

---

---

## DINÁMICA TEMPORAL DEL PATRÓN DEL PAISAJE EN EL ÁREA DE LA HIDROELÉCTRICA PORCE II, (ANTIOQUIA, COLOMBIA) DE 1961 AL 2001

---

---

*Alba Lucia Marín V.<sup>1</sup>; Carlos Federico Álvarez H.<sup>2</sup>; Sandra Inés Uribe S.<sup>3</sup> & Mónica Morales R.<sup>4</sup>*

*1. Ingeniera Forestal, Investigadora asociada, 2. Ingeniero agronomo. M.Sc Investigador asociado  
Grupo de Investigación en Sistemática Molecular*

*3. MSc, PhD. Ingeniera agronoma. Profesora asociada Escuela Biociencias,  
Facultad Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín*

*4. Ingeniera Forestal. Investigadora junior, Unidad de Sistemas de Información Geográfica  
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogota*

*suribe@unalmed.edu.co*

Recibido para evaluación: 22 de Agosto de 2007 / Aceptación: 18 de Junio de 2008 / Recibida versión final: 27 de Junio de 2008

### RESUMEN

La caracterización de un paisaje puede realizarse mediante el uso de índices que permiten compararlo con otros, identificar cambios significativos en el tiempo y relacionar su dinámica y patrón con funciones ecológicas. El objetivo del presente trabajo fue determinar el cambio en el tiempo del patrón del paisaje en el área de la hidroeléctrica Porce II (Antioquia, Colombia). Se utilizaron fotografías aéreas de 1961 y 1999 y mapas temáticos generados a partir de una imagen de satélite Ikonos del 2001. El patrón del paisaje, referido a las coberturas del suelo, fue cuantificado teniendo en cuenta parámetros de forma, composición y configuración del paisaje. En general, se observó que durante los últimos 40 años se ha conservado la forma y distribución espacial de los elementos, pero con un incremento en el número de parches, que implica una mayor complejidad paisajística asociada a la sucesión vegetal. En la actualidad, el tipo de cobertura vegetal con mayor dominancia es rastrojo alto, seguido por rastrojo bajo, bosque primario y bosque secundario, siendo las tres últimas las más complejas en términos de forma. Las coberturas más dispersas son los pastos y bosques primarios; sin embargo, al estudiar en detalle cada una de estas coberturas, se encontró que la conectividad al interior de las mismas ha aumentado con el tiempo.

**PALABRAS CLAVES:** Patrón del paisaje, Estructura, Porce II, Coberturas vegetales, Dinámica del paisaje, Antioquia, Colombia.

### ABSTRACT

Landscape structure may be characterized using indexes to compare different ecosystems, identifying significant changes through time and relative landscape dynamics and pattern to ecological functions. The aim of this study was to determine landscape pattern changes over time in the PORCE II hydroelectric (Antioquia, Colombia). We used aerial photographs from 1961 and 1999 and thematic maps generated from an Ikonos satellite image from 2001. The landscape patterns were quantified by considering parameters of shape, composition and configuration.

In general it was observed that during the past 40 years the shape and structure were conserved, but with an increase in the number of patches that implies a more complex landscape structure associated with vegetational changes. At the present time, the dominant land cover is medium height regrowth followed by low height regrowth, primary forest, and secondary forest being the last three the most complex in terms of their shapes. The most dispersed coverages were pasture and primary forest, but detailed study of individual coverages it was observed that connectivity has increased over time.

**KEY WORDS:** Landscape pattern, Structure, Porce II, Land-cover, Landscape dynamics, Antioquia, Colombia.

## 1. INTRODUCCION

Los ecosistemas tropicales se caracterizan por una dinámica que incluye la formación de paisajes heterogéneos como una mezcla de hábitats naturales e intervenidos con variaciones en forma, tamaño y distribución en el espacio. En varias áreas de América Latina los cambios socioeconómicos, los conflictos armados, las catástrofes naturales a gran escala y la emigración a países desarrollados, han estimulado la migración de zonas rurales a urbanas, favoreciendo la recuperación de los bosques en las tierras abandonadas. La disminución en la población rural tiene grandes implicaciones para la conservación, ya que la reducción de la presión y explotación que ejerce el hombre sobre los ecosistemas y su biodiversidad permite muchas veces su recuperación (Aide y Grau 2004).

Las actividades humanas que afectan la biodiversidad modifican el paisaje, el cual se entiende como unidad ecológica con estructura y función y está compuesto por una serie de parches inmersos en una matriz formando un mosaico. Los parches difieren en su origen, dinámica, tamaño, forma y configuración espacial, mientras que la matriz constituye un tipo de hábitat homogéneo y dominante con condiciones climáticas y ecológicas diferentes (Forman y Godron 1981; Turner, Gardner, y O'Neill, 2001).

En paisajes intervenidos la presencia de parches puede generar restricciones para la dispersión de diversos organismos. La estructura del paisaje influye en procesos como la persistencia de las poblaciones y el mantenimiento de la diversidad (Forman y Godron 1981; Pickett y Cadenasso 1995; McGarigal 2002). Así mismo, la forma y la distribución de los parches pueden afectar la composición florística y las preferencias ecológicas de las especies asociadas a ellos (Hill y Curran 2003; Ross, Fox y Fox 2002). Desde esta perspectiva, la caracterización cuantitativa del paisaje es importante para el conocimiento de la dinámica del mismo, y como herramienta en la implementación de estrategias de manejo y conservación de las poblaciones (Turner y Ruscher 1988; Donovan y Welden 2002).

Existen diversos índices que permiten la caracterización cuantitativa del paisaje y el mejor entendimiento de los patrones y procesos, como una forma de avanzar en las actividades de monitoreo y medición a escala del paisaje. Estas medidas, aunque podrían redundar en la información ofrecida, son requeridas para comparar diferentes paisajes, identificar cambios significativos a través del tiempo y relacionar los patrones del paisaje con funciones ecológicas (Gustafson 1998; Wu 2004). Entre los índices del paisaje se incluyen aquellos que describen la composición o características básicas de los parches, como tipos y cantidades de hábitat. La composición es el atributo del patrón del paisaje más fácilmente cuantificable (McGarigal 2002), y estima la variedad y abundancia de los tipos de parche en el paisaje sin considerar su disposición en el espacio. Por su parte los índices de forma intentan cuantificar la complejidad de los parches o se enfocan en alguna variación de las relaciones perímetro-área, los índices de configuración describen la posición espacial de los diferentes hábitats y la relación entre ellos (Donovan y Welden 2002; Rutledge 2003).

En el presente trabajo se estimó la estructura actual del paisaje en una zona de la Cordillera Central de los Andes en Antioquia y se comparó con la existente 40 años atrás. El patrón del paisaje, referido a las coberturas del suelo, se estimó mediante análisis temporal (fotografías aéreas e imagen satelital) y el cálculo de los índices de forma, composición y configuración del paisaje más útiles para el caso particular de esta área fragmentada.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudio

La región de estudio hace parte del Choco Biogeográfico entre las regiones norte y nordeste del departamento de Antioquia (figura 1), con tres zonas de vida: bosque húmedo tropical, bosque muy húmedo premontano y la transición del bosque húmedo premontano a tropical (Duque 2000). La zona de estudio fue ubicada en el área de influencia de la hidroeléctrica Porce II. Aproximadamente el 70% de esta área (3500 ha) se clasifica como bosque húmedo tropical (E.P.M. 2000).

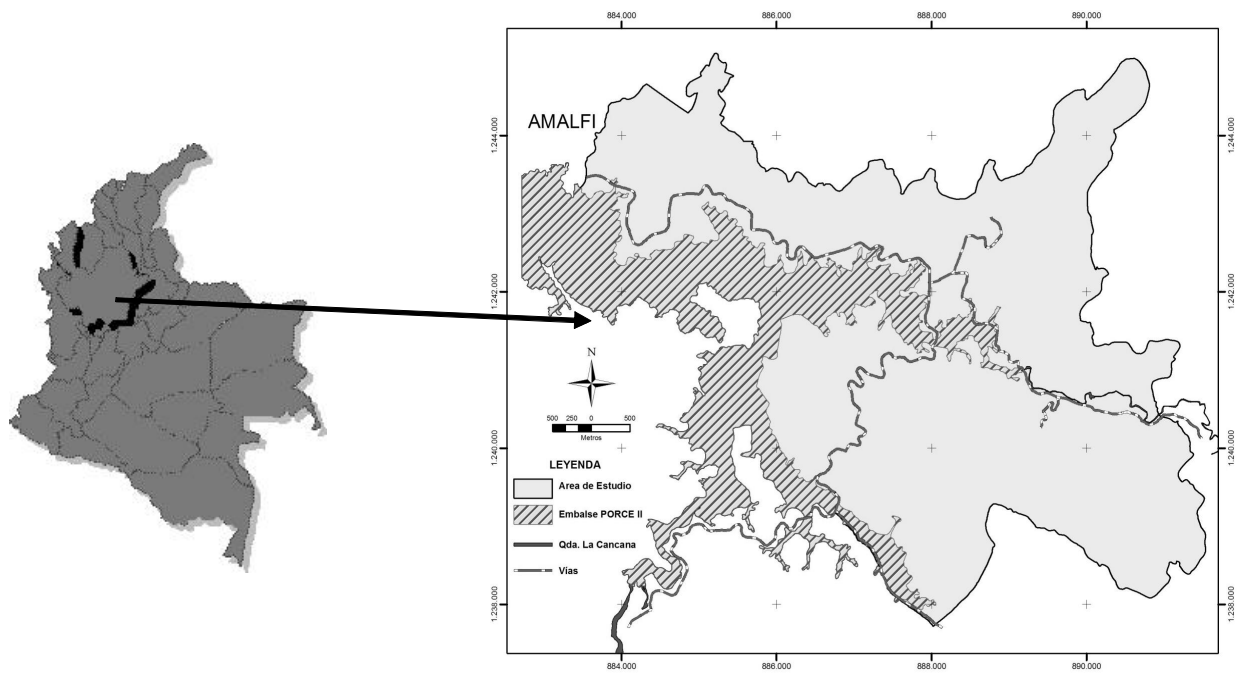


Figura 1. Área de estudio Amalfi, Antioquia.

### *Análisis de imágenes y datos espaciales*

Para realizar el análisis de la estructura del paisaje y su cambio en el tiempo durante los pasados 40 años, se emplearon diversas fuentes: mapas topográficos (IGAC), fotografías aéreas de 1961 con escala de 1:55.000 (facilitadas por INGEOMINAS Medellín); fotografías aéreas de 1989 con escala 1:20.000 (adquiridas en el IGAC); fotografías aéreas de 1999 con escalas de 1:9.000 a 1:11.000 (facilitadas por Catastro Departamental de Antioquia); mapas de cobertura vegetal de 1979 (EPM), de 1961 y 2001 (Agudelo y Restrepo 2004), información bibliográfica (E.P.M. 2000) y datos de campo de 1997-1998 (Duque 2000; observaciones personales).

### *Análisis del patrón del paisaje*

Se evaluaron diversos índices de paisaje, haciendo énfasis en los de la categoría espacial (composición, forma y estructura) en clases de hábitat, los cuales aportan información sobre el proceso de la fragmentación. Se adoptaron las definiciones y criterios de coberturas empleadas por Agudelo y Restrepo (2004) estas son: Bosque primario (Bp), Bosque secundario (Bs), Rastrojo alto (Ra), Rastrojo bajo (Rb), Pasto enrastrado (Pr), Pasto (P), Guadua (G), Cultivo (C), Embalse (E) e Infraestructura (I). Adicionalmente, se calcularon índices de diversidad del paisaje que hacen parte de la categoría no espacial.

Empleando el programa ArcView 3.2 ® y utilizando la cartografía digital de coberturas del suelo en formato vector (facilitados por Agudelo y Restrepo 2004), se construyó una capa digital en formato raster con un tamaño de pixel de 5 metros. El estudio consideró la evolución temporal del paisaje al analizar los datos mencionados anteriormente y los índices del paisaje derivados de las imágenes de 1961 y 2001 para determinar los cambios más significativos similar a lo hecho por Apan, Raine y Paterson (2000).

Para el análisis del patrón del paisaje, se escogieron los índices más relacionados con la conectividad y la fragmentación de las coberturas boscosas (Tabla 1), utilizando el programa Fragstats 3.3® (McGarigal y Ene 2001), especializado en el cálculo y análisis estadístico de los patrones espaciales.

**Tabla 1.** Índices del paisaje.

Característica	Índice	Símbolo
Composición	Número de parches	NP
	Área de Clase	CA
	Tamaño medio de área	AREA_MN
	Porcentaje del paisaje	PLAND
	Índice del parche más grande	LPI
Configuración	Índice medio de proximidad	PROX_MN
	Distancia media Euclidiana al vecino más cercano	ENN_MN
	Índice del vecino más cercano	MNN
Forma	Índice medio de la Forma	SHAPE_MN
	Dimensión Fractal	FRAC_MN
Diversidad	Número de parches total	NP
	Diversidad de Shannon	SHDI
	Diversidad Simpson	SIDI
	Equitatividad de Shannon	SHEI
	Equitatividad de Simpson	SIEI

Tomado de Rutledge 2003 y McGarigal et al 2001

Debido a la importancia que representan los relictos de bosque (Bp y Bs) en los valles interandinos, se consideró este tipo de cobertura como eje focal en el análisis.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Paisaje en el 2001

##### *Composición*

En 2001, el número de parches Bp, fue mucho menor que la cantidad de parches Bs, Rb y Ra (Tabla 2 y 3). La clase con mayor tamaño medio del área (AREA\_MN) fue el Bp (26.97 ha). Este valor se relaciona con la existencia de una gran masa boscosa en la zona sur.

A partir de la valoración del área de cada clase (CA), se observó la prevalencia en él de rastrojos (Ra: 732,7 ha y Rb: 579,3 ha) y bosques (Bp: 461,4 ha y Bs: 560,9 ha). Aunque la proporción de los rastrojos (Ra +Rb) fue mayor (PLAND: 43%), el área de los bosques (Bp+Bs) (PLAND: 33%) fue también sustancial.

El embalse como cobertura no fue significativo (121 ha), ya que apenas en 2001 se iniciaba el llenado. Aunque en la cota de llenado la proporción e importancia de ésta cobertura aumenta para finales del período (822 ha). Según el índice del parche más grande (LPI), las áreas de bosque primario (Bp) y bosque secundario (Bs) a pesar de contar con varios fragmentos pequeños, poseen cada uno un parche grande característico del tipo de cobertura.

**Tabla 2.** Índices de composición

Índice	CA		NP		PD		PLAND		LPI	
	1961	2001	1961	2001	1961	2001	1961	2001	1961	2001
<b>Bp</b>	499,9	461,49	14	17	0,4637	0,563	16,556	15,283	8,1766	8,877
<b>Bs</b>	76,87	560,93	18	65	0,5961	2,1527	2,5458	18,576	0,4767	5,0301
<b>Ra</b>	180,5	732,745	72	81	2,3846	2,6826	5,9778	24,267	1,2795	3,7208
<b>Rb</b>	121,78	579,373	16	69	0,5299	2,2851	4,033	19,187	1,7584	3,5042
<b>P</b>	2028,4	211,155	9	28	0,2981	0,9273	67,179	6,9931	62,330	2,1966
<b>Pr</b>	111,96	229,207	12	44	0,3974	1,4572	3,7079	7,5909	0,7527	1,3384
<b>G</b>	N/A	114,286	N/A	12	N/A	0,3974	N/A	3,7848	N/A	1,0907
<b>C</b>	N/A	5,7825	N/A	2	N/A	0,0662	N/A	0,1915	N/A	0,1817
<b>E</b>	N/A	121,677	N/A	1	N/A	0,0662	N/A	4,0297	N/A	4,0268
<b>I</b>	N/A	2,855	N/A	2	N/A	0,0662	N/A	0,0946	N/A	0,0576

**Tabla 3.** Índices de composición

Cobertura	AREA_MN		AREA_SD		AREA_CV	
	1961	2001	1961	2001	1961	2001
<b>Bp</b>	35,707	26,9756	62,25	6,19144	174,3357	229,5199
<b>Bs</b>	4,2706	7,0598	4,2864	19,5178	100,3718	276,4658
<b>Ra</b>	2,5069	8,0901	5,374	15,8034	214,3686	195,3419
<b>Rb</b>	7,6109	4,0907	13,4794	6,7655	177,1061	165,3871
<b>P</b>	225,3817	7,6548	586,5589	14,7937	260,2514	193,2602
<b>Pr</b>	9,3298	3,3935	8,7663	61,312	93,9604	180,6747
<b>C</b>	N/A	2,8913	N/A	2,5938	N/A	89,7103
<b>G</b>	N/A	8,5808	N/A	9,6606	N/A	112,5839
<b>E</b>	N/A	822,2	N/A	0	N/A	0
<b>I</b>	N/A	1,4275	N/A	0,3125	N/A	21,8914

### Configuración

El índice de configuración más simple, la distancia euclidiana entre los parches, reveló que los P (ENN\_MN: 237,3) y los Bp (ENN\_MN: 236,2) presentaron una mayor distancia que los Ra, Rb y Bs (Tabla 4). No obstante, ésta distancia fue superada por la distancia entre los cultivos por efecto de su distribución y número.

**Tabla 4.** Índices de configuración.

Índice Cobertura	PROX_MN		ENN_MN		CONNECT 125	
	1961	2001	1961	2001	1961	2001
<b>Bp</b>	45,9075	151,7476	228,1753	236,2975	5,4945	6,6176
<b>Bs</b>	3,6565	161,0323	548,3099	98,0227	1,3072	2,1635
<b>Ra</b>	13,7679	371,1486	151,699	82,6304	1,0955	2,5617
<b>Rb</b>	6,2993	268,312	515,2938	87,9377	3,0303	2,4723
<b>P</b>	4503,576	122,2815	134,4597	237,3672	11,1111	3,1746
<b>Pr</b>	5,1023	65,0968	433,4486	184,5266	2,5	2,6427
<b>G</b>	N/A	90,2638	N/A	73,789	N/A	12,1212
<b>C</b>	N/A	0	N/A	1347,1637	N/A	0
<b>E</b>	N/A	0	N/A	N/A	N/A	0
<b>I</b>	N/A	0	N/A	220,9072	N/A	0

### Forma

A partir del índice de forma media (SHAPE\_MN) se realizó una aproximación a la complejidad de los parches de cada clase, los C y la I presentaron una forma más regular (SHAPE\_MN=1,4), la dimensión fractal (FRACT) permitió constatar que los cultivos (FRAC\_MN: 1,08) e infraestructura (FRAC\_MN: 1,07) poseían formas más simples dado que sus valores son más cercanos a 1, mientras que las de demás coberturas presentaron formas más irregulares (Tabla 5).

**Tabla 5.** Índices de Forma

Indice Cobertura	SHAPE_MN		FRAC_MN	
	1961	2001	1961	2001
<b>Bp</b>	1,9735	1,9361	1,1099	1,1252
<b>Bs</b>	1,6009	2,2491	1,0861	1,1457
<b>Ra</b>	1,7198	2,2781	1,1068	1,1456
<b>Rb</b>	1,8298	2,3048	1,1141	1,1502
<b>P</b>	2,6708	2,1574	1,1307	1,1379
<b>Pr</b>	1,6778	2,1105	1,0962	1,139
<b>G</b>	N/A	1,8983	N/A	1,114
<b>C</b>	N/A	1,4458	N/A	1,0838
<b>E</b>	N/A	3,342	N/A	1,1644
<b>I</b>	N/A	1,4373	N/A	1,0783

### 3.2 Dinámica del paisaje durante el período 1961-2001

Los paisajes en 1961 y 2001 se diferenciaron en composición y dominancia de las coberturas vegetales (figura 2). Se apreció un aumento considerable en el número de parches, de 141 a 321. Sin embargo, en el período de estudio las coberturas de bosque han conservado su forma y distribución espacial; de todas formas algunos fragmentos (señalados en la figura 2 con color verde oscuro) que pudieron tener un papel como conectores en la zona norte han desaparecido. El fragmento actual de mayor tamaño (Normandía) presentó conexión con los conjuntos de bosques al sur mediante vegetación secundaria (Bs y Ra). Estos conjuntos a su vez se conectaron con masas boscosas de considerable extensión (revisión fotografías aéreas de 1999).

De un porcentaje de cobertura de Bp (PLAND) del 16,5% en 1961, se conservó un 15,2% en el 2001. Algunas áreas pasaron de ser Bs a Bp, como en el caso del bosque Encanto en la vertiente norte, lo que se relaciona con el proceso de sucesión continuada.

#### *Composición*

Desde 1961 el paisaje evolucionó de estar dominado principalmente por pastos (CA: 2028 ha, PLAND: 67 %) y bosques primarios (CA: 499 ha, PLAND: 16,5%), a un paisaje dominado en el 2001 por rastrojos y bosques secundarios.

Aunque se observó una disminución leve en la cobertura de bosque primario (CA: 499 ha en 1961 a CA: 461 ha en 2001), los bosques secundarios aumentaron, pasando de ser una cobertura poco representativa en 1961 (CA: 76 ha, PLAND: 2,5 %) a ser una de las dominantes en el 2001 (CA: 560 ha, PLAND: 18,5 %).

El índice del parche más grande refuerza la idea de la disminución de los pastos durante el período de estudio, ya que se pasó de un dominio de éstos en 1961 (LPI: 62,3%) a una reducción significativa en el 2001 (LPI: 2,1 %). Este índice se ha incrementado también para los bosques Bs (LPI: 0,4 en 1961 a LPI: 5,0 en 2001) y Bp (LPI: 8,1% en 1961 a LPI: 8,8 en 2001).

En 1961 el pasto tenía el tamaño promedio más alto (AREA\_MN:225,38), pero estaba asociado a la variabilidad más alta (AREA\_CV= 260,2514%). El bosque primario en el período 1961-2001 disminuyó su tamaño promedio y la variabilidad en el tamaño de los parches aumentó (AREA\_CV-1961=174,33%; AREA\_CV-2001=229,52%).

#### *Configuración*

El nivel de aislamiento de los bosques primarios aumentó levemente con base en la distancia euclidiana (ENN\_MN: 228,17 a ENN\_MN: 236,2) y disminuyó notablemente en los bosques secundarios (ENN\_MN: 548,3 en 1961 a ENN\_MN: 98,02 en el 2001).

Al considerarse una medida más compleja como el índice de proximidad, el aislamiento de los bosques parece haberse reducido (PROX\_MN: 45,9 en 1961 a PROX\_MN: 151,7 en 2001). Este resultado concuerda con el índice de conectancia (CONNECT=5,4945 a CONNECT=6,6176) asumiendo un radio de 125 m.

### **Forma**

En los bosques primarios la forma se mantuvo relativamente constante (SHAPE\_MN: 1,97 a SHAPE\_MN: 1,93). Para los bosques secundarios el valor disminuyó (SHAPE\_MN: 1,6 a SHAPE\_MN: 2,1). Estos resultados son consistentes con los resultados del índice de dimensión fractal (FRACT; Tabla 5)

## **4. DISCUSIÓN**

### **4.1 Paisaje en el 2001**

En el área de Porce, el tamaño medio de los bosques primarios presentó una alta variabilidad en relación con la media, como lo indica el coeficiente de variación (AREA\_CV= 229,52%), lo cual refleja la existencia de parches de diversos tamaños. Para el caso de las demás coberturas boscosas y pastos, aunque el tamaño medio de los parches no fue muy alto, se encontraron valores de AREA\_SD y AREA\_CV que igualmente reflejan la existencia de parches grandes y pequeños en estas coberturas y variabilidad en el tamaño de los mismos. Esta es una característica importante de la estructura del paisaje, ya que afecta directa e indirectamente la ecología y demografía de especies tanto de fauna como de flora, en la comunidad (Turner, Gardner, y O'Neill, 2001). Hill y Curran (2003), también demostraron que el área del fragmento ejerce una influencia importante en la composición de especies forestales, indicando una fuerte relación especies-área en estos bosques.

La configuración del paisaje es un parámetro que indica la conectividad estructural del paisaje y permite determinar las posibles conexiones y corredores entre hábitats sin imponer resistencia al movimiento y dispersión de los organismos (McGarigal 2002, Rutledge 2003). Por ejemplo Ricketts (2004), encontró una mayor tasa de visitación de abejas en fragmentos distanciados a menos de 100, mientras Hill y Curran (2003), documentaron que el aislamiento no afecta directamente la composición de especies forestales, sino que permite una mayor distribución en el área.

Al evaluar el índice ENN\_MN, los pastos y los bosques primarios presentaron un mayor aislamiento, pero con grandes variaciones, es decir parches con vecinos muy cercanos y otros con vecinos muy alejados, mientras que los Ra, Rb y Bs, fueron las coberturas menos fragmentadas. Por otra parte, el índice de conectancia (CONNECT) indicó un nivel alto de conexión en coberturas como Bp, entendiendo este valor como el porcentaje máximo de conexiones funcionales posibles en un radio de 125 m de cada parche de bosque. El valor de este índice fue más alto para los guadales debido a su bajo número y ubicación específica en redes de drenaje cercanas.

A partir del índice de forma media (SHAPE\_MN) se realizó una aproximación a la complejidad de los parches de cada clase. Este elemento es importante para determinar los posibles efectos de borde y las condiciones de interior de cada parche. Como era de esperarse, las coberturas C e I presentaron una forma más regular (SHAPE\_MN=1,4), mientras que las coberturas Pr, Ra, Rb, Bs y Bp fueron las más complejas. Esto concuerda con lo planteado por Turner y Rusher (1988) y McGarigal y Marks (1994), en el sentido que las coberturas menos influenciadas por actividades humanas tienden a exhibir una mayor complejidad en su forma.

### **4.2 Dinámica del paisaje durante el período 1961-2001**

La dinámica del paisaje comprende esencialmente los cambios ocurridos en la composición del mismo (es decir, la combinación de los diversos componentes del paisaje, como las tierras forestales, tierras agrícolas o infraestructura) y los cambios producidos en las condiciones de los distintos componentes a título individual (por ejemplo, la conversión de tierras de pastoreo para la producción agrícola) (OIMT 2005). En el caso particular de Porce, el paisaje se caracterizó por un cambio en el uso de la tierra, de pasar de un área explotada con agricultura de grupos locales, (principalmente

con fines de subsistencia, campos en barbecho y ganadería) a un paisaje que, a pesar de la construcción de la hidroeléctrica, se ha convertido en un área de reserva, donde la sucesión vegetal avanza sin "riesgo" de algún tipo de explotación industrial.

Un cambio significativo en la estructura aparece con la división del bosque más grande después de 1961, lo que implicó una pérdida considerable de cobertura boscosa. Sin embargo, en la actualidad estas unidades se encuentran conectadas por bosques secundarios (Figura 2), lo que podría favorecer la dispersión de organismos propios de bosque.

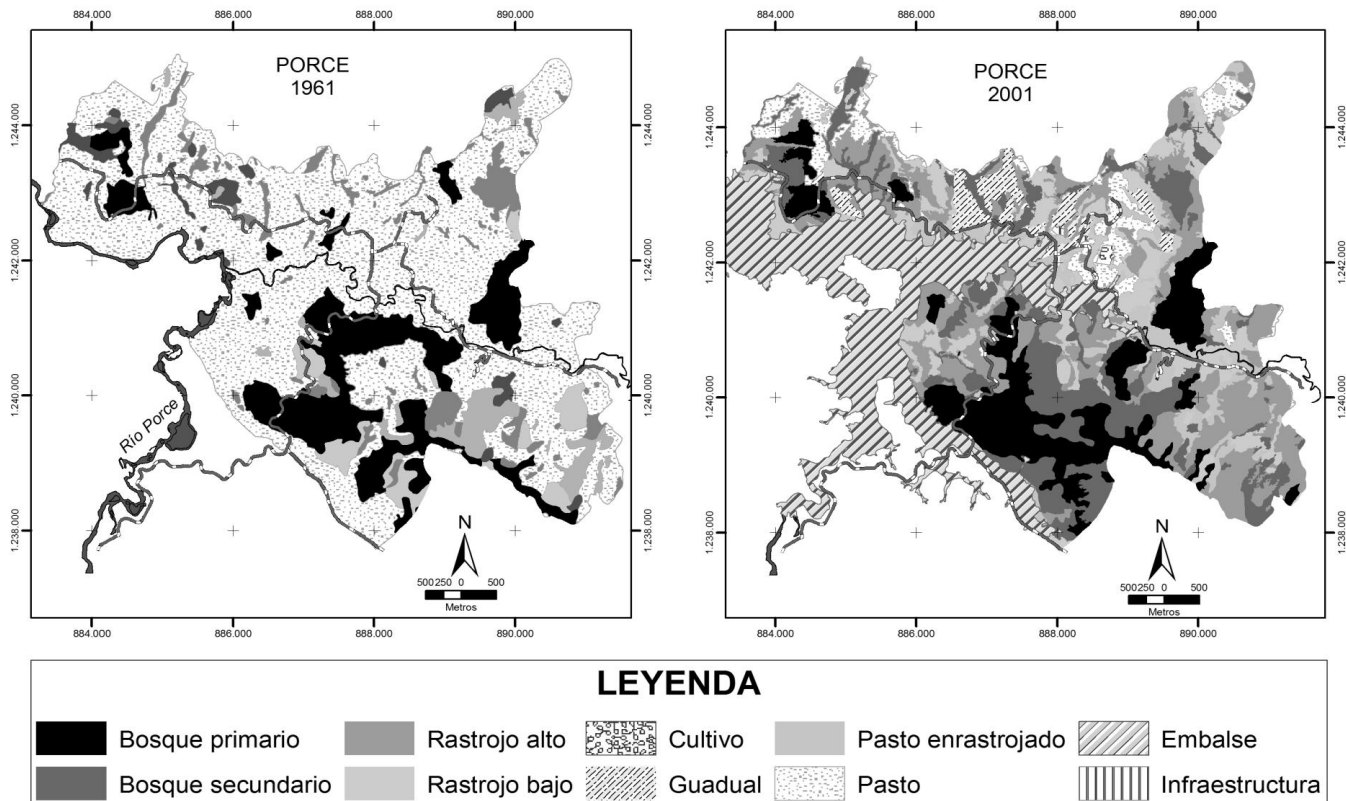


Figura 2. Cambios de las coberturas entre 1961 y 2001.

El aumento en el número de parches puede considerarse como un aumento en la complejidad paisajística, resultados que son también encontrados en otros estudios como los de Cemin, Périco y Claudete (2005) y Apan, Raine y Paterson (2000), donde el aumento en el número de parches fue consecuencia de la parcelación de tierras agrícolas. Partiendo de un escenario dominado por pasturas en 1961, todos los índices de diversidad se incrementaron consistentemente con el aumento en número de parches en el 2001. A partir de los índices de equitabilidad, se observó una tendencia hacia el equilibrio en las áreas de los parches de las diferentes clases; estos índices aumentaron en forma proporcional con la disminución en la dominancia de las pasturas en el paisaje, fenómeno relacionado con el avance del proceso sucesional en el área. (Tabla 6)

Tabla 6. Índices de Paisaje Global

Índice	Año	
	1961	2001
NP	141	321
SHDI	1,0785	1,9138
SIDI	0,5141	0,8327
SHEI	0,6019	0,8312
SIEI	0,6169	0,9252



El aumento en el área de Bs o de avance de la sucesión puede relacionarse con una disminución de la actividad ganadera, de manera concordante a lo sugerido por Aide y Grau (2004). Así mismo, con el establecimiento del proyecto hidroeléctrico Porce II, cuya zona de embalse representó un nuevo tipo de cobertura, también, con el establecimiento de la guadua como forma de protección de los drenajes.

## 5. CONCLUSIONES

La comparación temporal del patrón del paisaje en el área de influencia de la Hidroeléctrica de Porce II en éste período permitió establecer diferencias significativas en la composición, donde se observó un aumento en el número de parches y tipos de hábitat. Esto indica una mayor complejidad y heterogeneidad en el paisaje y distribución de la matriz, a diferencia de 40 años atrás, donde los pastos dominantes cumplían la función de matriz, aislando a los parches de bosque existentes.

Mientras que parámetros como la forma y distribución espacial de los diferentes tipos de cobertura presentaron pequeñas variaciones, se observó un cambio significativo con la división del bosque más grande después de 1961, lo que implicó una pérdida considerable de cobertura boscosa. Sin embargo, esta unidad se encuentra conectada por estados sucesionales avanzados, lo que puede favorecer la dispersión de organismos de bosque.

El patrón del paisaje ha cambiado en estos últimos 40 años. En la actualidad se puede afirmar que los tipos de cobertura vegetal que predominan son aquellos en estados sucesionales avanzados, tales como los rastrojos y las coberturas boscosas, lo que refuerza la idea de que la conectividad ha aumentado (para estas coberturas) o que la fragmentación ha disminuido, particularmente para el bosque secundario. Esto concuerda con la tendencia a la disminución de la explotación ganadera en la zona y el establecimiento de un área de protección para el embalse Porce II.

Teniendo en cuenta que al menos 500 millones de hectáreas de bosques tropicales (primarios y secundarios) se han convertido en áreas fragmentadas, las observaciones anteriores permiten inferir un aumento en la conectividad para las coberturas boscosas y que la fragmentación ha disminuido para las mismas, particularmente para el bosque secundario. El establecimiento de esta obra de desarrollo, se ha convertido en una zona de reserva y restauración del paisaje para al menos 3200 ha. de tierras tropicales.

Se puede inferir que el paisaje actual podría ser adecuado para el mantenimiento de organismos con requerimientos ecológicos propios de bosques y de la biodiversidad en la región; es decir, que tiende a alcanzar una funcionalidad múltiple donde se configuran y restablecen los elementos del paisaje para prestar los servicios y bienes ambientales que la vida silvestre y el hombre utilizan para su desarrollo.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue posible gracias al apoyo de la Universidad Nacional de Colombia (DIME, DINAIM, GSM), INGEOMINAS y Catastro Departamental de Antioquia. Agradecemos la colaboración de Edgar A. Agudelo y Juan C. Restrepo, así como de Andrés López, al profesor Brian C. Bock de la Universidad de Antioquia y al profesor Luis Jairo Toro Restrepo del departamento de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

## REFERENCIAS

- Agudelo del Río, E. A. y Restrepo, J. C., 2004. Análisis multitemporal de coberturas vegetales en un bosque húmedo tropical (Río Porce, Colombia). Tesis de grado Ingeniero Forestal. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín 41 P.
- Aide, T. M. y Grau, H. R., 2004. Globalization, migration, and Latin American ecosystems. En: Science. Vol 305. pp. 1915-1916.

- Apan, A. A, Raine, S. S. y Paterson, M. S., 2000. Quantifying landscape fragmentation in the Lockyer valley Catchment, Queensland: 1973-1997. En: The 28 th Annual Conference of AURISA (2000: Coolool, QLD). Disponible en: <http://www.usq.edu.au/users/apana/AURISA2000.pdf> [Consultada: 13 de Oct. 2004]
- Cemin, G, Périco, E. y Rempel, C., 2005. Uso de sistemas de informação geográfica para análise da estrutura da paisagem do município de Arvorezinha, RS. En: Anais XII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, (2005: Goiânia, Brazil). INPE. pp. 2113-2120.
- Donovan, T. M. y Welden, C.W., 2002. Spreadsheet exercises in conservation biology and landscape ecology. Sinauer Associates, Massachusetts, U.S.A. 464 P.
- Duque, P., 2000. Diversidad de mariposas diurnas en diferentes fragmentos de bosque en la zona de influencia del proyecto hidroeléctrico Porce II. Tesis M.Sc., Entomología. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. 121 P.
- EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN E.S.P., 2000. Investigaciones ambientales y arqueológicas en Porce II. EPM. Medellín. 15 P.
- Forman, R.T. y Godron, M., 1981. Patches and structural components for a landscape ecology. En: BioScience Vol 31, No.10. pp. 733-740.
- Gustafson, E..J., 1998. Quantifying Landscape Spatial Pattern: What Is the State of the Art? En: Ecosystems, Vol. 1. pp. 143-156.
- Hill, J. L. y Curran P. J., 2003. Area, shape and isolation of tropical forest fragments: effects on tree species diversity and implications for conservation. En: Journal of Biogeography. Vol 30. pp. 1391-1403.
- Mc Garigal, K., 2002. Landscape pattern metrics. En: Encyclopedia of Environmentrics. A. H. El-Shaarawi and W. W. Piegorsch, eds. Vol. 2. pp. 1135-1142. John Wiley & Sons, Sussex, England. Disponible en Internet <http://www.umass.edu/landeco/pubs/pubs.html> [Consultada: 13 de Oct. 2004]
- McGarigal, K. y Ene, E., 2001. Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure, version 3.3. Corvallis: Oregon State University.
- McGarigal, K. y Marks, B.J., 1994. Fragstat: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure, version 2.0. Corvallis: Oregon State University. 141 P.
- OIMT, 2005. Restaurando el paisaje forestal. Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales. Serie técnica OIMT N°23. 160 P.
- Pickett S.T.A y Cadenasso, M.L., 1995. Landscape Ecology: Spatial Heterogenety in Ecological Systems. En: SCIENCE. Vol 269. pp. 331-334
- Ricketts, T. H., 2004. Tropical Forest Fragments Enhance Pollinator Activity in Nearby Coffee Crops. En : Conservation Biology, Vol. 18, No. 5. pp. 1262-1271
- Ross, K. A, Fox, B.J. y Fox M. D., 2002. Changes to plant species richness in forest fragments: fragment age, disturbance and fire history may be as important as area. En: Journal of Biogeography. Vol 29. pp. 749-765
- Rutledge, D., 2003. Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process? En: DOC Science Internal Series 98. 27 P. Disponible en Internet <http://www.doc.govt.nz/Publications/004~Science-and-Research/DOC-Science-Internal-Series/PDF/DSIS98.pdf> [Consultada: 10 Ag. 2004]
- Turner, M. G y Rusher, L., 1988. Changes in landscape patterns in Georgia, USA. En: Landscape ecology. Vol. 1, No 4. pp. 241-251.
- Turner, M. G, Gardner, R. H. y O'Neill, R. V., 2001. Landscape ecology in theory and practice: pattern and process. New York: Springer. 401P.
- Wu, J., 2004. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. En: Landscape Ecology. Vol 19. pp. 125-138.