los fragmentos de bosque con base en métricas del paisaje utilizados para evaluar la fragmentación. En términos generales el paisaje en esta zona presenta alta heterogeneidad debido al número de parches (849 de las coberturas vegetales). Los bosques y rastrojos existentes poseen 214 y 251 parches respectivamente, con tamaños pequeños distantes entre sí. Las coberturas dominantes son los pastos y el café bajo sombra; éstos presentan los parches más grandes de la zona y de mayor continuidad.

PALABRAS CLAVES: Patrón del paisaje, Clasificación de coberturas, Sensores remotos, Conectividad del paisaje, Paisaje cafetero, Río San Juan, Antioquia, Colombia.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine landscape pattern in 19464 (ha) in the north of the western Andes mountain (Antioquia, Colombia), with presence of natural vegetation, pastures and crops. We used remote sensing tools and analysis from an SPOT XS satellite image from 2001. The analysis was to make with a supervised classification with eight categories: Forest, shade coffee, coffee, height regrowth, pastures, clouds, shade clouds and urban. The landscape patterns were quantified by considering parameters of shape, composition and configuration; as well the structural connectivity of the forest fragments based in landscape metrics used for study the fragmentations. In general it was observed that the landscape present height heterogeneity due to the number of patches (849 in natural coverage). The forest and height regrowth has 214 and 251 patches respectively, with smalls sizes and very distant. The dominant covers are the pastures and shade coffee, those present the biggest patches and are the most continuous.

KEY WORDS: Landscape pattern, Classification of covers, Remote sensor, Landscape connectivity. Coffe plantation landscape, San Juan river, Antioquia, Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

Los paisajes actuales son el resultado de la interacción entre factores bióticos y abióticos incluyendo aspectos como la variabilidad en las condiciones climáticas, la topografía, los suelos y la dinámica de los disturbios naturales; así mismo, los paisajes reflejan las interacciones que originaron patrones espaciales, aún bajo condiciones homogéneas como en el caso de la sucesión vegetal. El uso del suelo y la actividad antrópica son también de gran importancia en la configuración del paisaje (Forman y Godron, 1981; Malanson y Cramer, 1999; Pickett y Cadenasso, 1995; Turner et al 2001).

Los Andes colombianos; una región caracterizada por su complejidad geomorfológica, representada por tres amplios ramales (cordilleras oriental, central y occidental), los valles interandinos (Valles del Cauca y Magdalena) y otras formaciones periféricas; poseen una alta riqueza biológica y paisajística, debida a procesos orogénicos, ecológicos y evolutivos. Paradójicamente, esta región también presenta una intensa presión antrópica, pues gran parte de la población colombiana está concentrada en esta zona y la tendencia a la parcelación ha hecho que se cultiven tierras en forma más intensiva y se exploten los recursos naturales indiscriminadamente, dando lugar a la continua pérdida, fragmentación y degradación de los hábitats (Kattan et al, 2004; WWF, 2001).

La fragmentación progresiva y dinámica del uso del suelo en las áreas naturales por el aumento de las tierras dedicadas a la agricultura, implica una reducción del área de los fragmentos y una pérdida de la complejidad estructural del paisaje (Numa et al 2005). La agricultura genera un impacto directo sobre el paisaje y los procesos ecológicos, necesarios para la persistencia de las poblaciones y el mantenimiento de la diversidad, a través de la conversión del uso del suelo y la intensificación de los cultivos (D'Eon et al 2002; Jordán, 2003; Kattan, 2002; McGarigal, 2002; Moss, 2000; Rutledge, 2003).

El estudio de la conectividad estructural y la caracterización del patrón del paisaje, en estas áreas con gran presión antrópica, permitiría describir el continuo natural del mismo y denotar las uniones entre hábitats, especies, comunidades y procesos ecológicos. Mediante el análisis de la estructura espacial de este paisaje en aspectos como la forma, la composición y la configuración del conjunto de parches, podría estimarse la cantidad y la intensidad de las intervenciones antrópicas (Gustafson, 1998; McGarigal y Marks, 1995; Malanson y Cramer, 1999; Riitters et al 1995; Turner et al 2001).

En el presente trabajo, se estudió el paisaje en ecosistemas del norte de la cordillera occidental de los Andes colombianos, una zona dominada por la actividad cafetera, al suroeste del departamento de Antioquia. La intención fue realizar la caracterización del patrón de este paisaje cafetero, incorporando herramientas de teledetección y análisis de imágenes satelitales para determinar el grado de conectividad estructural de los fragmentos de bosque con base en métricas del paisaje utilizados para evaluar la fragmentación. Este análisis constituye una base para el conocimiento de la problemática ambiental, en aspectos importantes de la ecología del paisaje en zonas altamente intervenidas y modificadas por el hombre, como ésta, donde históricamente el cultivo del café ha marcado la economía de la región sin mayores esfuerzos por la conservación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El área de estudio comprende un sector del suroeste antioqueño en la cuenca alta del Río San Juan, en la vertiente oriental de la cordillera occidental de los Andes colombianos (Figura 1). El relieve es montañoso con pendientes fuertes. Abarca tierras al sur en las márgenes del río Cauca y es la más cafetera del departamento. También se cultiva caña de azúcar, maíz, yuca y plátano y algunas áreas están dedicadas a la ganadería. La cuenca principal de esta zona es el río San Juan que nace en el Cerro de Paramillo (3000 m.s.n.m aprox.), y desemboca en el río Cauca (1000 m.s.n.m) (Rodríguez, 1998).

Las imágenes satelitales utilizadas en el análisis corresponden a dos imágenes SPOT XS del año 2001 suministradas por CORANTIOQUIA, que comprenden la región del suroeste antioqueño, específicamente el cañón del río San Juan. El método utilizado para el análisis de la imagen se basó en la aplicación de técnicas de procesamiento digital, los tratamientos aplicados a la imagen en este trabajo, se realizaron con el software ERDAS IMAGINE 8.5® (ERDAS Imegery Inc., Atlanta, USA, 2002); siguiendo la metodología propuesta por Agudelo y Restrepo (2004) y Chuvieco (2000).

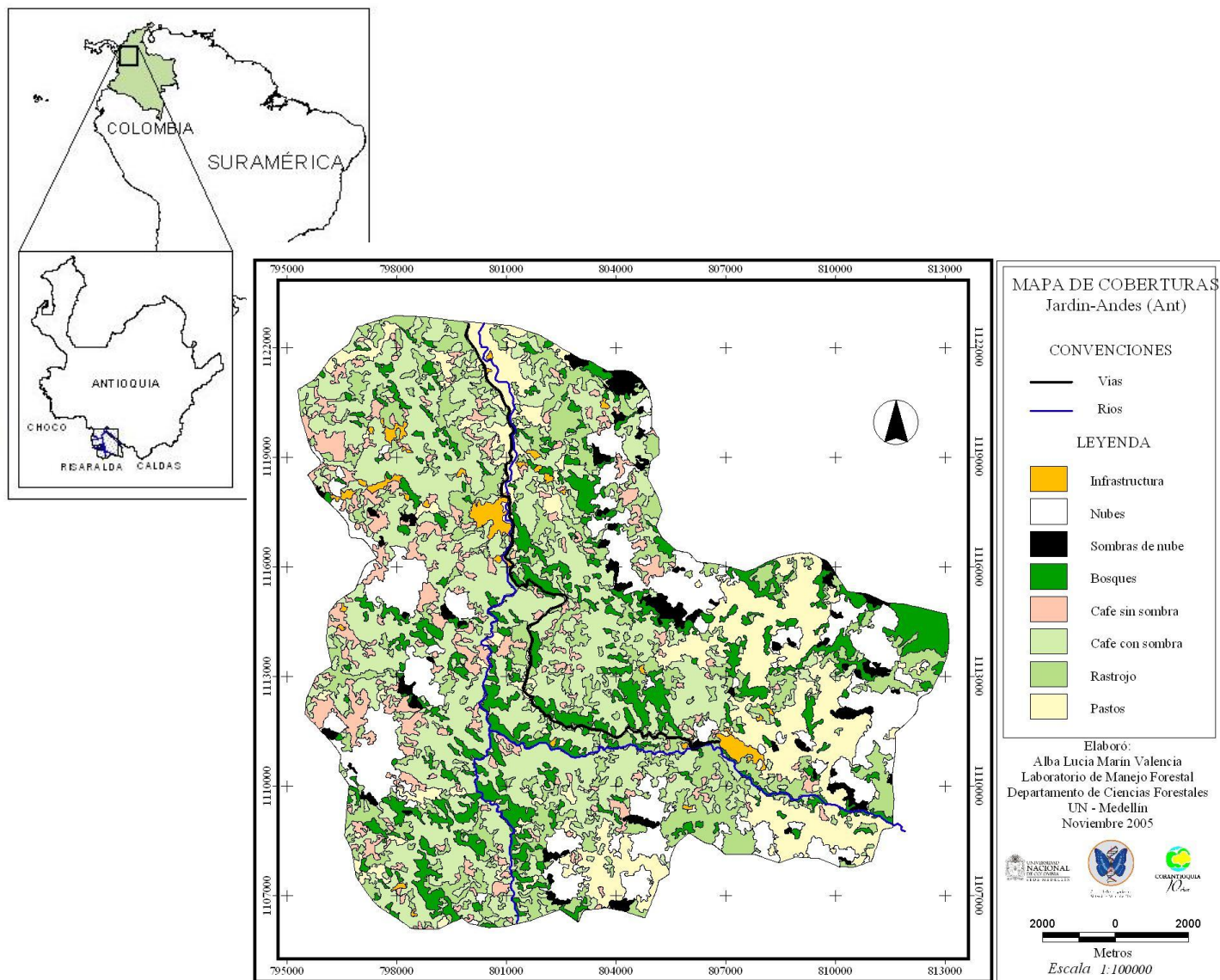


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Imágenes satelitales y procesamiento de la imagen satelital.

Para mejorar la interpretación de las imágenes se consideraron los siguientes aspectos: realces o ajustes en el contraste de la imagen, se aplicó un filtro de paso alto (matriz de 3x3), el cual remarca digitalmente los contrastes entre los píxeles vecinos, enfatizando en los elementos con formas regulares como las carreteras, parcelas o cultivos y el índice de vegetación normalizado (NDVI); éste fue calculado para cada imagen para resaltar las coberturas vegetales dado que éstas presentan altos contrastes en las bandas rojo (banda 2) e infrarrojo cercano (banda 3).

2.2. Clasificación de la imagen

Se realizaron los dos tipos de clasificación con 8 categorías o clases. Estas fueron establecidas teniendo como base información previa de campo georreferenciada e información de la combinación de las bandas, el NDVI y los componentes utilizados en el realce de la imagen. Se realizó una Clasificación supervisada, donde se asignaron 10 muestras o semillas y posteriormente se hizo un análisis de separabilidad. Finalmente la fase de comprobación y reclasificación consistió en una comprobación preliminar con información de campo y la selección de puntos críticos que no se ajustaron a la clasificación, reasignando sus áreas por corrección directa o asignación individual de polígonos a una determinada cobertura, siempre comparándola con la imagen original.

También se realizó una clasificación no supervisada, con el fin de obtener una base de comparación con la clasificación anterior; fue realizada con 8 clases identificadas por el software. A partir de estos análisis se continuó el proceso con la imagen clasificada por el método supervisado y se le aplicó el filtro de 3x3 Neighborhood con la función Majority con el objeto de reducir el ruido causado por píxeles aislados. Estableciendo así un área mínima de mapeo correspondiente a 2 ha. Se realizaron procesos de suavización, corrección de la imagen en formato raster por medio de los comandos del software ArcInfo 8.0.1 y ArcGis 8.

2.3. Análisis del patrón del paisaje

Para realizar el análisis del patrón del paisaje y de la conectividad estructural de los bosques, se seleccionaron los índices que aparecen en la Tabla 1. Estos son comúnmente utilizados en estudios de fragmentación y se evaluaron mediante el software FRAGSTATS 3.3® (McGarigal y Ene, 2001) y la extensión Patch Analyst (Rempel y Carr, 2003) en ArcView 3.2®

Tabla 1. Índices del paisaje.

Característica	Índice	Símbolo
Composición	Número de parches	NP
	Área de Clase	CA
	Densidad de Parches	PD
	Porcentaje del paisaje	PLAND
	Índice del parche más Grande	LPI
Configuración	Índice de proximidad	PROX_MN; SD; CV*
	Distancia Euclidiana al vecino más cercano	ENN_MN; SD; CV
	Índice de conectividad (radio: 1000 m)	CONNECT
	Índice de cohesión	COHESION
Forma	Índice medio de la Forma	SHAPE_MN; SD; CV
	Dimensión Fractal	FRAC_MN; SD; CV
Diversidad	Área total del paisaje	TA
	Número de parches total	NP
	Riqueza de parches	PR
	Densidad de riqueza de parches	PRD

Tomado de Rutledge, 2003 y Mcgarigal et al 2001

* MN: Media; SD: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

3. RESULTADOS

3.1. Clasificación de la imagen, constitución de la leyenda y mapa de coberturas

La clasificación de la imagen se realizó por los dos métodos, donde se eligió trabajar con el producto de la clasificación supervisada ya que en la no supervisada el producto estaba afectado por la posición del sol (efecto sombra), es decir, mostraba un patrón de distribución en algunas clases sólo en el lado sombreado de las vertientes y presentaba confusión entre clases. Siguiendo la metodología de Agudelo y Restrepo (2004) y de acuerdo con los ND de cada imagen y las tonalidades se procedió a establecer las coberturas (Tabla 2)

Tabla 2. Coberturas empleadas en el análisis

Cobertura	Símbolo
Zona urbano, infraestructura	I
Nubes	N
Sombras de nube	Sn
Bosque	B
Café sin sombra	Css
Café bajo sombra	Cbs
Rastrojos	Rs
Pastos	P

Los mapas presentados se realizaron utilizando la proyección conforme Gauss, con origen en el observatorio astronómico de Bogotá y coordenadas de origen 4°35'56.57"N y 74°04'51.30"E. A partir de la cartografía digital de coberturas en formato vector se construyó una capa digital en formato raster con tamaño de píxel de 8 metros, a partir del cual se realizó el análisis del patrón del paisaje.

3.2. Patrón del paisaje

Aspectos generales y diversidad del paisaje (Tabla 3)

El área de estudio corresponde a un paisaje de 19.464 ha de extensión y posee 8 tipos de coberturas distribuidas en 985 parches para así obtener un densidad de los tipos de cobertura de 0.041 clases/ha.

Tabla 3. Índices de Diversidad del paisaje.

Índice	Valor
TA	19464,3 (ha)
NP	985 (# parches)
PR	8 (# clases)
PRD	0.0411 (#clases/ha)

3.3. Composición (Tabla 4)

El área de estudio, según el número de parches (NP), está conformada por 849 parches de las diferentes coberturas vegetales con una densidad de parches (PD) promedio de 0.87 parches/ha, siendo las coberturas con mayor número de parches los Rastrojos (Rs) (NP: 251 y PD: 1,3) y los Bosques (B) (NP: 214 y PD: 1,1), además de las coberturas vegetales el paisaje presenta 30 parches de infraestructura (I) con la densidad más baja de PD: 0,1 parches/ha.

De acuerdo con los índices área de clase (CA) y porcentaje de clase en el paisaje (PLAND), se encontró que el área de estudio está dominada por las coberturas **Cbs** con un CA: 6305,42 ha y PLAND: 32,4% y por **Rs** con un CA: 3407,1 ha y PLAND: 17,5%. Las coberturas **P** y **B** poseen una representatividad media (PLAND: 14,2% y 12,1% respectivamente) y finalmente, entre las coberturas vegetales el **Css** mostró el valor más bajo con un CA: 1354,4 ha y PLAND: 7%.

Según el índice del parche más grande (LPI) la coberturas de **P** y **Cbs** contienen los parches más grandes (LPI: 8,46% y 6,25% respectivamente), es decir, estos parches ocupan aproximadamente el 15% del paisaje total. Siendo las coberturas vegetales **B** y **Css** con el menor valor en LPI (0,87 y 0,53% respectivamente).

En cuanto al índice del área media de los parches (ÁREA_MN) la coberturas **P** y **Cbs** poseen los valores más altos (ÁREA_MN: 62,9 ha y 40,68 ha respectivamente) pero además están asociados a una alta variabilidad, como lo demuestran los valores de desviación estándar (ÁREA_SD) (251,51 ha y 156,15 ha respectivamente) y el coeficiente de variación (ÁREA_CV) para este índice (399,8 % y 383,8% respectivamente), es decir, a pesar de que estas coberturas posean un valor promedio de área de los parches alto y como se vio anteriormente, poseen el parche más grande dentro del paisaje, estas coberturas también poseen parches muy pequeños.

Tabla 4. Índices de Composición del paisaje.

COBERTURA	CA (ha)	PLAND (%)	NP (Parches)	PD (par/ha)	LPI (%)	AREA_MN (ha)	AREA_SD (ha)	AREA_CV (%)
I	270,94	1,39	30	0,15	0,46	9,03	17,99	199,23
N	2497,09	12,83	51	0,26	1,65	48,96	73,63	150,39
Sn	496,62	2,55	55	0,28	0,31	9,03	10,86	120,26
B	2364,81	12,15	214	1,10	0,88	11,05	21,19	191,78
Css	1354,39	6,96	185	0,95	0,54	7,32	11,22	153,27
Cbs	6305,42	32,39	155	0,80	6,25	40,68	156,15	383,84
Rs	3407,09	17,50	251	1,29	1,75	13,57	28,33	208,71
P	2767,99	14,22	44	0,23	8,46	62,91	251,51	399,80

3.4. Configuración (Tabla 5)

Según el índice de proximidad media (PROX_MN) las coberturas **P** y **Cbs** poseen un valor más alto respecto a las demás coberturas vegetales (PROX_MN: 3668,74 y 2731,46 respectivamente) lo que indica que en un radio de 1000 m se pueden encontrar más parches de la misma clase, indicando una mayor vecindad o contigüidad en estas coberturas. Mientras que las coberturas **B** y **Rs** poseen los valores bajos indicando algún grado de fragmentación ya que son las coberturas con mayor número de parches.

Según el índice de distancia media el vecino más cercano (ENN_MN) los pastos poseen el valor más alto, esto indica que los vecinos más cercanos a cada parche se encuentra en promedio a 459 m. Esto además corresponde también al bajo número de parches de pasto pero con áreas considerables como se explicó anteriormente.

Tabla 5. Índices de Configuración del paisaje.

COBERTURA	PROX_MN* (-)**	PROX_SD (-)	PROX_CV (-)	ENN_MN (m)	ENN_SD (m)	ENN_CV (%)
I	12,84	38,65	301,06	530,99	679,28	127,93
N	421,26	1071,56	254,37	196,40	296,88	151,16
Sn	14,02	50,34	359,04	510,95	396,30	77,56
B	95,84	332,72	347,15	160,02	160,53	100,32
Css	32,13	80,44	250,38	195,31	202,06	103,46
Cbs	2731,46	8756,59	320,58	93,16	138,62	148,79
Rs	104,86	370,04	352,89	142,85	133,02	93,11
P	3668,74	19925,31	543,11	459,96	454,35	98,78

* PROX_MN calculado para un radio de influencia de 1000 m alrededor de cada parche.

**(-) significa sin unidades

3.5. Forma (Tabla 6)

Según el índice medio de la forma (SHAPE_MN) de los parches, las coberturas **P** y **Cbs** poseen los valores más altos (SHAPE_MN: 2,405 y 2,122) así como su variabilidad, indicando que en promedio los fragmentos son de formas muy irregulares, contrario a éstos los valores menores (SHAPE_MN; SD y CV) se encontraron en la cobertura **Css** ya que son cultivos de poca extensión y se establecen en formas regulares. Esto también se observa con el resultado obtenido para el índice de dimensión fractal (FRAC_MN; SD y CV) donde los valores mayores que 1 corresponden a figuras más irregulares.

Tabla 6. Índices de Forma del paisaje.

COBERTURA	SHAPE_MN (-)	SHAPE_SD (-)	SHAPE_CV (%)	FRAC_MN (-)	FRAC_SD (-)	FRAC_CV (%)	PAFRAC (-)
I	1,749	0,507	29,001	1,097	0,039	3,518	1,271
N	2,093	0,759	36,259	1,109	0,043	3,904	1,316
Sn	1,669	0,385	23,061	1,089	0,032	2,935	1,441
B	1,944	0,663	34,116	1,112	0,042	3,742	1,427
Css	1,794	0,456	25,404	1,103	0,035	3,135	1,418
Cbs	2,122	1,503	70,817	1,109	0,052	4,656	1,472
Rs	2,023	0,722	35,688	1,116	0,043	3,842	1,487
P	2,405	1,531	63,652	1,129	0,053	4,664	1,581

3.6. Conectividad del paisaje

De acuerdo con los índices de conectividad CONNECT y COHESION, los cuales definen la proporción de "uniones" posibles y funcionales para cada tipo de cobertura. Las coberturas con mayor valor para ambos índices son los **I**, **P** y **Cbs**. También se observa el comportamiento de la conectividad con el aumento del radio de conectancia (1000, 2000 y 5000 m), estas coberturas mantienen la tendencia de conectividad aumentando entre 1 y 2% respectivamente. Otras coberturas como **Css** presentan un porcentaje de conectancia mayor a partir de 2000 m, presentando una variación entre 1.7% (para 2000 m) y 3.06% (para 5000 m).

Se presenta de manera gráfica algunas configuraciones del paisaje para coberturas como los Bosques y los Rastrojos, importantes en la conservación de especies propias de zonas, éstas se podrían considerar como corredores biológicos o zonas de paso y dispersión para diversas especies. Se observa que existe mayor conexión entre las coberturas Bosque-Café bajo sombra que entre las coberturas naturales Bosque-rastrojos. (Tabla 7 y Figuras 2, 3 y 4.)

Tabla 7. Índices Conectividad del paisaje.

COBERTURA	CONNECT 1000m (%)	CONNECT 2000m (%)	CONNECT 5000m (%)	COHESION (-)
I	7,3563	14,9425	45,2874	98,9594
N	5,6471	10,902	31,451	99,5486
Sn	4,0404	9,697	29,0909	98,6926
B	3,2337	8,4683	32,9121	99,0261
Css	3,4078	9,1657	37,2327	98,6331
Cbs	4,9686	10,6075	33,0624	99,7827
Rs	3,3307	8,6311	33,4215	99,169
P	5,2854	12,0507	38,6892	99,8279

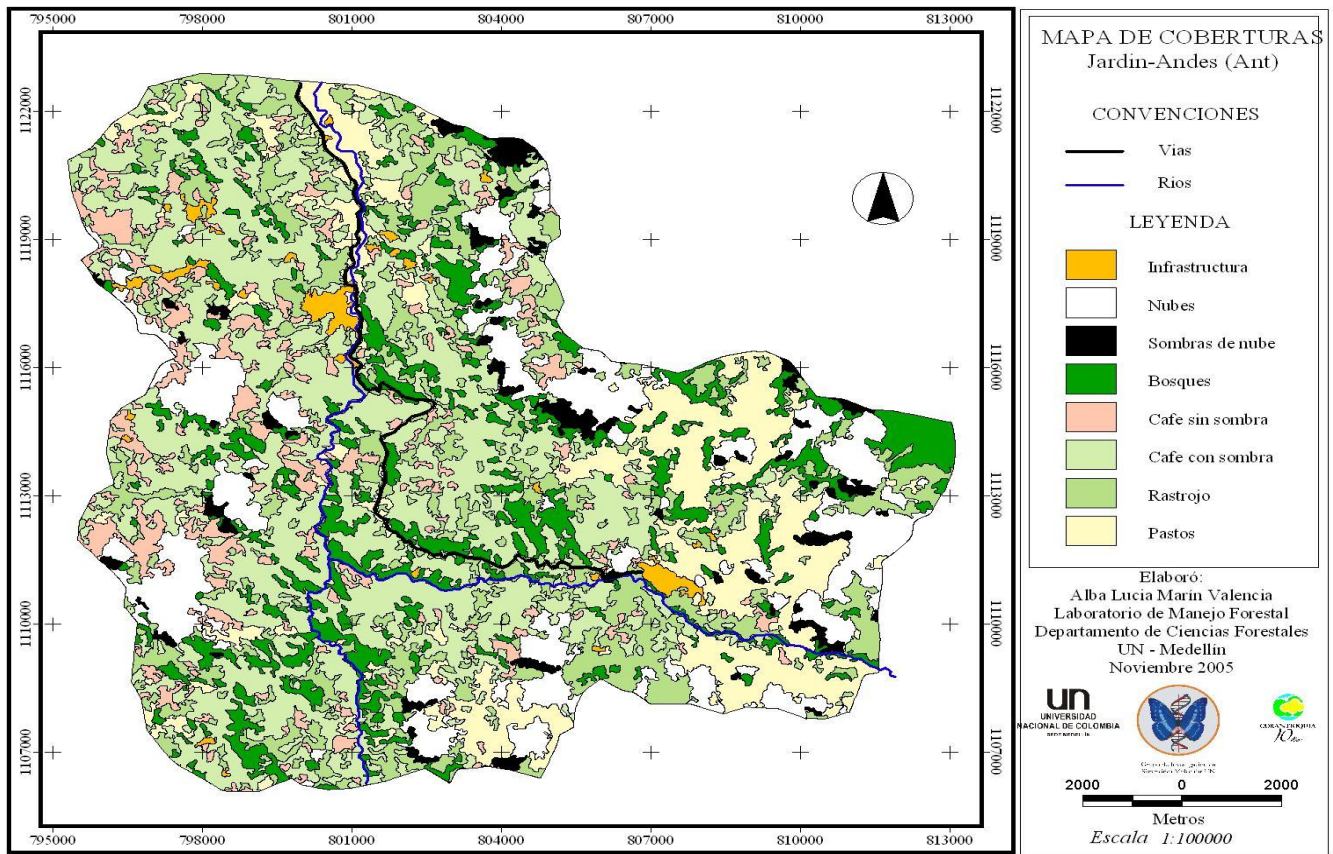


Figura 2. Mapa de coberturas vegetales.

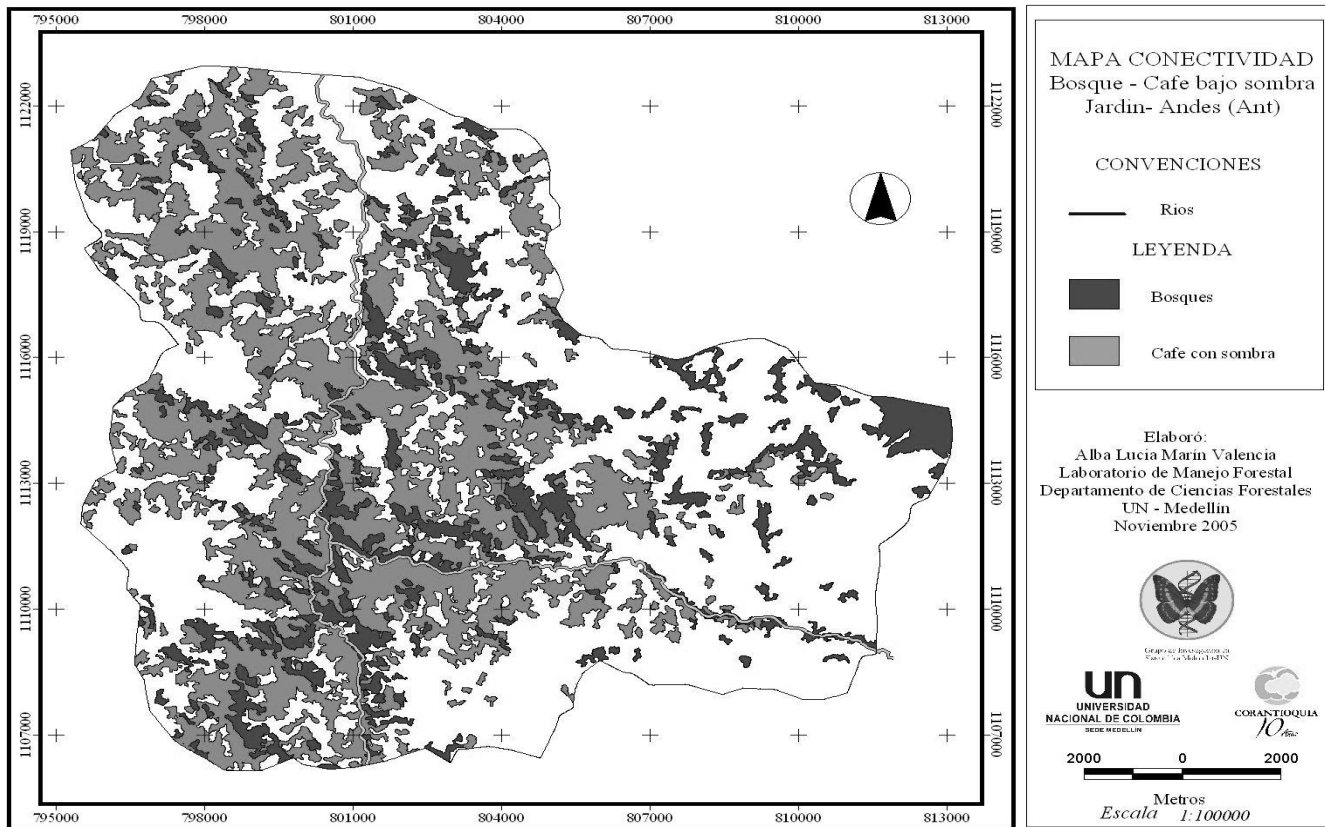


Figura 3. Mapa de conectividad Bosque (negro) - Café bajo sombra (gris)

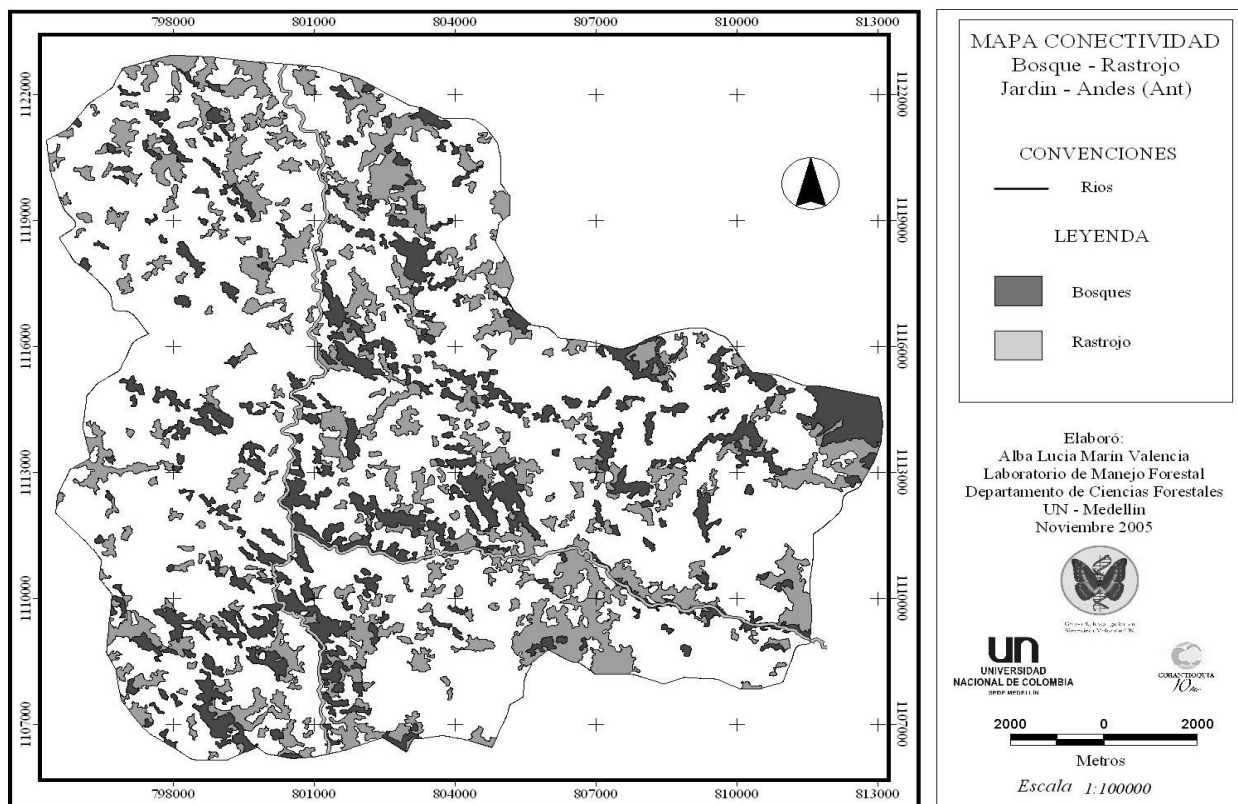


Figura 4. Mapa de conectividad Bosque (negro)- Rastrojo(gris).

4. DISCUSIÓN

La integración de la información aportada por los sensores remotos, los Sistemas de Información Geográfica e información de campo (socio-económica, biológica o ecológica) permiten un acercamiento a las características de la superficie terrestre, los procesos y patrones espaciales (Nagendra et al 2004). En nuestro caso, con el uso de imágenes SPOT se observó y diferenció por medio de los procesos de realce, las coberturas más representativas de esta región, pudiendo comparar entre dos métodos de clasificación, donde se observó un efecto de la sombra en la imagen clasificada sin supervisión. En la imagen clasificada por supervisión se diferenciaron las coberturas de este paisaje con base en información aportada por los valores de NDVI, PCA y la imagen original, lo que permitió ser más precisos en la escogencia y diferenciación de ocho categorías de las cuales cinco son de vegetación y tres corresponden a la infraestructura, nubes y sombras de nube.

Los paisajes rurales, aquellas zonas que han sido modificados e influenciados por las actividades agrícolas intensivas (acciones antrópicas), se han convertido en un mosaico de sistemas productivos y remanentes de hábitats naturales que presentan una configuración que es dinámica y heterogénea a diversas escalas temporales y espaciales (Arroyo-Mora et al 2005; Burel y Baudry, 2005). De acuerdo con el análisis del paisaje para el año 2001, en forma general se puede afirmar que el paisaje está compuesto por 985 parches, de los cuales 849 corresponden a coberturas vegetales lo que implica una densidad de 0,87 parches/ha. El paisaje está dominado por coberturas de pastos y cultivos de café bajo sombra, pero está sectorizado como lo indicó el LPI y el bajo número de parches con tamaños grandes, también estas coberturas son las que poseen una mayor vecindad o contigüidad respecto a las demás. Los bosques y rastrojos, como coberturas naturales, poseen un alto número de parches pero con áreas en promedio bajas y se encuentran aislados, esto concuerda con Numa et al (2005), en su estudio en el departamento de Quindío, donde los parches agrícolas dominan el territorio y los fragmentos de bosque aparecen altamente fragmentados bajo una reducción del área de los parches y pérdida progresiva de la complejidad estructural. Según Southworth et al (2005), la expansión de la agricultura y en especial de la producción de café en Honduras ha conducido a incrementar la presión en los límites algunos parques naturales.

En estudio realizado por Numa et al (2005) encontraron mayor riqueza de murciélagos en parches de café bajo sombra y relictos de bosques que en los cultivos limpios, además, concluyó que el hecho que el café con sombrero muestre una estructura de cobertura intermedia entre el bosque y el café limpio determina la conectividad entre los parches de los agroecosistemas. Así, en este estudio, de acuerdo con la evaluación gráfica de la conectividad entre las coberturas Bosque - Rastrojo y Bosque - Café bajo sombra fue posible comparar y determinar que existe una mayor continuidad en la segunda opción y aunque se trate de un cultivo también el Café bajo sombra presenta característica muy similares a las coberturas boscosas intervenidas, en aspectos de humedad, sombra, refugio y áreas de paso para diversos organismos como mamíferos, artrópodos y aves.

El Centro Nacional de Investigación en Café (Cenicafé) reporta las aves que aprovechan el ecosistema cafetero como el Pechiamarillo (*Myiozetetes cayannensis*), Mayo (*Turdus ignobilis*), Colibrí Orejivioleta (*Colibri coruscans*), Pichofué (*Pitangus sulphuratus*), Patico (*Todirostrum cinereum*), Azulejo Común (*Thraupis piscopus*), Gavilán Caminero (*Buteo magnirostris*), pielerito (*Coereba laveola*), Azulejo Palmero (*Thraupis palmarum*), Sirirí rayado (*Myiodinastes maculatus*), Lorito Cascabelito (*Forpus conspicillatus*), Calandria (*Euphonia lanirostris*). En los ecosistemas de rastrojo se tienen aves como Miraparríba (*Nyctibius griseus*), Mielero Verde (*Chlorophanes spiza*) Soledad (*Piaya cayanna*), Mosquitero Aceitunado (*Mionectes oleagineus*), Barranquillo (*Momotus momota*). Cenicafé también reporta 27 especies de mariposas ubicadas en 7 familias para la zona cafetera. La importancia ecológica de las aves, sumada a los insectos, mamíferos y reptiles presentes en los ecosistemas con coberturas leñosas, permiten sugerir la importancia de brindar continuidad a los parches y corredores de estos ecosistemas.

5. CONCLUSIONES

Los sensores remotos (la combinación de diversas fuentes de información) y los Sistemas de Información Geográfica, se han convertido en herramientas para el análisis de las coberturas de la superficie terrestre y el análisis del patrón espacial del paisaje en aspectos como la composición y distribución a escalas temporales y espaciales variables.

El manejo y edición de las imágenes satelitales por medio de la aplicación de índices (NDVI) y realces a los ND permite la diferenciación de las coberturas con mayor precisión, ya que sirven de ayuda en el aspecto visual para el proceso de clasificación. En este proceso, los métodos utilizados sirven de comparación y posible identificación de áreas con confusión, debido a que la clasificación no supervisada define grupos de clases espectrales homogéneas y la supervisada es un método subjetivo que parte del conocimiento del área por parte del investigador, es así como estas metodologías se pueden integrar y así realizar un método mixto. Es importante hacer un análisis estadístico y de comparación entre las matrices de contingencia y separabilidad para evaluar la probabilidad de confusión entre categorías.

El análisis del patrón del paisaje da una idea de la configuración y composición de la zona en un momento dado, esta información integrada con datos biológicos y ecológicos permite el estudio de la ecología del paisaje y la posibilidad de generar políticas y estrategias de manejo a favor de la conservación y el bienestar de los habitantes de la zona. A partir del análisis de la estructura del paisaje, en términos generales se puede concluir que el paisaje en esta área presenta alta heterogeneidad debido al gran número de parches. Las coberturas de bosques y rastrojos existentes poseen un número de parches alto, con tamaños pequeños y se encuentran muy distantes. Las coberturas dominantes son los pastos y el café bajo sombra, estos presentan los parches más grandes de la zona y además poseen mayor continuidad.

La conectividad del paisaje se ve representada por los posibles corredores o zonas de paso que se pueden configurar por coberturas que presenten menor resistencia a la movilidad de los organismos. Es así como se observan algunas áreas homogéneas y con mayor proporción en la conectividad entre los bosques y el cultivo de café bajo sombra, este último promueve la conectividad entre fragmentos de bosque andino a través de la promoción de agroecosistemas cafeteros permitiendo de alta diversidad biológica.

AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Investigación en Sistemática Molecular y al Laboratorio de Manejo Forestal de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

REFERENCIAS

- Agudelo R., E.A. y Restrepo M., J.C., 2004. Análisis multitemporal de coberturas vegetales en un bosque húmedo tropical (Río Porce, Colombia). Trabajo de grado Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. 41 P.
- Arroyo-Mora J.P, Sánchez-Azofeifa, G.A, Rivard, B. Calvo, J.C. y Janzen D.H., 2005. Dynamics in landscape structure and composition for the Chorotega region, Costa Rica from 1960 to 2000. En: *Agriculture, Ecosystems and Environment* N°106. pp. 27-39
- Burel, F. y Baudry, J., 2005. Habitat quality and connectivity in agricultural landscapes: The role of land use systems at various scales in time. En: *Ecological Indicators* 5. pp. 305-313
- Centro Nacional de Investigaciones de Café -Cenicafe. Online. Biodiversidad en la zona cafetera. Actualización julio 2008. Disponible en Internet: <[dhttp://www.cenicafe.org/modules.php?name=Biodiversidad_en_la_Zona_Cafetera](http://www.cenicafe.org/modules.php?name=Biodiversidad_en_la_Zona_Cafetera)>
- Chuvieco, E., 2000. Fundamentos de Teledetección Espacial. Rialp, S.A. Madrid España. 568 P.
- D'eon, R.G., Glenn S.M., Parfitt I., y Fortin, M.J., 2002. Landscape connectivity as a function of scale and organism vagility in a real forested landscape. En: *Conservation Ecology* 6(2): 10. [En línea] URL: <<http://www.consecol.org/vol6/iss2/art10>>
- ERDAS, 2002. ERDAS Field Guide version 8.6. ERDAS, LLC. Atlanta Georgia. pp. 686
- Forman, R. T. T. y Godron M. 1981. Patches and structural components for a landscape ecology. En: *BioScience* 31. pp. 733-740
- Gustafson, E.J., 1998. Quantifying Landscape Spatial Pattern: What Is the State of the Art?. En: *Ecosystems* (1998) 1: pp. 143-156. Disponible en <http://www.uek.cas.cz/people/kucera/LE/TEXTY/gustafson.pdf>
- Jordán, F., 2003. Quantifying landscape connectivity: key patches and key corridors. En: Tiezzi, E., Brebbia, C. A. and Usó, J.-L. (eds.), *Ecosystems and Sustainable Development IV*, WIT Press, Southampton, pp. 883-892. Disponible en: <<http://falco.elte.hu/~jordanf/Siena2003.doc>>
- Kattan, G. H., Franco, P., Rojas, V. y Morales, G., 2004. Biological diversification in a complex region: a spatial analysis of faunistic diversity and biogeography of the Andes of Colombia. En: *Journal of Biogeography*. 31. pp. 1829-1839.
- Kattan, G. H., 2002. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. En: *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. Guariguata M. R. & Kattan, G. H. (Eds). Ediciones Libro Universitario Regional. Editorial Tecnología de Costa Rica, Cartago. pp. 560-590.
- Malanson, G.P. y Cramer, B.E., 1999. Landscape heterogeneity, connectivity, and critical landscapes for conservation. Mediterranean-type ecosystems. En: *Diversity and Distributions* N° 5, pp. 27-39.
- McGarigal, K. y Marks, B.J., 1995. Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 122 P.
- McGarigal, K y Ene, E., 2001. Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure, version 3.3. Corvallis: Oregon State University.

- McGarigal, K., 2002. Landscape pattern metrics. En: Encyclopedia of Environmentrics. A. H. El-Shaarawi and W. W. Piegorsch, eds. Volume 2: pp. 1135-1142. John Wiley & Sons, Sussex, England. <<http://www.umass.edu/landeco/pubs/pubs.html>>
- Moss, M.R., 2000. Interdisiplinarity, landscape ecology and the "transformation of Agricultural Landscape". En: Landscape Ecology 15. pp. 303 - 311.
- Nagendra, H.; Munroe, D.K. y Southworth, J., 2004. From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. En: Agriculture, Ecosystems and Environment 101. pp. 111-115
- Numa, C., Verdú, J.R. y Sanchez-Palomino, P., 2005. Phyllostomid bat diversity in a variegated coffee landscape. En: Biological Conservation 122. pp. 151-158
- Pickett, S.T.A. y Cadenasso, M.L., 1995. Landscape Ecology: Spatial Heterogeneity in Ecological systems. En: Science. Vol 269. pp. 331-334
- Rempel, R.S. y Carr, A. P., 2003. PatchAnalyst extension for ArcView: version 3. Disponible en: <http://flash.lakeheadu.ca/~rrempe/patch/index.html> (visitado 10/10/05)
- Riitters, K.H., O'Neill, R.V., Hunsacker, C.T., Wickham, J.D., Yankee, D.H., Timmins, S.P., Jones, K.B. y Jackson, B.L., 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. En: Landscape Ecology 10 (1), pp. 23-39.
- Rodríguez, M. M., 1998. Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Jardín 1998-1999. Fase de Diagnostico, Documento Técnico. Tomo I. 313 P.
- Rutledge, D., 2003. Landscape indices as measures of the effects fragmentation: can pattern reflect process? DOC Science Internal Series 98. 27 P. Disponible en <<http://www.doc.govt.nz/Publications/004~Science-and-Research/DOC-Science-Internal-Series/PDF/DSIS98.pdf>> (visitado 12/08/04)
- Southworth, J. Nagendra, H. Carlson, L.A y Tucker, C., 2004. Assessing the impact of Celanque National Park on forest fragmentation in western Honduras. En: Applied Geography N° 24. pp. 3003 - 3022
- Turner, M.G.; Gardner, R.H. y O'Neill, R.V., 2001. Landscape Ecology in Theory and Practice. Springer-Verlag New York, Inc. United States of America. 401 P. + cd.
- WWF, 2001. Visión de la biodiversidad de los Andes del norte. World Wildlife Fund. Santiago de Cali, Colombia. Disponible en: <http://www.wwf.org.co/colombia/biblioteca/publicaciones/vision_cean.pdf>