

*MEDIO AMBIENTE*

## **FRAGMENTACION DEL PAISAJE DE LA CUENCA DEL RÍO LIMOY**

AUTOR: ANDRÉ LUIS SOTILLE RIEDI.

TUTOR: PROF. ING. AMB. M.SC RICARDO CARDOZO.

Universidad Nacional Del Este

Facultad De Ingeniería Agronómica

Carrera De Ingeniería Ambiental

Minga Guazú- Paraguay

andre\_sotile@hotmail.com, carlos.ricardo.cardozo@gmail.com

### **Resumen**

El presente trabajo estudió la fragmentación del paisaje de la cuenca del Río Limoy, mediante la utilización de herramientas de teledetección y sistema de información geográfico, periodo comprendido de 1985 a 2015(30 años). Primeramente, se realizó un análisis multitemporal de la variación de la cobertura forestal de la cuenca, todos los datos fueron procesados y analizados mediante la plataforma ArcGis y extensiones para la misma. Mediante el análisis multitemporal fue posible determinar índices de cuantificación formal de la cuenca. Una vez obtenidos los índices de cuantificación formal, fue posible calcular los índices de forma y densidad que permitieron estimar la heterogeneidad de la cuenca, así también de este modo fue posible calcular el grado de conectividad de los fragmentos de la cobertura forestal de la cuenca, permitiendo de este modo, mediante la elaboración de mapas temáticos dar una descripción espacial de su grado de fragmentación. Mediante los análisis se determinó una disminución del 74% de la cobertura forestal en treinta años; produciéndose así una fragmentación de carácter heterogéneo con áreas nucleares pequeñas con una distribución desproporcional y conectividad nula desde 1995.

**Palabras claves:** Fragmentación de paisaje, ladscapemetrics, cobertura forestal, teledetección

## **1. INTRODUCCIÓN**

Gran parte de la superficie terrestre está siendo afectada por actividades humanas, ya sea mediante la extracción de recursos o a través de la transformación de los ecosistemas naturales en otros dominados por usos antrópicos. **Sanderson (2002)** afirma que los patrones de uso y cambios en el uso de la tierra tienen estrecha relación tanto con las características físicas y ecológicas del paisaje, como con las condiciones de desarrollo socioeconómico y político de una región.

Los cambios de cobertura e índice de fragmentación de la cobertura forestal constituyen información cuantitativa y cualitativa importante, que una vez representadas en mapas y datos estadísticos, servirán como una herramienta valiosa para plantear proyectos de conservación en las zonas más intervenidas.

La Cuenca del Río Limoy se encuentra dentro de la Ecorregión Bosque Atlántico del Alto Paraná, según la ecorregión del Bosque Atlántico del Alto Paraná es un caso extremo de la capacidad del hombre de modificar ambientes naturales. Entonces desde ese punto de vista conocer los patrones de cambios de la cobertura forestal, su grado de fragmentación y sus vínculos con los conductores socio-económicos e impactos ambientales, son esenciales para la planificación y discusión de las vías y políticas de desarrollo para la conservación, conexión y o recuperación. Esto nos permite caracterizar un paisaje no solo en su configuración actual, sino en su historia y dinámica, lo que es fundamental para comprender las interacciones entre el paisaje y la biodiversidad, y predecir estados futuros.

Otro punto importante a tener en cuenta es que dentro de los límites de la Cuenca del Río Limoy se encuentra la Reserva Biológica de Limoy, lo que enfatiza la importancia de la utilización de herramientas adecuadas para medir los índices de fragmentación del paisaje con el fin de establecer medidas de conservación.

Uno de los métodos de medir la fragmentación del paisaje es la utilización de sensores remotos y sistemas de información geográfica. Tal herramienta se encuentra cada vez más extendido dentro de la biología de la conservación, ya que facilita el desarrollo de proyectos en zonas poco accesibles, disminuye su tiempo de elaboración y los resultados obtenidos concuerdan con los objetivos planteados.

El presente estudio determinó los cambios de cobertura forestal en la zona entre los años 1985 a 2015, utilizando distintos métodos y técnicas de análisis multitemporal, con imágenes satelitales. Además, se aplicó técnicas de medición del paisaje con el fin de identificar el índice de fragmentación para el año 2015.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GENERAL**

- Determinar el nivel de fragmentación del paisaje (Landscape metrics) de la Cuenca del Río Limoy a través de herramientas de teledetección e información geográfica (SIG), en periodo de 1985 al 2015.

## 2.2. ESPECÍFICOS

- Analizar la variación de la cobertura forestal de la Cuenca del Río Limoy.
- Cuantificar a los fragmentos de la cobertura forestal de la Cuenca del Río Limoy en índices de cuantificación formal.
- Determinar la conectividad de los fragmentos de la cobertura forestal Cuenca del Río Limoy.
- Determinar la heterogeneidad o homogeneidad de la cobertura forestal de la Cuenca del Río Limoy

## 3. REVISIÓN DE LITERATURA

### 3.1- El Paisaje

**Etter. (2000)** El paisaje es una porción de espacio geográfico, homogéneo en cuanto a su fisionomía y composición, con un patrón de estabilidad temporal, resultante de la interacción compleja de clima, rocas, agua, suelo, flora, fauna y el ser humano, que es reconocible y diferenciable de otras porciones vecinas de acuerdo con el análisis espacio-temporal específicas. La configuración o expresión externa e interna que adquiere un paisaje de acuerdo con **Sánchez (2006)** es el resultado de los factores que intervienen en su formación (clima, geomorfología, suelos, litología/materiales parentales, vegetación y actividades humanas), lo cual determina la distribución espacial de los fragmentos. La geomorfología y la cobertura son dos factores relevantes en la identificación y delineación de paisajes, pues constituyen las propiedades emergentes de los paisajes, y permiten reconocerlos y diferenciarlos unos de otros.

Según **Forman (1996)**, desde el punto de vista estructural el paisaje funciona cuando presenta tres elementos: La matriz, los corredores y los parches. La agrupación de estos elementos determina la dominancia y heterogeneidad de cada paisaje con las propiedades características pertenecientes a cada uno de estos.

La matriz de un paisaje según **Etter (2000)** es el tejido que conecta la tierra con el fondo, dentro del cual encajan todos los elementos del paisaje, incluyendo parcelas, orillas, y corredores. La matriz es la porción del paisaje más conectada, compuesta del tipo de vegetación más contigua y predominante. La matriz es el elemento dominante, englobante y que contiene las manchas o parches (también llamadas parcelas) y los corredores o elementos lineales.

**Morlans (2013)** Las parcelas o parches son áreas de tierra relativamente homogéneas internamente con respecto a la estructura y a la edad vegetativa. Las parcelas son diferentes a la matriz que las rodea. Algunos ejemplos de parcelas son los claros de los paisajes forestados, las tierras pantanosas, las áreas de pastizales y los lugares rocosos. Los corredores son generalmente longitudinales, adoptando la forma de franjas angostas, alargadas de forma

irregular, cuya vegetación cumple un papel de protección o de comunicación, uniendo o separando elementos en una matriz geográfica.

**Forman (1996).** Los corredores pueden ser franjas aisladas, pero están usualmente unidos a un parche con vegetación similar, son usados como rutas o conductos de movimiento, aunque también cumplen otras funciones; son filtros de especies, son hábitats para otras, y son fuente de efectos ambientales y biológicos para su entorno.

Según **Yerena, E (2002)** los criterios para la aplicación del concepto de corredores con el fin de aplicar con éxito el enfoque de mosaico de ecosistemas; una región debe reunir la mayoría de las siguientes características:

Tener ecosistemas que se encuentren en proceso de fragmentación, pero donde el aislamiento aún no sea drástico;

Que dichos ecosistemas guarden estrecha relación y afinidad biogeográfica entre sí;

Que sus condiciones fisiográficas permitan proponer soluciones prácticas para la interconexión;

Que cuente con información básica disponible;

Que posea áreas silvestres protegidas ya establecidas;

Que sus dimensiones físicas puedan ser abarcadas en el tiempo disponible para el desarrollo del proyecto;

Que sea posible obtener información primaria y actualizada sobre su cobertura vegetal natural;

Que se pueda identificar especies claves que regulan y mantienen la abundancia de otras especies dentro del ecosistema (criterio biológico), es decir basarse en exigencias ecológicas de especies que regulan y mantienen la abundancia de otras especies dentro del ecosistema.

**Taylor (2006)** La conectividad es el grado en el que el paisaje facilita o impide el movimiento entre parches; la conectividad depende también de la fisonomía del paisaje y la composición de los parches para medir la distribución de recursos. La conectividad es una medida de la habilidad de los organismos para moverse a través de parches separados de hábitat.

**Vila (2006)** La fragmentación tiene lugar como proceso en áreas intervenidas por el hombre, producto de sus actividades

**Etter y Villa, (2000).** Se entienden como fragmentos, las diferentes unidades morfológicas que se pueden diferenciar en el territorio, cuya superficie muestra una correlación con las especies que puede albergar.

**Fahrig, (2003)** Un paisaje fragmentado representa el punto final de los procesos de fragmentación; presentando un número de pequeños parches remanentes de la superficie total de un área, aislados unos de otros por una matriz de hábitats diferente de la original.

Por otro lado, según **Harris (2003)** la fragmentación del bosque es el reemplazo de grandes áreas del bosque nativo por otros ecosistemas, dejando parches (o islas) separados de bosque,

con consecuencias deletéreas para la biota nativa. Esta fragmentación tiene dos componentes principales, contribuyendo ambos a la disminución progresiva de la diversidad biológica: Reducción y pérdida de la cantidad total del tipo de hábitat, o quizá de todo hábitat natural en un paisaje. Separación del hábitat remanente en parches más pequeños y aislados.

### **3.2- Ecología del Paisaje**

**Villegas (2001).** La ecología del paisaje es una disciplina que estudia los factores bióticos y abióticos en un área de la superficie terrestre, incluyendo el estudio de las relaciones espaciales, temporales y funcionales entre los componentes de los paisajes; el paisaje hace referencia a espacios territoriales amplios, conformados por cobertores vegetales naturales y transformados; su enfoque está propuesto para la caracterización de componentes de biodiversidad y concentra su atención al análisis y cuantificación de la estructura de los patrones de paisajes, mediante la estimación de índices que reflejan el estado de éstos en términos de tamaño, forma, distancia, aislamiento, diversidad, dominancia, conectividad y fragmentación, entre otros.

**Acuña (2010)** Los resultados de la aplicación de métodos cuantitativos en ecología del paisaje se agrupan en los denominados índices de paisaje (landscapemetrics). Los índices de paisaje aportan interesantes datos numéricos sobre la composición y la configuración de los paisajes, la proporción de cada cubierta del suelo o la superficie y la forma de los elementos del paisaje. Además, los índices de paisaje permiten una útil e interesante comparación entre distintas configuraciones paisajísticas, la misma área en distintos momentos temporales o la definición de escenarios futuros.

### **3.3- Índices del Paisaje**

Los métodos cuantitativos en ecología del paisaje son aplicables a un triple nivel según **McGarigal y Marks, (1995); Botequilha y otros, (2006)**: A nivel de fragmento (patchlevel). Los cálculos se aplican a cada fragmento individualmente. Es el nivel adecuado, por ejemplo, para determinar cuál es el fragmento de mayor superficie entre todos los representados. A nivel de clase (classlevel). Los cálculos se aplican a cada conjunto de fragmentos de la misma clase, es decir, a aquéllos que tienen el mismo valor o que representan el mismo tipo de uso del suelo, hábitat, etc. Es el nivel apropiado para calcular cual es la superficie que ocupa una determinada cobertura del suelo, como podrían ser los bosques, o cual es la extensión media ocupada por los fragmentos de bosque. A nivel de paisaje (landscapelevel). Los cálculos se aplican al conjunto del paisaje, es decir, a todos los fragmentos y clases a la vez. El resultado nos informa del grado de heterogeneidad o de homogeneidad del conjunto del área que se ha cuantificado.

Se pueden diferenciar cinco grandes tipos de índices de paisaje según **McGarigal y otros, (1995); Botequilha y otros, (2006)**:

Índices de área, superficie, densidad y variabilidad. Un tipo de índices centrado en las características de dimensión y en el número de fragmentos que conforman el área de estudio.

Nos permite disponer de una primera aproximación general a las características morfológicas de un determinado paisaje. Cabe destacar los siguientes índices. Índices de forma. Como específica su nombre, están fundamentados en las características de forma de los fragmentos que constituyen un determinado paisaje. Este tipo de cálculos se basa en la relación entre área y perímetro, y facilita la comprensión de este factor fundamental a nivel morfológico y funcional.

**Forman y Godron, (1996); Forman, (1995)** Índices de ecotono y hábitat interior. Permiten hacer cálculos sobre la amplitud del ecotono, o hábitat de borde, en relación con el hábitat interior. En el caso del ecotono, es preciso determinar una amplitud que será diferente en función de las propias características ambientales de cada fragmento y el contraste en relación con el fragmento o los fragmentos colindantes. El hábitat de interior se considera fundamental para la presencia y el mantenimiento de fauna y flora especialista, es decir, más exigente en sus requerimientos ecológicos, mientras que el hábitat de borde facilita la presencia de especies generalistas.

**Forman, (1996); Hilty, Lidecker y Merenlender, (2006)** Índices de distancia, vecindad y conectividad. Estos índices calculan la distancia desde el hábitat de borde y ecotono de un fragmento hasta el fragmento más próximo al mismo tipo. Se trata de índices fundamentales para poder valorar el grado de aislamiento o conectividad existente entre los distintos fragmentos, partiendo de la base de que un mayor aislamiento implica una reducción de las posibilidades de albergar o mantener un mayor grado de diversidad biológica. Índices de diversidad del paisaje: estos índices aportan información relevante para poder comparar distintos paisajes o la evolución de un paisaje en diferentes momentos históricos.

### **3.4- Los Sistemas de Información Geográfica**

La aplicación de nuevas tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la teledetección y los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) ha abierto un amplio sector de investigación. **Grossmann (1993)** define los Sistemas de Información Geográfica como una plataforma que permite la combinación de diferentes tipos de información. Según **Abajo (2007)** en el contexto de la ecología del paisaje, los SIG proporcionan un marco para analizar las interacciones entre los patrones espaciales y la distribución de dinámica de las poblaciones, considerándose como una herramienta fundamental al trabajar con grandes extensiones territoriales o en la gestión del Espacios Naturales Protegidos. Entre el software especializado en obtener índices cuantitativos de la ecología del paisaje se encuentra Fragstats 3.3 (2002) y Grass 6.4.0 (2009). Junto a éstos, también se han desarrollado extensiones que trabajan como módulos independientes sobre programas SIG como V-late (2003) y PatchAnalyst 4 (2008) en ArcGis.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Localización**

El área de estudio comprende a la Cuenca del Río Limoy; posee una superficie de 1.058 kilómetros cuadrados. La cuenca está ubicada en la Región Oriental del Paraguay, se encuentra dentro del Departamento de Alto Paraná, margen derecha del Río Paraná, a 160 Km. al norte de

la ciudad de Hernandarias; forman parte de la cuenca los distritos de Itakyry, Mbaracayu, Minga Pora y San Alberto.

#### **4.2. Diseño de Investigación**

El tipo de investigación pertenece al estudio descriptivo no experimental con diseño longitudinal.

Según **Hernandez R.; Fernández C.; Baptista P., (2003)** con mucha frecuencia, el propósito del investigador consiste en describir situaciones, eventos y hechos. Esto es, decir como es y cómo se manifiesta determinado fenómeno. Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Los diseños longitudinales recolectan datos sobre variables o sus relaciones, en dos o más momentos, para evaluar el cambio en estas.

#### **4.3. Selección de Imágenes y Procesamiento**

Para evaluar la variación de la cobertura forestal de la cuenca del Río Limoy, se realizó un análisis multitemporal, a través de imágenes Landsat, de los años; 1985, 1995, 2005 y 2015. Las imágenes fueron tratadas y procesadas en la plataforma Arcgis. La clasificación de imágenes satelitales se realizó mediante el proceso de clasificación no-supervisada con el algoritmo ISO-Cluster. Se realizó la delimitación de la cuenca del Río Limoy utilizando el modelo digital del terreno (MDT) del Space Radar Shuttle (SRTM) con una resolución espacial de 30m. Mediante las herramientas de hidrología disponibles en el ArcGIS 10.2.2. Las imágenes se descargaron del servidor de Imágenes GLOVIS

#### **4.4. Análisis Multi- temporal**

Para el análisis multitemporal se tuvo en cuenta solamente la cobertura forestal y se clasificó cada imagen por separado, empleando la misma leyenda temática, con el fin de que puedan compararse posteriormente. A continuación se procedió a la tabulación cruzada de los mapas, mediante la superposición de los mapas para poder determinar de manera cuantitativa y con localización espacial, las variaciones de la cobertura forestal de la Cuenca del Río Limoy. (**Pontius, et al 2004**)

#### **4.5. Índices de ecología del paisaje.**

##### **Obtención de las métricas de ecología del paisaje.**

Para realizar la medición en índices de cuantificación formal primeramente se realizó un análisis multitemporal de la modificación de la cobertura forestal de la Cuenca del Río Limoy, de este modo se delimitó los fragmentos en índices de cuantificación formal, una vez obtenidos los índices de cuantificación formal se procedió al análisis de los índices de conectividad. La conectividad de los fragmentos de la cobertura forestal se determinó a través de las características de los índices de configuración del paisaje **McGarigal (2002)**. Por último, se

determinó la homogeneidad y o heterogeneidad del paisaje utilizando índices de forma y densidad del paisaje.

Los índices que se tuvieron en cuenta, se muestran resumidos de acuerdo a las variables a estudiadas en las tablas 1, 2, 3 y 4.

**Tabla 1- Índices de Composición del Paisaje**

Variable	Índices	Símbolo	Descripción
Composición	Área Total	<b>AT</b>	Área total de la unidad de paisaje
	Número de teselas (Number of Patches)	<b>NP</b>	Número de teselas presentes en un paisaje
	Densidad de teselas (PatchDensity)	<b>PD</b>	Número de teselas del paisaje dividido por la superficie total del paisaje
	Tamaño mediotesimal (Mean Patch Size)	<b>MPS</b>	Superficie total del paisaje , dividida por el número total de teselas

Fuente: **McGarigal (2002)**.

Mediante los índices que reflejan las características de Composición del paisaje (**Tabla 1**) se pudo cuantificar los fragmentos de la cobertura forestal de la cuenca del rio Limoy en índices de cuantificación formal. Los índices de mayor relevancia son: AT, que es la superficie total en estudio, NP que es igual al número de teselas presentes en un paisaje y por último la densidad de las teselas (PD) y su tamaño medio(MPS).

**Tabla 02 Índices de Configuración del Paisaje.**

Variable	Índices	Símbolo	Descripción
Configuración	Índice medio de proximidad	<b>PX. MN</b>	Distancia media en un parche y otro
	Desviación Estándar del Índice de proximidad.	<b>PX. SD</b>	Desviación Estándar del Índice de proximidad
	Índice de conectividad	<b>CONNECT</b>	Mide la conectividad a un radio de 1000 m del parche

Fuente: **McGarigal (2002)** y **Tomado de Rutledge (2003)**

A través de los índices de configuración del paisaje (**Tabla 2**) se logró analizar el grado de conectividad de los fragmentos de la cobertura forestal de la cuenca del Río Limoy. Los índices más importantes son los de proximidad (PX) y de conectividad (CNNECT).

**Tabla 04 Índices de Diversidad del Paisaje.**

Variable	Índices	Símbolo	Descripción
<b>Diversidad</b>	Riqueza de teselas (Patch Richness)	<b>PR</b>	Tipos de tesela diferentes presentes dentro de las fronteras del paisaje



	Densidad de riqueza de teselas (PatchRichnessDensity)	<b>PRD</b>	Tesela distintos presentes dentro del paisaje, dividido por el área total
--	---	------------	--

Fuente: **McGarigal (2002)**.

Mediante el análisis de las características de forma y diversidad del paisaje (**Tablas 3 y 4**) se logró determinar el grado de homogeneidad y o heterogeneidad del paisaje de la cuenca del Río Limoy. Entre los índices más relevantes se encuentran los índices de zonas nucleares (TCA), los índices de índices de bordes (TE) y la densidad de riqueza de las teselas (PRD) presentes dentro del paisaje.

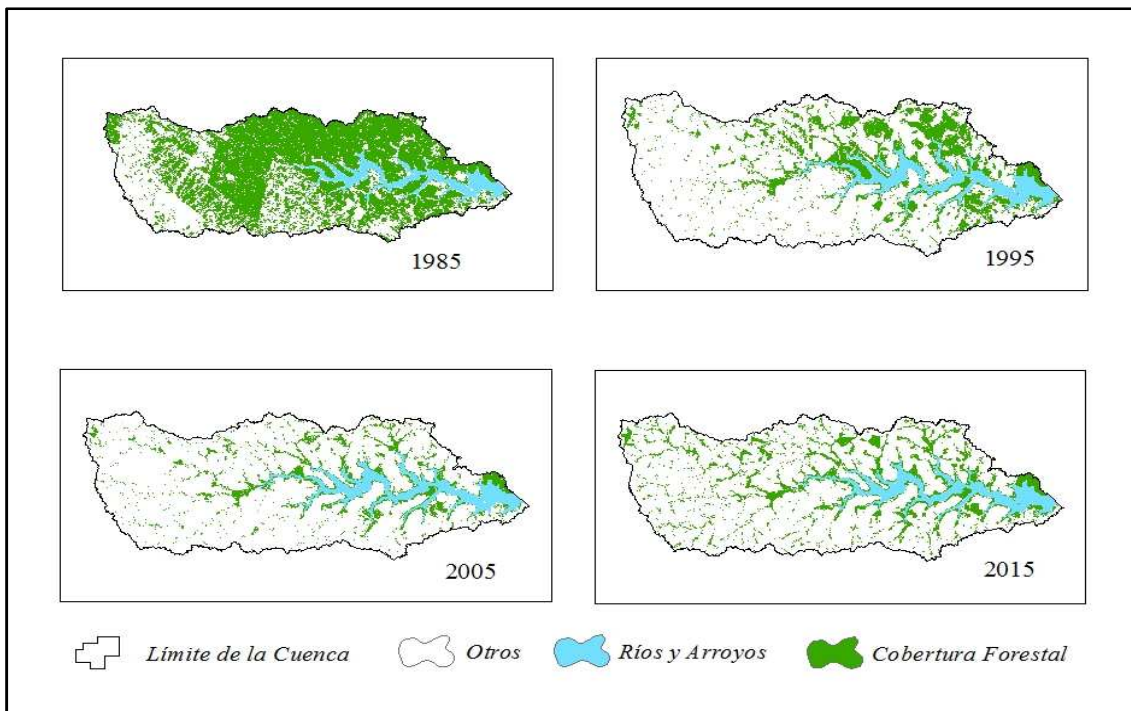
## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante los resultados obtenidos en la determinación de la fragmentación del paisaje de la Cuenca del Río Limoy a través de la utilización de herramientas de teledetección e información geográfica, observase que hubo a lo largo de 30 años grandes cambios en la estructura del paisaje de la cuenca. Estos cambios provocaron gradualmente la disminución de la cobertura forestal conduciendo a un grado de fragmentación extremo. Con los resultados obtenidos primeramente se realizó un análisis de la variación de la cobertura forestal, seguidamente se determinaron índices de cuantificación formal que permitieron analizar el grado de conectividad y homogeneidad de la cuenca a lo largo del periodo de estudio.

### 5.1- Análisis Multitemporal

Para determinar la variación de cobertura forestal de la cuenca del Río Limoy se procedió a la tabulación cruzada de resultados obtenidos en el procesamiento de las imágenes landsat mediante la plataforma de Arc Gis 10.2.2. La figura 11 demuestra respectivamente la variación de la cobertura forestal durante los años 1985 a 2015. Mediante el análisis de tabulación cruzada, observase que durante la primera década (1985 a 1995), hubo una disminución de la cobertura forestal de 42566 ha. En el año 1985 la cuenca poseía una cobertura forestal de 61585 ha, lo que corresponde a una pérdida de 69% de la cobertura en una década. Para la década siguiente (1995 a 2005) se observa una disminución de 9323ha, en relación a 2005.

**Figura 11- Variación de Cobertura Forestal en periodo de 1985 a 2015**



**Fuente:** Elaboración propia. Minga Guazú 2016.

La última década de estudio (2005 a 2015) se registra un aumento de 5735 ha. de la cobertura forestal en la cuenca del Río Limoy. Este dato podría explicarse de la siguiente manera: A finales del año 2004 se promulga la **Ley 2524/04**, *“De Prohibición En La Región Oriental De Las Actividades De Transformación Y Conversión De Superficies Con Cobertura De Bosques”*, provocando de esta manera la disminución de la tala y quema ilegal de bosque nativos.

Por otro lado, el aumento de la cobertura forestal durante esta década podría explicarse con la consolidación de la Secretaría del Medio Ambiente (**SEAM**) durante los años 2004 a 2008, y la efectiva aplicación de la **Ley 294/93** de *“Evaluación De Impacto Ambiental”*.

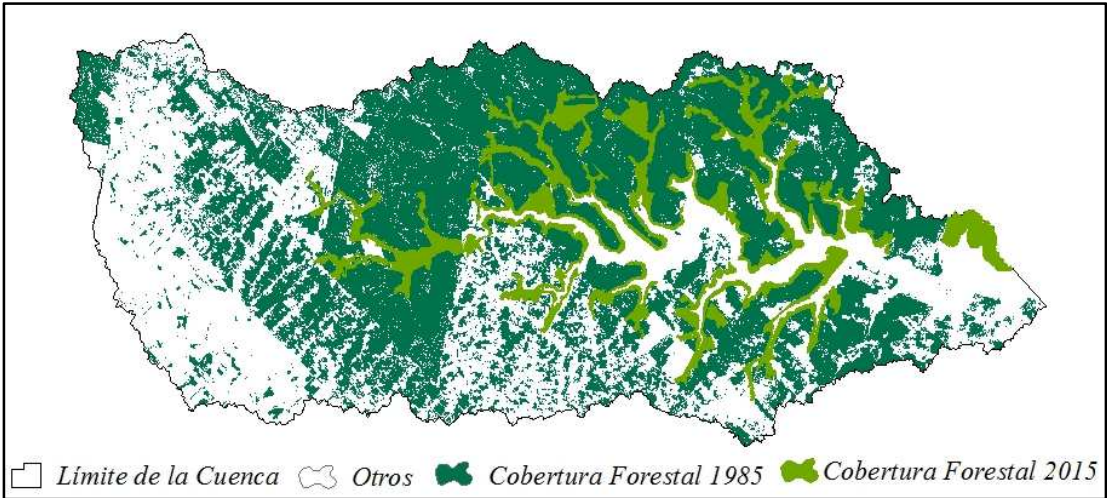
A pesar de que la Ley estaba en vigencia desde 1993, su aplicación según **Molinas (2013)** durante este periodo de administración de este marco legal se sustentó en la aplicación de los mismos para las grandes obras especialmente las financiadas por organismos internacionales como el Banco Mundial (BM) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), donde prácticamente sus préstamos aprobados por el parlamento para el país especialmente destinados su ejecución al Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC).

La puesta en vigencia del Decreto **Nº 14.281/96** que reglamenta la **Ley Nº 294/93** de Evaluación de Impacto Ambiental, después de casi cuatro años de estar vigente la ley se establecía claramente los términos, normas técnicas y procedimientos administrativos de la Evaluación de Impacto Ambiental en el Paraguay. Aún según **Molinas (2013)**, en el periodo de 1.996 al 2.000 se crea la Secretaría del Ambiente (SEAM) dependiente del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), y se convierte en la autoridad administrativa de la **Ley Nº 294/93** de Evaluación de Impacto Ambiental y su Decreto Nº14.281/96 en el Paraguay. Pero en el periodo del 2000 al 2003 y parte del 2004 la Evaluación de Impacto ambiental en el Paraguay sufre una

retracción en el proceso de consolidación, debido a que la Secretaria del Ambiente (SEAM) entra en una serie de cambios sucesivos de sus ministros secretarios y asociado además al cambio de gobierno, donde el tema ambiental en el país se debilita como política y finalmente repercute en la consolidación de la Evaluación de Impacto Ambiental aflorando principalmente los problemas de extorsión y corrupción como principales elementos en el proceso en la Evaluación de Impacto Ambiental debilitando su administración y aplicación en este proceso. Finalmente, en el periodo del 2004 al 2008 la Secretaria del Ambiente (SEAM) se estabiliza logrando un fuerte liderazgo con el apoyo financiero del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), donde se formula, ajusta y promulga la Política Ambiental Nacional (PAN/2005) convirtiendo a la Evaluación de Impacto Ambiental en el principal instrumento u herramienta de gestión ambiental en el Paraguay.

Tomando en cuenta el periodo de estudio de 1985 a 2015, (30 años), se observa según la figura 12, una disminución de la cobertura forestal de 46154 ha, se afirma así, que hubo una disminución de 74% de la cobertura forestal en la Cuenca del Río Limoy durante los últimos 30 años.

**Figura 12- Superposición de imágenes de la Cobertura Forestal de la Cuenca del Río Limoy entre los años 1985 y 2015**



Fuente: Elaboración propia. Minga Guazú. 2016

### 5.2- Cuantificación Formal del Paisaje de la cuenca del Río Limoy

La Tabla 9 demuestra los índices de composición del Paisaje de la cuenca del Río Limoy, atreves de los cuales se refleja la cuantificación formal del paisaje.

**Tabla 9- Índices de composición del Paisaje de la Cuenca del Río Limoy**

Cobertura Forestal						
Composición	Índice	Unidad	Años			
			1985	1995	2005	2015
	AT	ha	61585	19019	9696	15431

	<b>NP</b>		2358	686	706	711
	<b>PD</b>	N*100ha	2,18	0,64	0,65	0,66
	<b>MPS</b>	ha	26,12	27,72	13,73	21,70

Fuente: Elaboración propia. Minga Guazú 2016

Los índices de composición analizados son: Área Total (AT), Número de Fragmentos (NP), Densidad de Teselas (PD) y Tamaño Medio Teselar (MPS).

Analizando la Tabla 9 se observa que en el año 1985 la cuenca poseía 2358 fragmentos los cuales poseían una densidad 2, 18 por 100 ha. ocupando un área de cobertura forestal de 61585 ha. Ya en la primera década (1985 a 1995) se observa una disminución bastante significativa del número de fragmentos que se reduce a apenas 686 fragmentos con una densidad baja de 0,64 por cada 100 ha en un área de 19019 has. El peor escenario se observó para el año 2005 donde a pesar de aumentar el número de fragmentos, estos presentaron un tamaño medio teselar de 13,73 ha, considerablemente menor que los demás periodos en estudio, además de poseer un área de cobertura de 9698 ha, también menor a los demás periodos.

Ya para el año 2015 se observa un aumento del número de fragmentos (711), con un tamaño medio (21,70 ha) así como también un área de cobertura mayor en relación a 2005.

De esta manera ya es posible afirmar a través de los índices de composición analizados que a causa de la disminución de la cobertura forestal, se ha producido en la cuenca a través del tiempo una fragmentación considerable del paisaje con una reducción significativa del número de fragmentos, así como también el área total y el tamaño medio de los mismos, ya que según **Pontius (2004)** la fragmentación de un paisaje no se considera por el número de fragmentos del paisaje, más bien por las características de composición que presentan los fragmentos.

### 5.3- Heterogeneidad de la Cuenca del Río Limoy

La heterogeneidad de la Cuenca del Río Limoy se calculó a través de los Índices de Forma del Paisaje y los índices de Diversidad del Paisaje.

**Tabla -10 Índices de Forma del Paisaje de la cuenca del Río Limoy**

Cobertura Forestal						
Forma	Índice	Unidad	Años			
			1958	1995	2005	2015
	TE	m	4874192	2139255	1821363	2083540
	ED	m*ha	79,15	112,48	187,85	135,02
	TCA	ha	61097,59	18805,09	9513,66	15222,63
	CAD	N*100ha	3,86	3,65	7,42	4,67
	MSI		1,51	1,83	1,99	1,81
	MPAR		866,93	316,77	358,01	336,38
	MPFD		1,33	1,34	1,39	1,34
	AWMPFD		1,45	1,37	1,38	1,39
	PSCoV	%	3206,76	670,87	324,54	564,55

	PSSD	ha	837,52	185,99	44,57	122,53
--	------	----	--------	--------	-------	--------

Fuente: Elaboración propia. Minga Guazú 2016.

Los índices de Forma analizados fueron: Longitud total de bordes de teselas (TE), Densidad de bordes teselares (ED), Índice medio de forma, ponderado por el área (AWMSI), Área Total de zonas nucleares (TCA), Densidad de zonas nucleares (CAD), Índice medio de forma (MSI), Dimensión fractal teselar media (MPFD), Patchsize standard deviation (PSSD), Patchsizecoefficient of variation (PSCoV), Meanpatch fractal dimensión (MPFD)

Analizando el resultado de los índices de Forma del Paisaje se observa que para el año 2005 se registra el peor escenario en la cuenca del Río Limoy, con fragmentos con formas irregulares, ya que los resultados de los cálculos para el Índice Medio Forma son de 1,99, que según **McGarigal K, (2002)** cuando MSI es igual a 1 todas las teselas del paisaje son circulares y próximo a 2 cuando las formas de las teselas se vuelven más irregulares.

Es también posible afirmar que para el año 2005 se registra mayor separación de los fragmentos a través de los cálculos obtenidos en los índices de Dimensión fractal Teselar Media que es de 1,39, también se observa que para el mismo año se registra una desviación estándar (PSSD) en el tamaño de las zonas nucleares consideradas matrices de apenas 44, 50 has.

La Tabla 11 nos indica los Índices de Diversidad del Paisaje de la Cuenca del Río Limoy

**Tabla 11- Índices de Diversidad de la Cobertura forestal de la Cuenca del Río Limoy**

Cobertura Forestal						
Diversidad	Índice	Unidad	Años			
			1958	1995	2005	2015
	PR	ha	2	2	2	2
	PRD	%*100ha	57,01	17,61	8,98	14,28
	SDI		1,87	4,11	5,07	4,18
	SEI		0,24	0,63	0,77	0,64

Fuente: Elaboración Propia. Minga Guazú -2016

Los índices más importantes son los de SDI y los de SEI, mediante los resultados obtenidos se observó que, para el año 2005 se registra un Índice de Diversidad de Shannon de 5, 07 indicando de esta manera un aumento de número de tipos de fragmentos con formas irregulares, así como también el índice de Uniformidad de Shannon 0,77 nos indica una distribución desproporcional de los fragmentos ya que según **McGarigal K, (2002)** cuando SEI se acerca a 0 existe una distribución uniforme de fragmentos y se aproxima a 1 cuando la distribución es desproporcional.

Se afirma entonces que, mediante los datos obtenidos con los índices de forma y diversidad, que, para el periodo de 2015, a pesar del aumento de cobertura forestal observado, se registra un paisaje heterogéneo con fragmentos con áreas nucleares matrices relativamente pequeños y con una diversidad de distribución desproporcional.

#### 5.4- Conectividad de la Cuenca del Río Limoy

Mediante los resultados obtenidos mediante los índices que indicaron la heterogeneidad de la cuenca del Río Limoy se logró calcular la conectividad de la cuenca.

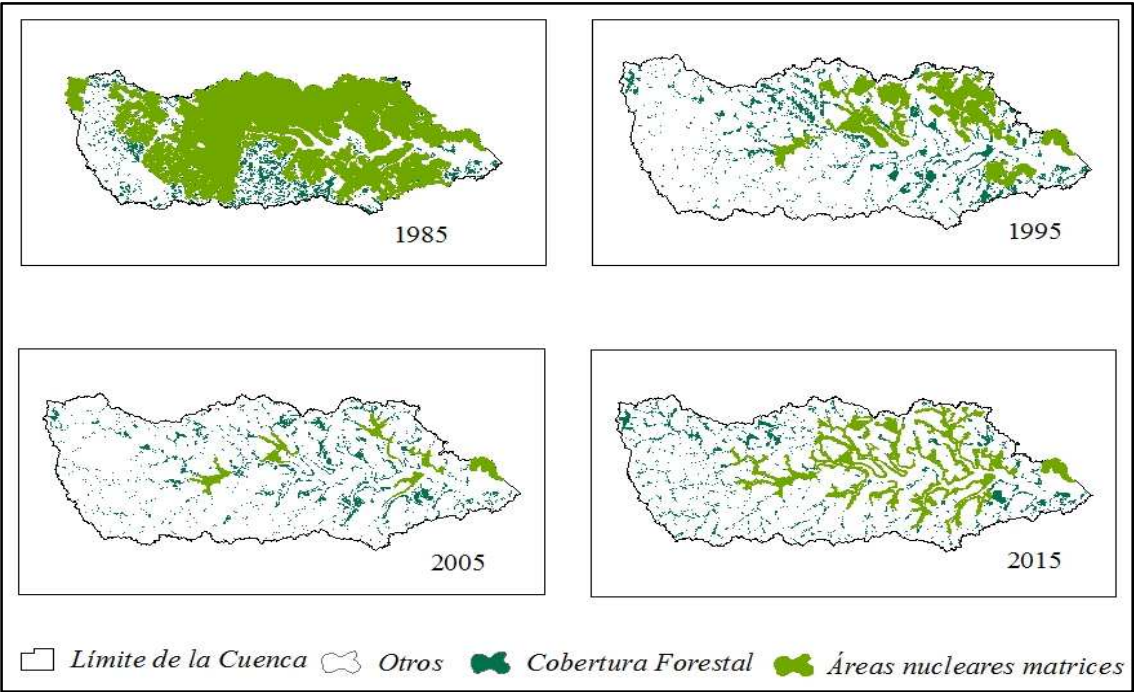
**Tabla 12- Índices de Conectividad de la Cuenca del Río Limoy**

Cobertura Forestal						
Conectividad	Índice	Unidad	Años			
			1958	1995	2005	2015
	Prox	m	497,00	7709,17	12789,21	5313,24
	CONNECT		CONNECT	NULA	NULA	NULA

Fuente: Elaboración propia. Minga Guazú 2016.

En la figura 13 se observa las áreas nucleares consideradas matrices, las mismas fueron indicadas por la extensión para la plataforma Arc Gis, denominada PatchAnalyst mediante los datos cargados, donde se aplicaron los cálculos y métricas utilizadas por **Olivier (2013)** para calcular el grado de conectividad, el mismo autor tomo como base los índices de proximidad, CONECT cuando el Índice de Proximidad Medio es menor a 1000m, media cuando es menor a 2000m , baja mayor a 2000m y nula mayor a 5000m.

**Figura 13- Áreas Nucleares Matrices de la Cuenca del Río Limoy en periodo de 1985 a 2015**



Fuente: Elaboración propia. Minga Guazú. 2016

De esta manera se afirma que el paisaje de la cobertura forestal de la Cuenca del Río Limoy posee una conectividad Nula desde el año 1995, pero que para el año 2015 se registra una

aproximación considerable para lograr la conectividad de los fragmentos a pesar de que las áreas nucleares consideradas matrices son relativamente pequeñas.

Cabe destacar que la importancia de la conectividad ecológica en la cuenca del Río Limoy no solo se enfatiza a la conservación de las especies de flora presentes en la cuenca, sin embargo también a las especies faunísticas, ya que estas en cierta medida, existiendo un grado de conexión, serán responsables por garantizar procesos de migración, relación reproducción e intercambio genético.

Lógicamente, cada especie contará con unos niveles de desplazamiento que serán distintos y que, por tanto, estarán condicionadas a las necesidades de conexión entre poblaciones de su misma especie, para así poder cumplir con su nicho ecológico y de este modo mantener un grado de equilibrio en la cuenca.

Finalmente se destaca que la importancia de esta investigación radica en que a través del estudio de los efectos recíprocos entre el patrón espacial y los procesos ecológicos que se manifiestan a escala de paisaje; pueda establecerse métodos de conservación y o recuperación eficaces y efectivos. Además, esta investigación podrá auxiliar con información cualitativa y cuantitativa importante para la eficacia de programas nacionales de conservación y recuperación de la biodiversidad ya existentes en el país.

## **6. CONCLUSIÓN**

Con base en los resultados obtenidos en los análisis realizados mediante herramientas de teledetección y sistema de información geográfica, en periodo de 1985 a 2015(30 años) en la Cuenca del Río Limoy, se presenta las siguientes conclusiones: En el análisis multitemporal, de la cobertura forestal de la cuenca del Río Limoy se determinó una pérdida de cobertura forestal de 46154 ha; se afirma así, que hubo una disminución de 74% de la cobertura forestal en la Cuenca durante los últimos 30 años. Mediante el análisis de los índices de cuantificación formal se confirma que se ha producido en la cuenca a través del tiempo una fragmentación considerable del paisaje con una reducción significativa del número de fragmentos, así como también el área total y el tamaño medio de los mismos. Con los valores obtenidos mediante los índices de forma y de diversidad del paisaje se afirma que para el año 2015 el paisaje de la Cuenca del Río Limoy es heterogéneo con fragmentos con áreas nucleares matrices relativamente pequeños y con una diversidad de distribución desproporcional. En los análisis de conectividad de los fragmentos de la cobertura forestal se observó que la conectividad de las áreas nucleares consideradas matrices en la cuenca es nula desde el año 1995. Finalmente cabe destacar que se registró un aumento de 5735 ha de la cobertura forestal en la última década, así como también los valores de proximidad se aproximan a índices considerados de conectividad, aunque para áreas nucleares matrices relativamente pequeñas.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

- Acuña. Camilo 2010. Identificación De Áreas Prioritarias De Conservación Enfocadas Hacia La Conectividad Estructural Del Corredor Encenillo (Municipios De La Calera, Guasca, Sopo, Sesquilé, Guatavita), Cundinamarca. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Abajo, A (2007). Modelos espaciales de hábitad y análisis de viabilidad de la población de Urgallo en la Cordillera Cantábrica. Oviedo.
- Etter .A. 2000. Introducción a la Ecología del Paisaje. Un Marco de Integración para los Levantamientos Rurales. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Docencia e Investigación, Unidad de Levantamientos Rurales. Bogotá, Colombia.
- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.
- Forman R.T.T. y Gordón, M. (1986): Landscape Ecology. New York, John Wiley and Sons.
- Grossmann, W.D. (1993).Challenges from ecology to application and desig of Geographical Information System. Zaragoza.
- Hernández R.; Fernández, C. y Baptista,(2003) "Metodología de la investigación" México D.F.: McGraw-Hill.
- Morláns. María Cristina. 2013. Estructura Del Paisaje (Matriz, Parches, Bordes, Corredores) Sus Funciones Fragmentacion Del Habitat Y Su Efecto Borde. Editorial Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca.
- Molinas. Alfredo. 2013. Medio Ambiente. Disponible en <http://www.ing-alfredomolinas.blogspot.com>. Consultado el 11/02/2016.
- McGarigal K, 2002 . FRAGSTATS version 3.3: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps, users manual. University of Massachusetts.
- Olivier, F. Y WotherspoonSj. 2013. Modelling habitat selection using presence-only data : Case study of a colonial hollow nesting bird , the snow petrel. Ecological Modelling
- Pontius Jr, Robert Gilmore, Emily Shusas and MenizeMcEachern. (2004). "Detecting impotant categorical land changes while accounting for persistence". Agriculture, Ecosystems&Environment.
- Sánchez Peña, Ramón Ovidio. 2006. Establecimiento y manejo de áreas protegidas: Notas básicas para la enseñanza. Instituto Tecnológico De Santo Domingo (INTEC). Santo Domingo.
- Sanderson EW,RedfordKH,VedderA,CoppolilloPB,Ward SE. 2002. A conceptual model for conservation planning based on landscape species requirements. Landscape and Urban Planning.
- Taylor, G.D., y D. Lamb, redactores, 2006. La restauración ecológica: un medio para conservar la biodiversidad y mantener los medios de vida. Society for Ecological Restoration International, Tucson, Arizona, EE.UU. y IUCN, Gland, Suiza.
- Villegas Florez, Eduardo. 2001. Análisis multitemporal de patrones especiales de transformación del paisaje (1940-1998) en una parte de los cerros orientales de Bogotá. Tesis (Ecólogo). Pontificia Universidad Javeriana.
- Vila, J. D., Vargas, 2006. Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (Landscapeecology). Una interpretación desde la geografía. Doc. Anal. Geogr .



Yerena, E. 2002. Corredores Ecológicos en los andes de Venezuela. Parques Nacionales y Conservación Ambiental. Fundación Polar. Editorial Torino. Caracas, Venezuela.