

**EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA ESPACIAL DEL PAISAJE DE LA
ECORREGIÓN DEL PANTANAL, REGIÓN OCCIDENTAL, PARAGUAY,
PERIODO 1987 - 2016**

JUAN ANDRÉS RIVAROLA GAONA

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad
Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de *Magister
Scientiae en Manejo de Recursos Naturales y Gestión Ambiental del Territorio*.
Programa de Postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
(CONACYT)

Universidad Nacional de Asunción

Dirección de Postgrado

San Lorenzo, Paraguay

2017

**EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA ESPACIAL DEL PAISAJE DE LA
ECORREGIÓN DEL PANTANAL, REGIÓN OCCIDENTAL, PARAGUAY,
PERIODO 1987 - 2016**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: MANEJO DE RECURSOS NATURALES

JUAN ANDRÉS RIVAROLA GAONA

COMITÉ ASESOR DE TESIS

Orientadora: Prof. Ing. For. Stella Mary Amarilla Rodríguez, MSc.

Co-Orientador: Ing. For. Lucía Janet Villalba Marín, MSc.

Co-Orientador: Prof. Dr. Ing. Agr. José Espíritu Ibarra Aranda

Co-Orientador: Prof. Ing. For. Jorge Amado Pinazzo Salinas, MSc.

Revisor Internacional: Dr. Rodrigo Cuervo González (FCBA-UV, México)

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad
Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de *Magister
Scientiae en Manejo de Recursos Naturales y Gestión Ambiental del Territorio*.
Programa de Postgrado fortalecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
(CONACYT)

Universidad Nacional de Asunción

Facultad de Ciencias Agrarias

Dirección de Postgrado

San Lorenzo, Paraguay

2017

**DATOS INTERNACIONALES DE CATALOGACIÓN EN LA PUBLICACIÓN (CIP)
DPTO. DE BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS / UNA**

Rivarola Gaona, Juan Andrés.

Evaluación de la estructura espacial del paisaje de la ecorregión del pantanal, Región Occidental, Paraguay, Periodo 1987 - 2016. / Juan Andrés Rivarola Gaona. - San Lorenzo, Paraguay: FCA, UNA, 2017.

xii, 95 h. : il., cuadros, figuras ; 29 cm.

Incluye bibliografías y anexos.

Tesis (Magister Scientiae) - Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Dirección de Post-Grado en Manejo de Recursos Naturales y Gestión Ambiental del Territorio, 2017.

1. Ecorregiones - Paraguay. 2 Bosques. 3. Bosque tropical humedo. 4. Bosques - Análisis estructural. 5. Ecología del paisaje. 6. Uso de la tierra - Planificación. 7. Análisis multitemporal (Adap.). 8. Desarrollo sostenible. 9. Sistema de Información Geográfica. 10. Biodiversidad. 11. Bosques - Mediciones. 12. Ecorregión del Pantanal, Región Occidental, Paraguay. 13. Distribución espacial. 14. Biosfera. 15. Ecología. 16. Diversidad biológica. 17. Recursos naturales. I. Título.

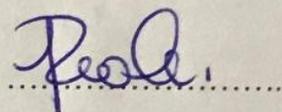
CDD: 333.75

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Agrarias
Dirección de Postgrado

**EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA ESPACIAL DEL PAISAJE DE LA
ECORREGIÓN DEL PANTANAL, REGIÓN OCCIDENTAL, PARAGUAY,
PERIODO 1987 - 2016**

Esta tesis fue aprobada por la Mesa Examinadora como requisito parcial para optar por el grado de *Magister Scientiae* en Manejo de Recursos Naturales y Gestión Ambiental del Territorio, otorgado por la Facultad de Ciencias Agrarias/UNA

Autor: Juan Andrés Rivarola Gaona



Miembros del Comité Asesor de Tesis y Mesa

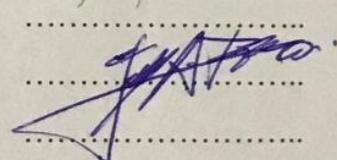
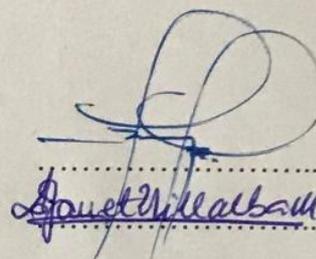
Examinadora:

Prof. Ing. For. Stella Mary Amarilla Rodríguez, MSc.

Ing. For. Lucía Janet Villalba Marín, MSc.

Prof. Dr. Ing. Agr. José Espíritu Ibarra Aranda

Prof. Ing. For. Jorge Amado Pinazzo Salinas, MSc.



San Lorenzo, 17 de noviembre de 2017

DEDICATORIA

A mis padres y a mi familia, a ellos debo todo lo que soy,
y a nuestro Creador, que mediante Él disfrutamos de la hermosa naturaleza.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, gracias a Él se pudo llevar a cabo esta investigación sin grandes sobresaltos, y disfrutar de su hermosa y única creación.

A la gran familia Rivarola Gaona, porque mediante ésta pude tener la mejor educación de todas tanto a nivel personal como profesional.

A mis compañeros y compañeras de curso, con lo cuales formamos tanto un grupo de investigación como un grupo de amigos, en especial a Gabriela, Jazmín, Daniel y Verónica quienes apoyaron y formaron parte de esta investigación.

A mi orientadora la Prof. Stella, y a mis coorientadores la Prof. Janet, el Prof. José y el Prof. Jorge, por el apoyo incansable y dedicado para el desarrollo de esta tesis.

Al CONACYT, por darnos la oportunidad de participar del programa de maestría, y por brindarnos todo el apoyo necesario para poder concluir en tiempo y forma del mismo.

Al equipo humano que conforma la Dirección de Posgrado de la FCA, por proporcionarme las herramientas necesarias durante los dos años del programa de maestría.

A la Asociación Guyra Paraguay, por su apoyo para las salidas de campo, en especial a Fabiana, Marcos.

A la Secretaría del Ambiente por brindarnos informaciones importantes para el desarrollo de la investigación

Al tío Raúl por su interés y ayuda para obtener todo el apoyo logístico para las salidas al campo.

**EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA ESPACIAL DEL PAISAJE DE LA
ECORREGIÓN DEL PANTANAL, REGIÓN OCCIDENTAL, PARAGUAY,
PERIODO 1987 - 2016**

Autor: Juan Andrés Rivarola Gaona
Orientadora: Prof. Ing. For. Stella Mary Amarilla Rodríguez, MSc.
Co-Orientador: Ing. For. Lucía Janet Villalba Marín, MSc.
Co-Orientador: Prof. Dr. Ing. Agr. José Espíritu Ibarra Aranda
Co-Orientador: Prof. Ing. For. Jorge Amado Pinazzo Salinas, MSc.

RESUMEN

La ecorregión del Pantanal del Paraguay es importante por su alta biodiversidad, en los últimos años perdió gran superficie de áreas naturales por el cambio de uso de la tierra creciente. Conocer la disposición espacial de este cambio puede ayudar a tomar medidas más eficientes para su conservación, por ello es importante estudiar cómo evoluciona la estructura espacial del paisaje. La investigación buscó analizar la evolución de la estructura espacial del paisaje en la ecorregión del Pantanal, periodo 1987-2016; mediante la identificación los tipos de cobertura y usos del área de estudio, la determinación la estructura espacial del área de estudio y la comparación de la estructura espacial del paisaje en la escala de la investigación. Esta escala temporal consistió en los años 1987, 1996, 2006 y 2016. Para la identificación de las coberturas y usos se utilizó como base el Mapa de cobertura del Paraguay del 2011, elaborado por la FCA/UNA y el FFPRI (2013), las clases identificadas fueron Bosque, Sabana, Sabana inundable, Cuerpos de agua, Tierra cultivada y Área urbana. Para la determinación de las métricas del paisaje se utilizó el software Fragstats v.4.2.1, y fueron seleccionadas: NP, PD, AREA_MN, AREA_SD, TE, ED, LPI, SHAPE, PROX_MN, SPLIT y MESH. Se encontró las mayores variaciones en las clases Bosque y Tierra cultivada, con un proceso de fragmentación del bosque incrementado en la última década de estudio y un proceso de expansión de las tierras cultivadas, también incrementándose en ese periodo. Se demuestra que el proceso de fragmentación del bosque está directamente relacionado con la expansión de la tierra cultivada. Las clases de sabanas no presentaron grandes variaciones. Se encontró valores bajos de relación borde-área para el bosque, y que el mismo representó la matriz del paisaje en toda la escala temporal.

Palabras clave – Ecología del paisaje, Métricas, Pantanal.

EVOLUÇÃO DA ESTRUTURA ESPACIAL DA PAISAGEM ECOREGION DE PANTANAL, REGIÃO OESTE, PARAGUAI, PERÍODO 1987 - 2016

Autor: Juan Andrés Rivarola Gaona

Orientadora: Prof. Ing. For. Stella Mary Amarilla Rodríguez, MSc.

Co-Orientador: Ing. For. Lucía Janet Villalba Marín, MSc.

Co-Orientador: Prof. Dr. Ing. Agr. José Espíritu Ibarra Aranda

Co-Orientador: Prof. Ing. For. Jorge Amado Pinazzo Salinas, MSc.

RESUMO

A ecorregião do Pantanal do Paraguai é importante por sua alta biodiversidade, nos últimos anos perdeu uma área grande de áreas naturais devido ao crescimento na mudança no uso da terra. Conhecer o arranjo espacial desta mudança pode ajudar a tomar medidas mais eficientes para sua conservação, por isso é importante estudar como evolui a estrutura espacial da paisagem. A pesquisa procurou analisar a evolução da estrutura espacial da paisagem na ecorregião do Pantanal, para o período 1987-2016; através da identificação dos tipos de cobertura e dos usos da área de estudo, a determinação da estrutura espacial da área de estudo e a comparação da estrutura espacial da paisagem na escala da investigação. Esta escala de tempo consistiu nos anos 1987, 1996, 2006 e 2016. Para a identificação das coberturas e usos, foi utilizada a base do Mapa de Cobertura do Paraguai 2011, elaborada pela FCA / UNA e pelo FFPRI (2013), as classes identificadas foram Floresta, Savana, Savana Inundada, Corpos de Água, Terra Cultivada e Área Urbana. Para a determinação das métricas da paisagem, o software FRAGSTATS V.4.2.1 foi utilizado e foram selecionados: NP, PD, AREA_MN, AREA_SD, TE, ED, LPI, SHAPE, PROX_MN, SPLIT e MESH. As maiores variações foram encontradas nas classes Florestais e Terras Cultivadas, com um processo de fragmentação da floresta aumentado na última década do estudo e um processo de expansão das terras cultivadas, também aumentando nesse período. Isso mostra que o processo de fragmentação da floresta está relacionado à expansão das terras cultivadas. As classes de Savanas não apresentaram em grandes variações. Se encontrou valores baixos de relação borda-área para a floresta e que representa a matriz de paisagem em toda a escala temporal.

Palavras chave – Ecologia da paisagem, métricas, pantanal.

**EVOLUTION OF THE SPATIAL STRUCTURE OF THE PANTANAL
ECOREGION LANDSCAPE, WESTERN REGION, PARAGUAY, PERIOD
1987 - 2016**

Author: Juan Andrés Rivarola Gaona
Advisor: Prof. Ing. For. Stella Mary Amarilla Rodríguez, MSc.
Co-Advisor: Ing. For. Lucía Janet Villalba Marín, MSc.
Co-Advisor: Prof. Dr. Ing. Agr. José Espíritu Ibarra Aranda
Co-Advisor: Prof. Ing. For. Jorge Amado Pinazzo Salinas, MSc.

SUMMARY

The ecoregion of the Pantanal of Paraguay is important for its high biodiversity, in recent years it lost a large surface of natural areas due to the growing land use change. Knowing the spatial arrangement of this change can help to take more efficient measures for its conservation, so it is important to study how the spatial structure of the landscape evolves. The research sought to analyze the evolution of the spatial structure of the landscape in the Pantanal ecoregion, period 1987-2016; by identifying the types of coverage and uses of the study area, determining the spatial structure of the study area and comparing the spatial structure of the landscape in the scale of the investigation. This time scale consisted of the years 1987, 1996, 2006 and 2016. For the identification of coverage and uses, the 2011 Paraguay Map of Coverage, prepared by the FCA / UNA and the FFPRI (2013), was used as a base, the identified classes were Forest, Savanna, Floodplain, Water bodies, Cultivated land and Urban area. To determine the landscape metrics, the software Fragstats v.4.2.1 was used, and were selected: NP, PD, AREA_MN, AREA_SD, TE, ED, LPI, SHAPE, PROX_MN, SPLIT and MESH. The greatest variations were found in the Forest and Cultivated Land classes, with a process of forest fragmentation increased in the last decade of the study, and a process of expansion of the cultivated lands also increasing in that period. It shows that the process of forest fragmentation is directly related to the expansion of the cultivated land. The classes of savannas did not show great variations. Low values of edge-area relationship for the forest were found, and that it represented the landscape matrix in the whole temporal scale.

Keywords – Landscape ecology, metrics, pantanal.

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
Portada.....	i
Página de identificación	i
Página de aprobación	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Resumen.....	v
Resumo.....	vi
Summary	vii
Tabla de contenido	viii
Lista de cuadros.....	x
Lista de figuras	xi
Lista de anexos.....	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Ecología de paisaje.....	3
2.2 Importancia del paisaje	4
2.2.1 Estructura de paisaje	5
2.2.2 Escala de representación del paisaje	6
2.2.3 Heterogeneidad del paisaje	6
2.2.4 Proceso de fragmentación	7
2.2.5 Conectividad del paisaje	9
2.3 Métricas de Paisaje.....	10
2.3.1 Nivel de aplicación de métricas	11
2.3.2 Tipos de métrica de paisaje	11
2.4 Ecología de paisaje y SIG	12
2.5 El Chaco Americano	13
2.6 El Chaco Paraguayo	14
2.7 Ecorregiones del Paraguay	15
2.8 Antecedentes de investigaciones en el tema y la región	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS	19

3.1 Localización de la investigación	19
3.2 Variables de medición.....	23
3.3 Diseño para la recolección de datos primarios.....	25
3.4 Recursos materiales y equipos técnicos	26
3.5 Descripción del proceso de recopilación de datos	27
3.5.1 Etapa 1. Obtención de datos primarios	27
3.5.2 Etapa 2: Identificación de las coberturas y usos del área de estudio	31
3.5.3 Etapa 3: Determinación de la estructura espacial del área de estudio.....	35
3.5.4 Etapa 4: Comparación de la estructura espacial del paisaje entre los periodos de investigación	39
3.6 Método de control de calidad de los datos	39
3.7 Modelo de análisis e interpretación de datos	41
3.8 Limitaciones de la investigación.....	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1 Identificación de tipos de cobertura y uso por año de estudio	43
4.1.1 Cobertura y uso de la tierra en el año 1987.....	43
4.1.2 Cobertura y uso de la tierra en el año 1996.....	44
4.1.3 Cobertura y uso de la tierra en el año 2006.....	45
4.1.4 Cobertura y uso de la tierra en el año 2016.....	47
4.2 Determinación de la estructura del paisaje por año de estudio	48
4.2.1 Estructura del paisaje en el año 1987	48
4.2.2 Estructura del paisaje en el año 1996.....	51
4.2.3 Estructura del paisaje en el año 2006.....	53
4.2.4 Estructura del paisaje en el año 2016.....	56
4.3 Evolución del paisaje en el periodo de estudio	59
4.3.1 Índices de composición	59
4.3.1 Índices de configuración	67
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
5.1 Conclusiones	72
5.2 Recomendaciones.....	74
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
7. ANEXO.....	80

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de las variables de medición.	24
Cuadro 2. Escala temporal e imágenes de satélite	26
Cuadro 3. Fechas de imágenes seleccionadas para cada escena.	28
Cuadro 4. Método de identificación de coberturas y usos de la tierra	34
Cuadro 5. Métricas utilizadas en la investigación.....	35
Cuadro 6. Métricas utilizadas en la investigación.....	37
Cuadro 7. Interpretación de métricas utilizadas en la investigación.....	38
Cuadro 8. Registro fotográfico de puntos de verificación en campo	40
Cuadro 9. Superficie de clases de la ecorregión del Pantanal del año 1987.	43
Cuadro 10. Superficie de clases de la ecorregión del Pantanal del año 1996.	45
Cuadro 11. Superficie de clases de la ecorregión del Pantanal del año 2006.	46
Cuadro 12. Superficie de clases de la ecorregión del Pantanal del año 2016.	47
Cuadro 13. Métricas de composición del año 1987.	49
Cuadro 14. Métricas de configuración del año 1987.	50
Cuadro 15. Métricas de composición del año 1996.	51
Cuadro 16. Métricas de configuración del año 1996.	52
Cuadro 17. Métricas de composición del año 2006.	54
Cuadro 18. Métricas de configuración del año 2006.	55
Cuadro 19. Métricas de composición del año 2016.	56
Cuadro 20. Métricas de configuración del año 2016.	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Elementos del paisaje	5
Figura 2. Fragmentación del paisaje	8
Figura 3. Funciones de los corredores.....	10
Figura 4. Mapa de ecorregiones del Paraguay	16
Figura 5. Mapa de ubicación.....	19
Figura 6. Mapa de escenas	26
Figura 7. Esquema de recolección de datos.	27
Figura 8. Mosaico de la ecorregión Pantanal correspondiente al año 1987.....	29
Figura 9. Mosaico de la ecorregión Pantanal correspondiente al año 1996.....	30
Figura 10. Mosaico de la ecorregión Pantanal correspondiente al año 2006.....	30
Figura 11. Mosaico de la ecorregión Pantanal correspondiente al año 2016.....	31
Figura 12. Mapa de puntos de verificación en campo y gabinete	39
Figura 13. Modelo de interpretación de resultados	41
Figura 14. Comparación de imágenes del año 1986 y del año 1987	42
Figura 15. Mapa de cobertura y uso de la tierra correspondiente al año 1987	44
Figura 16. Mapa de cobertura y uso de la tierra correspondiente al año 1996	45
Figura 17. Mapa de cobertura y uso de la tierra correspondiente al año 2006	46
Figura 18. Mapa de cobertura y uso de la tierra correspondiente al año 2016	48
Figura 19. Evolución de la superficie de clase en el periodo de estudio	59
Figura 20. Evolución de la clase Bosque en el periodo de estudio	60
Figura 21. Evolución de la clase Tierra cultivada en el periodo de estudio.....	61
Figura 22. Expansión de la Tierra cultivada sobre otras clases	63
Figura 23. Evolución de los números de parche y de la densidad de parches	64
Figura 24. Evolución del área media y de la desviación estándar	65
Figura 25. Evolución del LPI del Bosque	66
Figura 26. Evolución del índice de forma medio en el periodo de estudio.....	67
Figura 27. Evolución del índice de proximidad media en el periodo de estudio.....	68
Figura 28. Evolución del tamaño efectivo de la malla en el periodo de estudio.....	70

LISTA DE ANEXOS

1 A. Planilla de resultados de métricas	80
2 A. Planilla de variación porcentual de métricas entre los periodos de estudio	81
3 A. Planilla de la verificación en campo	82

1. INTRODUCCIÓN

La ecorregión del Pantanal del Paraguay abarca 42.023,1 km², se caracteriza por una alta biodiversidad, y está conformado por ecosistemas vulnerables a los cambios antrópicos. Esta ecorregión está presente en mayor proporción en Brasil y Bolivia, abarcando a nivel regional unos 141.000 km², representando uno de los complejos de humedales de mayor superficie del mundo con abundantes poblaciones de animales y congregaciones estacionales de aves vadeadoras y caimanes.

Espacialmente la ecorregión fue delimitada por la Secretaría del Ambiente, mediante la Resolución 614 del año 2013, teniendo como sustento técnico los estudios realizados por Mereles et al (2013). La misma está presente en la región Occidental del país, que desde los últimos años viene enfrentando un proceso de profunda fragmentación. La causa más importante de este proceso es el creciente cambio de uso de la tierra, impulsado por el factor socioeconómico, que al existir una creciente demanda de productos agropecuarios a nivel mundial, genera la expansión de la frontera agropecuaria sobre los hábitats naturales en el área.

La disposición espacial en que ocurre el proceso de fragmentación puede traer consigo diferentes tipos de presiones a la biodiversidad local. Por tanto, los efectos de este proceso deben ser evaluados desde una perspectiva de paisaje para su correcta valoración. Los principios de la Ecología del Paisaje brindan un marco óptimo para esta evaluación. Concretamente, esta ciencia permite estudiar la estructura, el funcionamiento y la dinámica de los componentes del paisaje y, especialmente, las interacciones que ocurren entre los diferentes usos del suelo y las coberturas naturales.

Desde la perspectiva del paisaje, se puede estudiar mejor la configuración espacial del proceso de fragmentación. Además, con un análisis multitemporal, representa una forma de construir la historia del paisaje.

Por ello es importante conocer y analizar la disposición espacial en que se da el proceso de fragmentación en la ecorregión del Pantanal desde un análisis del paisaje. Con esto se determinarían medidas más adecuadas para lograr que las presiones ejercidas a la biodiversidad sean las menores posibles y así fomentar la conservación a largo plazo siempre teniendo en cuenta la estructura del paisaje.

Cabe destacar que la investigación se desarrolló de manera simultánea y paralela en las demás ecorregiones de la región Occidental, utilizando la misma metodología, con el fin de ampliar el alcance del análisis a toda la región, siendo estas las primeras investigaciones a nivel país que integran un análisis espacial y a esta escala. Las mismas se enmarcan en la línea de investigación en Manejo de Recursos Naturales y propician el inicio de la sub línea de investigación en Ecología del paisaje de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción.

La presente investigación se llevó a cabo en la ecorregión del Pantanal, Región Occidental, y tuvo como objetivo general analizar la evolución de la estructura espacial del paisaje en la ecorregión del Pantanal, región Occidental, Paraguay, en el periodo 1987 a 2016. Los objetivos específicos se centraron en identificar en la escala temporal de la investigación los tipos de cobertura y uso de la tierra del área de estudio, determinar la estructura espacial del área de estudio y comparar la estructura espacial del paisaje en la escala de la investigación.

Con esta investigación se trata de responder, por un lado, ¿cómo han sido cuantitativamente los cambios de composición y configuración espacial en la ecorregión Pantanal, en la Región Occidental del Paraguay, a través del tiempo?, y por el otro ¿qué efectos han ejercido estos cambios en la estructura del paisaje?

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Ecología de paisaje

Según Forman y Godron (1986) la ecología del paisaje consiste en el estudio de la estructura, función y cambio del paisaje, área de terreno heterogéneo que contiene ecosistemas que interactúan entre sí. Además, se refiere a las conexiones e interacciones entre los ecosistemas naturales y los efectos de las perturbaciones naturales y humanas en el área. Para Risser et al. (1984) la ecología del paisaje se centra en el patrón espacial, específicamente tiene en cuenta el desarrollo y la dinámica de la heterogeneidad espacial, interacciones espaciales y temporales entre paisajes heterogéneos, la influencia de la heterogeneidad del paisaje en los procesos bióticos y abióticos y cómo gestionar la heterogeneidad del paisaje.

La filosofía de la ecología de paisaje tiene énfasis en la interacción entre la estructura y función de los sistemas socio-naturales cambiantes. Este tipo de análisis no es nuevo en la ciencia, tanto la física, química como la biología se apoyaron en la relación entre la estructura y la función para comprender los mecanismos naturales. A partir de este conocimiento es posible predecir comportamientos a partir de la estructura y de los patrones de ordenamiento espacial a través de la función. No hay procesos que ocurran fuera de una estructura, por ello la ecología reconoció que los procesos ecológicos son espacialmente explícitos. La heterogeneidad espacial influye en los tipos y ritmos de los procesos biológicos y físicos del medio ambiente y a su vez estos modifican el patrón espacial del medio en que ocurren (Matteucci 2006).

El patrón espacial o heterogeneidad espacial es el concepto fundamental de la ecología del paisaje, mediante el cual se considera el patrón y el proceso a diferentes escalas. Tanto el patrón como la escala son importantes en la medida que exista la heterogeneidad. El patrón y el proceso están relacionados dependiendo de la escala. En consecuencia, todos los conceptos de heterogeneidad, patrón, proceso y escala están intrínsecamente interrelacionados y son fundamentales para la teoría y práctica de la ecología del paisaje (Wu 2012).

Se puede definir a la ecología del paisaje como una visión holística que integra la extremada y dinámica complejidad de una realidad. Incorporando, por medio de la interpretación de la heterogeneidad horizontal, un enfoque propio de la geografía que se enfoca en la distribución de los paisajes a lo largo del territorio. Además, por medio del análisis de la heterogeneidad vertical, una perspectiva de la ecología, enfocándose en la interrelación entre los distintos elementos bióticos y abióticos en una porción determinada del paisaje (Vila Subiros et al. 2006).

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, según Gurrutxaga y Lozano (2008), la ecología del paisaje trata de estudiar más concretamente la forma en que las actividades humanas modifican los elementos, las características y las interacciones espacio-funcionales que componen el paisaje, además la forma en que las especies silvestres y los ciclos geoquímicos se comportan ante la calidad y disposición de estos elementos. El conjunto de relaciones que se establecen entre la estructura y la composición del paisaje y los procesos ecológicos que regulan la dinámica de poblaciones y la composición de las comunidades biológicas son el objeto de estudio de la ecología de paisaje

2.2 Importancia del paisaje

Para la ecología del paisaje, el paisaje es la manifestación en el espacio de la interacción entre el medio y las actividades humanas, formando un mosaico heterogéneo de partes con diferentes características. Constituye una superficie heterogénea compuesta por un conjunto de ecosistemas que interactúan que se repite en forma similar a lo largo. Por ello constituye un nivel de organización de los sistemas ecológicos superior al ecosistema y por debajo de las ecorregiones. Este último nivel

constituye un territorio en el que se da una combinación de paisajes característicos (Bertrand 1975; Forman y Godron 1986, Burel y Baudry 2002).

El paisaje constituye un ecosistema de naturaleza heterogénea, acotado espacialmente a nivel de mesoescala con una estructura inherente. Esta estructura está conformada por parches homogéneos en sus características tanto abióticas como biológicas. Es una configuración topográfica con un patrón de cobertura y de uso de la tierra, que delimita procesos naturales y actividades humanas de manera coherente. El paisaje es heterogéneo compuesto por un conjunto de ecosistemas, los mismos interactúan y se repiten en forma similar en el área (Duran et al. 2002, Forman y Godron 1986).

2.2.1 Estructura de paisaje

La estructura del paisaje para la ecología del paisaje adopta el modelo de mosaico que está formado por tres grandes tipos de elementos básicos que son parche, conector y matriz (Figura 1). La matriz es el elemento espacial dominante y englobante en el que se disponen los otros elementos. Los parches constituyen los elementos espaciales no lineales dispuestos en la matriz, bien diferenciados de la misma y con características propias. Los corredores se constituyen en los elementos lineales, que pueden aparecer de forma aislada o conectando otros elementos del paisaje entre sí (Gurrutxaga y Lozano 2008).

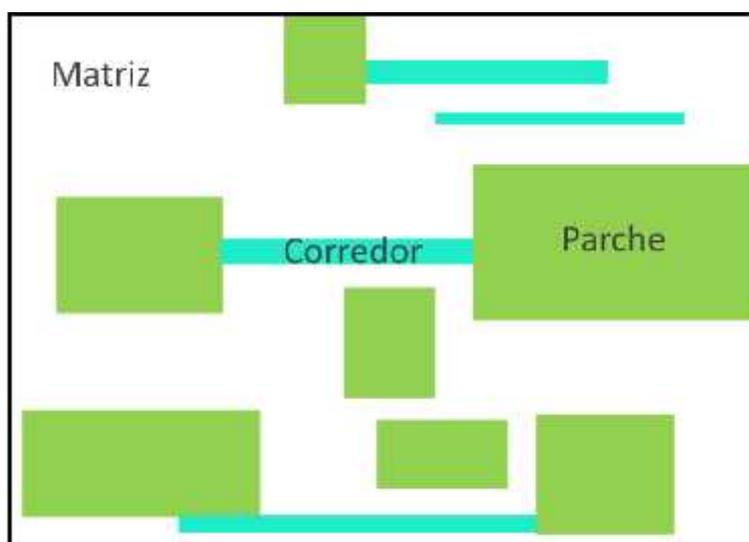


Figura 1. Elementos del paisaje (Fuente: elaboración propia 2017)

Para una correcta interpretación, desde el punto de vista funcional, se debe determinar el elemento dominante, esto implica que el mismo ocupa la mayor superficie y se encuentra mejor conectado. Así este elemento desempeña un papel fundamental en la dinámica del paisaje. Al diferenciar los elementos morfológicos fundamentales es posible valorar cuantitativamente la situación en un momento dado, así como también a lo largo del tiempo se puede evaluar los cambios y su incidencia paisajística, ecológica, etc. Es decir que la superficie, forma, número y disposición de los elementos del paisaje condicionan su realidad y dinamismo de manera clave, así como su predicción en el tiempo (Vila Subiros et al. 2006).

2.2.2 Escala de representación del paisaje

Teniendo en cuenta que los procesos ecológicos varían en sus efectos e importancia dependiendo de la escala, la interpretación entre el patrón espacial y estos procesos no se limitan a una escala en particular. La escala tiene dos componentes, uno es el ámbito espacial o extensión de estudio, y el otro el tamaño mínimo de los elementos del paisaje que se incluyen en el estudio. Esta escala debe adecuarse al objeto de estudio, que propicie detectar aquellas relaciones que se deseen analizar con el estudio (Risser et al. 1984, Vila Subiros et al. 2006).

Para la ecología del paisaje es fundamental utilizar la escala de paisaje, para poder estudiar los patrones paisajísticos, que en terreno abarca comúnmente desde algunas hectáreas hasta algunos cientos de kilómetros cuadrados. Esta escala es considerada eficiente para la toma de decisiones acerca de la planificación y gestión territorial. Cuando se analiza las relaciones de la estructura del paisaje y la dinámica de poblaciones de especies, se debe considerar la escala de percepción de paisaje en que la especie responde a la estructura. Es así que para una especie se puede considerar un medio relativamente homogéneo y para otra un medio bien heterogéneo (Vila Subiros et al. 2006).

2.2.3 Heterogeneidad del paisaje

La heterogeneidad es un concepto básico de la ecología del paisaje y se refiere a las diferencias y la diversidad dentro de un paisaje, así como las complejas relaciones entre los diferentes elementos del mismo. Ésta es inherente al mosaico espacial, hace

de sustrato estructural en donde la biodiversidad puede desarrollarse. La heterogeneidad es una distribución de objetos de forma irregular y no aleatoria, sigue un patrón. Por ello el análisis de este patrón es muy importante para comprender diferentes procesos ecológicos y el funcionamiento de sistemas complejos como los paisajes. La heterogeneidad espacial sustenta los principios y prácticas de la ecología del paisaje, y esta ciencia tiene como objetivo lograr la sostenibilidad del paisaje (Wu 2006, Forman 1995, Farina 2006).

Para la ecología del paisaje la heterogeneidad y la diversidad están relacionadas. La diversidad describe las diferentes cualidades diferentes en cada fragmento, y la heterogeneidad se refiere a la complejidad espacial del paisaje. Además, la heterogeneidad se refiere a la complejidad y variabilidad de un sistema tanto en tiempo como en el espacio, aquí las propiedades del sistema podrían ser los nutrientes del suelo, mosaico de parches, biomasa vegetal, distribución animal, etc. Los cambios en funciones y procesos se reflejan mediante una variación en la heterogeneidad espacial (Li y Reynolds 1994, Farina 2006).

En teoría a mayor heterogeneidad, mayor será la diversidad biológica al haber mayor diversidad de ecosistemas en un paisaje. Incluso en agrosistemas existe esta relación, cuanto más heterogéneo, existe mayor biodiversidad. Pero un nivel muy elevado de heterogeneidad puede significar un alto grado de fragmentación de hábitats, existiendo una gran cantidad de fragmentos pequeños incapaces de albergar poblaciones viables de ciertas especies. Entonces el grado de heterogeneidad genera un aumento en la diversidad hasta un punto en el cual esta empieza a disminuir (Gurrutxaga y Lozano 2008).

2.2.4 Proceso de fragmentación

La fragmentación del hábitat es un proceso mediante el cual un área continua de hábitat es dividida en dos o más fragmentos, reduciéndose su área. Estos fragmentos son aislados unos de otros por un paisaje altamente modificado o degradado. Se puede decir que los fragmentos están funcionando como islas de hábitat en un mar o matriz inhóspita dominada por el hombre. Este proceso también se da cuando el área del hábitat no es muy afectada como el caso de que el hábitat original es dividido por

caminos, carreteras, vías férreas, canales, líneas de energía, cercas, conductos u otras barreras al flujo de las especies. (Primack y Rodrigues 2002, Wilcove et al. 1986, Shafer 1990, Schonewald-Cox y Buechner 1992)

Principalmente los fragmentos tienen dos características diferentes a los hábitats originales, los cuales son: la cantidad de borde por área de hábitat es mayor en los fragmentos; los centros de los fragmentos están más cerca de los bordes. Se ejemplifica (Figura 2) teniendo un hábitat con una superficie de 100 ha, en el cual el borde es de 4.000 m. el centro del área se encuentra a 500 m. del borde. La luz, que incide lateralmente a través del borde, penetra 100 m. lo que hace que el área de vegetación característica del hábitat represente 64 ha (Primack y Rodrigues 2002).

Si este hábitat es dividido en cuatro cuadrantes iguales por caminos de 10 m. de ancho, ocupando un área de 2 ha, se tiene así cuatro áreas de 24,5 ha. Pero en este escenario el centro de los fragmentos se encuentra a 247 m. del borde, y por la incidencia de la luz a través de los bordes, cada fragmento tiene solo 8,7 ha. con vegetación típica del hábitat, esto da un total de 34,8 ha. Entonces una intervención humana que representa solamente el 2% del área del hábitat hace que se reduzca cerca de la mitad del hábitat disponible para las especies (Primack y Rodrigues 2002).

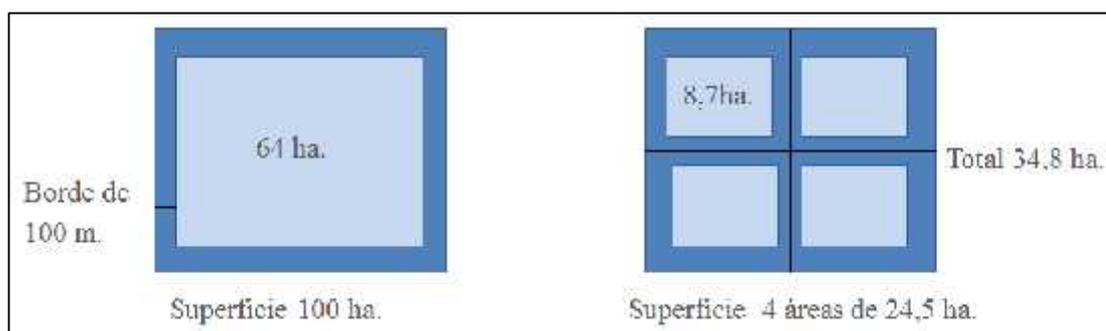


Figura 2. Fragmentación del paisaje (Fuente: elaboración propia 2017)

Además, la fragmentación tiene otros efectos sobre la biodiversidad. Este proceso puede limitar el potencial de una especie para su dispersión y colonización, muchas especies de pájaros, mamíferos e insectos del interior de hábitats no atraviesan distancias estrechas de ambiente abierto para evitar de depredación. Como resultado de esto las poblaciones no pueden recolonizar los fragmentos y la población original va desapareciendo (Primack y Rodrigues 2002).

Con la disminución del movimiento de animales, las plantas que utilizan ese medio para la dispersión de sus semillas se ven afectadas de igual manera. Este proceso también puede afectar la capacidad de alimentarse, porque existen especies que necesitan moverse libremente para tener acceso a los recursos que están disponibles zonalmente o están distribuidos en el ambiente. Además, tiene efectos en las poblaciones al dividir las, teniendo poblaciones pequeñas y vulnerables a la depresión endogámica, llevando a la extinción local de las mismas (Primack y Rodrigues 2002).

2.2.5 Conectividad del paisaje

Para mantener un ecosistema se requiere de diversos parches o hábitats de diferentes plantas, animales y microorganismos. Pero estos sólo son valiosos si están conectados entre sí de alguna forma. Es decir que un ecosistema no solo proporciona elementos a los ecosistemas vecinos, sino que se modela y regula mediante los elementos provenientes de los ecosistemas vecinos. Esta conectividad puede darse de manera espacial como funcional. La conectividad espacial se refiere a la contigüidad de los parches en el espacio, así cuanto más alejados se encuentren los fragmentos de hábitat, menor conectividad tendrá este hábitat. Por otro lado, la conectividad funcional se refiere a la capacidad que tiene el espacio para permitir el desplazamiento de las especies con recursos a través de los parches (Gurrutxaga y Lozano 2008).

Los corredores serían los que facilitan la conectividad, los mismos desempeñan un papel fundamental para la interconexión entre los distintos parches y lograr reducir el efecto distancia que determina un menor número de especies en parches aislados. Los corredores aparte de ayudar a la conectividad, tienen otras funciones (Figura 3) como ser hábitat que depende de la amplitud del mismo, función de filtro para algunas especies y para otras no, función de fuente al permitir la distribución de especies del corredor a la matriz y función de sumidero dando refugio a especies y otros tipos de elementos procedentes de la matriz. A pesar de los riesgos que implica la conectividad, éstos quedan ampliamente compensados por los beneficios que tiene la misma (Vila Subiros et al. 2006).

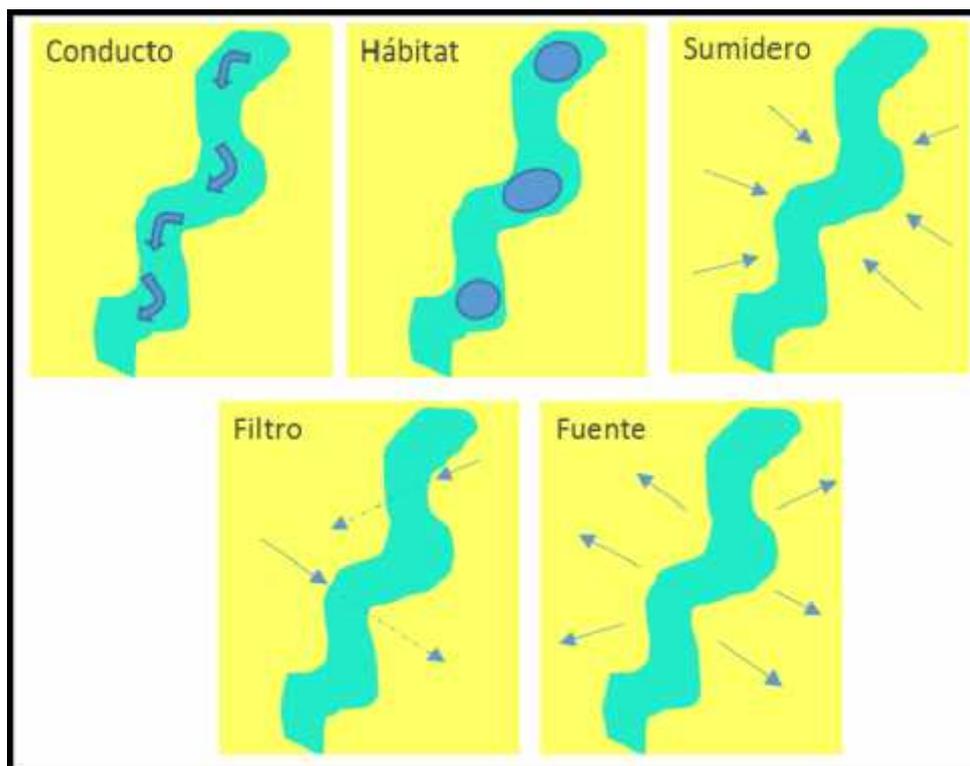


Figura 3. Funciones de los corredores (Fuente: elaboración propia 2017)

2.3 Métricas de Paisaje

Las métricas de paisaje o índices de paisaje son una manera de cuantificar con precisión los patrones espaciales del paisaje. Existen decenas de métricas, desarrollados especialmente para el estudio de la fragmentación de sistemas naturales y sus incidencias en los procesos naturales. Además, estos índices han sido utilizados a sistemas humanizados, convertidos parcialmente o totalmente a actividades productivas. Integrando los subsistemas natural y antrópico se tienen modelos de respuesta a variables naturales a las sociales y viceversa. Mediante las métricas se posibilita la obtención de variables ecológicas numéricas de estructura espacial (Metzger 2012, Matteucci y Silva 2005).

Las métricas brindan importantes datos numéricos sobre la composición y la configuración, la proporción de cada cobertura y usos de la tierra o la forma de los elementos del paisaje. Mediante estos índices se puede realizar una comparación útil e interesante de las distintas configuraciones del paisaje en un momento dado, así también la comparación de estos entre diferentes años, y además se podrían definir escenarios futuros (Gustafson 1998).

Mediante las métricas se puede obtener información importante como ser la proporción de un uso dentro del paisaje, la forma de un fragmento, o el tamaño medio de los fragmentos. Los datos brindados son un conjunto de valores numéricos, que por sí solos no tienen un valor determinante. Pero desde el punto de vista comparativo los datos obtenidos mediante los índices pueden aportar información valiosa acerca de la evolución y cambios dentro de un paisaje determinado, o comparando diferentes paisajes (Aguilera 2010).

2.3.1 Nivel de aplicación de métricas

Las métricas o índices del paisaje pueden ser aplicados a tres diferentes niveles dependiendo del objeto de estudio (Vila Subiros et al. 2006, Correa et al. 2014):

a) A nivel de fragmento: los índices se aplican de manera individual a cada fragmento. De manera a ejemplificar, a este nivel se puede determinar cuál es el fragmento de mayor tamaño en relación a todos los demás elementos.

b) A nivel de clase: los índices se aplican a cada conjunto de fragmentos de una misma clase, pueden ser interpretados como índices de fragmentación porque miden la configuración espacial de un tipo de cobertura en particular. De manera a ejemplificar, a este nivel se puede determinar la superficie que ocupa una cobertura o la extensión media de una cobertura.

c) A nivel de paisaje: los índices se aplican al conjunto del paisaje, esto implica a todos los fragmentos y clases a la vez. De manera a ejemplificar, a este nivel se determina el grado de heterogeneidad o de homogeneidad del conjunto del área bajo estudio.

2.3.2 Tipos de métrica de paisaje

Para cuantificar la estructura del paisaje o el patrón espacial existen diferentes índices o métricas, que son en general agrupados en dos tipos, los índices de composición y los de configuración (Metzger 2012):

- Índices de composición: estos dan una idea de que unidades están presentes en el paisaje, su riqueza y el área ocupadas por las mismas, que permite inferir sobre el

grado de dominancia. Los índices de riqueza y proporción de área ocupada pueden ser utilizados para la evaluación de la heterogeneidad del paisaje a partir de una función de Shannon-Wiener, así como de ecuanimidad y dominancia del paisaje.

- Índices de configuración: estos cuantifican el arreglo espacial de las unidades en términos de grado fragmentación y frecuencia de contacto entre las mismas, grado de aislamiento y conectividad de las unidades semejantes, y área, formato y complejidad de formas de los parches que componen el mosaico del paisaje.

Estas métricas pueden ser utilizadas en los tres niveles de fragmento, de clase y de paisaje.

2.4 Ecología de paisaje y SIG

La ecología del paisaje tiene como objeto de estudio la estructura, función y cambio del paisaje, se desarrolla el modelo de patrón espacial en mosaico para simplificar la interpretación, compuesta por los tres elementos del paisaje, parches, corredores y matriz. Para analizar este patrón y su relación con los procesos, es necesaria la cuantificación de la estructura. Esta disminuye la complejidad del paisaje a un conjunto de valores numéricos o índices, y se realiza mediante el conteo de píxeles o puntos, en ecología del paisaje la técnica más utilizada es la primera. Esta técnica consiste en superponer la imagen que se estudia con una grilla en cuadros, cada cuadro representa un pixel y su dimensión representa el nivel de resolución (Matteucci 1998, Forman y Godron 1986, Forman 1995, Turner y Gardner 1991).

La percepción remota es una herramienta importante para la ecología del paisaje, facilitando y ampliando la representación, la interpretación y el análisis de los datos espaciales. Combinando esta herramienta con la tecnología de sistema de información georeferenciado (SIG), permite aumentar las posibilidades de analizar paisajes y regiones de manera integral. Las imágenes de percepción remota procesadas en un SIG, permite de manera mensurable integrar y analizar la heterogeneidad espacial de manera digital (Moizo Marrubio 2004).

Una imagen digital se constituye de píxeles, que se obtienen convirtiendo a un intervalo expresado por un número finito (número digital) el intervalo continuo captado por un sensor remoto. Utilizando la tecnología SIG se puede variar el nivel de

resolución de la imagen, modificando el tamaño del pixel, con esto es posible analizar la heterogeneidad espacial a diferentes escalas. Además, esta tecnología permite calcular los índices de paisaje, tanto en forma directa mediante un módulo específico, como de forma indirecta mediante formatos de importación y exportación de datos, logrando el intercambio de informaciones con otros programas (McGarigal y Marks 1995).

2.5 El Chaco Americano

El Chaco Americano es una unidad ambiental ubicada en el centro de América del sur, ubicada entre las latitudes 18° Sur y 31° Sur de ambientes tropicales a claramente subtropicales, y entre los 57° Oeste y los 66° Oeste. Se caracteriza por extensiones de bosques con dominancia de quebracho alternados con palmares, algarrobales, simbolares, espartillares, y pastizales. Aproximadamente tiene una extensión de 1,14 millones de Km², distribuidos en el centro norte de Argentina, oeste de Paraguay, sureste de Bolivia, y una pequeña parte del sur de Brasil. (Pacheco 2011; Verzino 2006)

Esta región presenta gradientes climáticos bien marcados. Presenta un régimen de lluvias de marcada concentración estival y por ello se presentan inviernos secos. Con temperaturas medias anuales entre 18 y 26°C, y con evapotranspiración potencial entre los 900 mm en el sur y 1.600 mm en la frontera entre Paraguay y Bolivia. Se alberga una diversidad biológica excepcional, reflejada en la representatividad de la vegetación total de los países que la integran, representa el 40% del total presente en Paraguay y Bolivia. Sumado a ello, representa un centro de dispersión de especies de destacado valor genético y forestal, además de presentar una importante cantidad de formas endémicas (Arevalos et al. 2015).

Otra característica muy importante, además de su importancia biológica, es la diversidad y complejidad social y cultural que subyace a esta región. Posee un rico mosaico de culturas indígenas, constituido por alrededor de 26 etnias. Además, de un proceso migratorio de diferentes orígenes y datas, comunidades humanas de origen europeo o proveniente de otras latitudes del continente americano, tales como las comunidades de menonitas (Arevalos et al. 2015).

Esta región sufre una fuerte presión de cambio de uso del suelo, de coberturas boscosas naturales a ya sea implantación de pasturas exóticas para engorde de ganado, como a cultivos de varios rubros como la soja, caña dulce, y sorgo, entre otros. Las pérdidas de ecosistemas boscosos por transformación de áreas generan remanentes con degradación o en proceso de degradación. En el año 2014 sufrió un cambio de uso de la tierra de 466.527 hectáreas, que equivalen a una tasa de deforestación de 1.278 ha por día, existiendo una tendencia a las elevadas tasas de cambio. Del total de cambio de cobertura vegetal en el Gran Chaco, Paraguay tuvo la mayor superficie de cambio con 287.435 ha, seguido por Argentina con 137.486 ha y Bolivia con 41.605 ha (Arevalos et al. 2015).

2.6 El Chaco Paraguayo

El Chaco paraguayo se desarrolla en la Región Occidental del Paraguay, y abarca 24.692.500 de hectáreas. Está ubicado geográficamente entre los paralelos 19° - 24° y los meridianos 57° - 63° respectivamente. Políticamente está dividido en tres departamentos, Presidente Hayes, Boquerón y Alto Paraguay. Presenta la región de mayor superficie y la menor poblada en el país. La actividad económica predominante es la ganadería seguido por la agricultura (caña de azúcar, maíz, algodón) (Rediex 2009, DGEEC 2002).

El clima de la región varía entre los extremos calores del verano y el templado invierno, la característica de clima continental es observable ya que se produce una amplitud térmica media anual muy importante, alrededor de 10 °C de diferencia se observa entre la temperatura media diaria de enero y la temperatura media diaria de julio y puntualmente se miden temperaturas máximas extremas de hasta 45 °C durante la primavera y el verano, y temperaturas mínimas extremas de hasta -7 °C durante los meses del invierno, especialmente julio. Esta amplitud de temperaturas extremas supera los 50 °C y puede darse en cualquier año en general (Grassi et al. 2005).

En el Chaco existen diferentes actores socioeconómicos (menonitas, ganaderos paraguayos y brasileños, grupo Moon) que invierten, modifican, proyectan e implementan diversas acciones con objetivos, medios y tecnologías diferentes, los cuales producen una nueva configuración espacial que tienen implicancias

territoriales. Durante la mayor parte de la historia de la ocupación del espacio paraguayo, centrada sobre la Región Oriental y principalmente de la capital Asunción, el Estado ha concedido a los actores privados un amplio margen de maniobra. Las transformaciones territoriales en la región reestructuran y dinamizan el espacio chaqueño como resultado de las aceleraciones propias de la mundialización, la cual produce experiencias de integración inéditas dando un nuevo perfil a las regiones marginadas (Vázquez 2007).

2.7 Ecorregiones del Paraguay

Mediante la biogeografía se define la distribución geográfica de los elementos que componen la biodiversidad, además de relacionar los mismos con la causa que explican estas distribuciones. Para establecer las bioregiones la cuestión de la escala geográfica es un factor crítico, pero se puede hacer comparaciones entre las mismas atendiendo la escala y los niveles de organización de biodiversidad propuestos. A nivel nacional se han definido unidades bioregionales a una escala semi-detallada como es el caso de los 101 ecosistemas en que se divide el territorio (Orians y Groom 2006, Rodas 2006)

En el 2013, Mereles et. al, realizaron el análisis cualitativo para la definición de las ecorregiones del Paraguay en la Región Occidental. Los resultados arrojaron un total de cinco ecorregiones definidas para la Región Occidental geográfica, que son: de los Médanos, del Cerrado, del Pantanal, del Chaco Húmedo y del Chaco Seco. Se basaron en el trabajo de “The Nature Conservancy”, sobre la Evaluación Ecorregional para el Gran Chaco Sudamericano (TNC 2005) que tuvo como resultado mapas de Áreas Significativas para la Biodiversidad, integrados en un Sistema de Información Geográfica (SIG), asociada a una base de datos con toda la información recopilada por los equipos técnicos en los talleres, expresado en forma de complejos ecológicos y sistemas ecológicos de importancia tanto terrestres como de agua dulce y llegando a definirse un portafolio de conservación para el Gran Chaco Americano. Sobre esta sólida base de análisis geoespacial se definieron las ecorregiones propuestas para el Chaco Occidental y otras para el restante espacio territorial del Chaco Geográfico y se elaboró una definición en base a las características ecorregionales para cada grupo de análisis.

Teniendo como base este estudio técnico, la Secretaría del Ambiente del Paraguay, delimitó las ecorregiones de la región Occidental del país, mediante la Resolución 614 del año 2013. La misma generó el mapa de ecorregiones del Paraguay, que se presenta en la Figura 4.

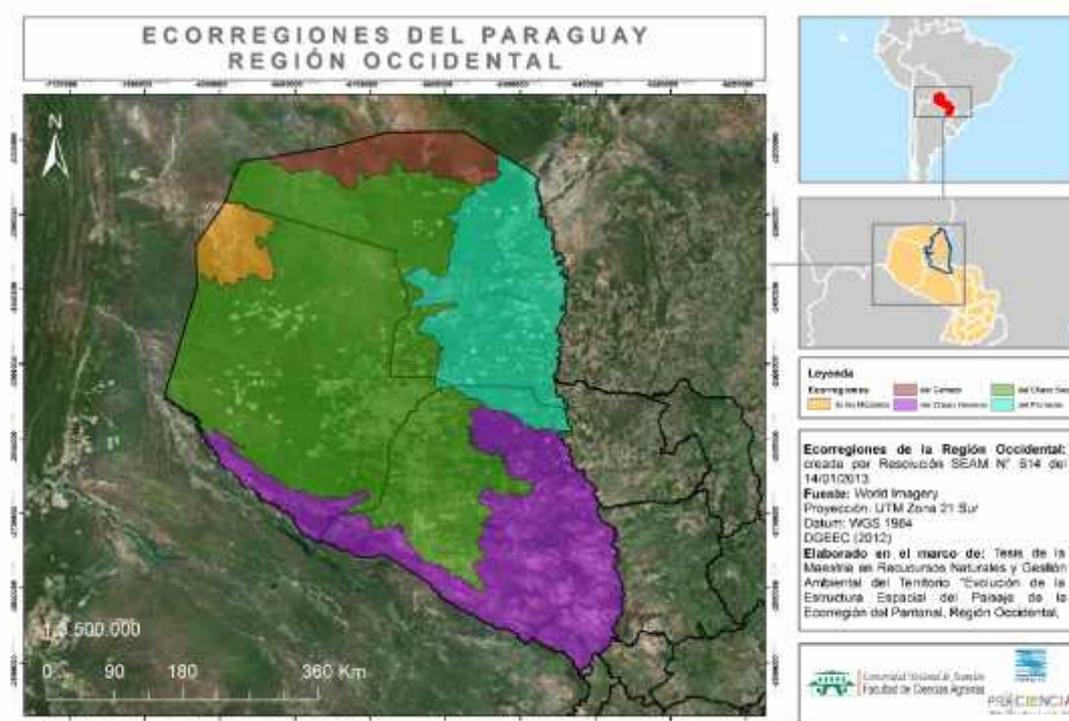


Figura 4. Mapa de ecorregiones del Paraguay (Fuente: elaboración propia 2017, en base a la Resolución SEAM N°614/13)

2.8 Antecedentes de investigaciones en el tema y la región

En la región Occidental del Paraguay en el año 2016, Ibáñez realizó la investigación denominada “Determinación de la contribución de las franjas de bosque a la conectividad física del paisaje en una matriz agropecuaria, Presidente Hayes, Paraguay”. Este estudio buscó determinar la contribución de las franjas de bosque a la conectividad física del paisaje en una matriz agropecuaria de Presidente Hayes en el Paraguay. Logró demostrar que las franjas de bosque además de conectar el paisaje ofrecen servicios ecosistémicos relevantes en la matriz agropecuaria.

En la región Oriental del Paraguay, Daponte y otros, en el 2017, realizaron la investigación denominada “Pérdida de la cubierta del Bosque Atlántico de Paraguay, detección de cambio basado en satélites, y análisis de fragmentación entre 2003 y

2013”. La misma tuvo tres objetivos los cuales fueron: analizar el cambio de la cubierta forestal y los patrones espaciales de la deforestación dentro de la región de Bosque Atlántico en Paraguay; evaluar la efectividad de las áreas protegidas; y evaluar la conectividad de los parches de bosque para la conservación de la biodiversidad. Realizaron un análisis de métricas de paisaje para determinar el nivel de fragmentación del bosque con el software Fragstats, en el periodo 2003 al 2013, utilizando los datos generados en el marco del Proyecto Conjunto ONU-REDD+. Esta investigación además, realizó un análisis de biogeografía de islas a las áreas protegidas que conservan remanentes de bosque.

En el Año 2016, en la Ciudad de Asunción, Paraguay, Acosta realizó la investigación denominada “Análisis de la conectividad ecológica a nivel estructural de la ciudad de Asunción, Paraguay”. La misma tuvo el objetivo de analizar la conectividad ecológica a nivel estructural entre las áreas verdes remanentes y el potencial que tienen las mismas para mantener o recuperar la conectividad ecológica, en la ciudad de Asunción. Para el logro de este objetivo se utilizó el software Fragstats, calculando ocho métricas del paisaje, para once áreas verdes con una superficie igual o mayor a 10 ha., las que fueron denominadas áreas núcleo.

En la región se realizaron varios estudios como ser la “Expansión agropecuaria en el Chaco Argentino: Amenazas para la conservación de la biodiversidad”, realizada por Torella et al. (2007). El estudio determinó que, entre 1992 y 2002, las áreas transformadas en la zona de estudio tuvieron un aumento del 60 %, lo que constituye una pérdida de 1.802.395 ha de bosques nativos, mediante el uso de imágenes de satélite. Al desarrollarse esta expansión sin una efectiva regulación por parte del estado, se compromete tanto la conservación de la biodiversidad como la sustentabilidad de los emprendimientos productivos.

En el 2007 Ginzburg et al., realizaron el estudio de la “Reducción y fragmentación del bosque de tres quebrachos en el sudoeste de la provincia del Chaco”. El mismo analizó la estructura del paisaje en 71.975 ha de la provincia del Chaco, donde se resaltan dos aspectos: (a) la reducción en superficie (de 26.000 ha a 15.000 ha en 45 años). (b) la fragmentación de los bosques (de 165 a 303 parches).

Morello et al. (2007), realizaron el estudio denominado “Un siglo de cambios en el diseño del paisaje: El Chaco argentino. En la citada investigación se describe el historial de explotación de recursos naturales para la zona de estudio mediante la descripción de las distintas modalidades de uso para los recursos, y el posterior análisis de elementos críticos inadecuadamente manejados.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización de la investigación

La presente investigación se realizó en la Región Occidental del Paraguay, específicamente en la ecorregión del Pantanal (Figura 5). La misma tiene una superficie de 42.023,1 km², en la figura 4 se presenta el mapa de ubicación del área de estudio. Se ubica entre los departamentos de Alto Paraguay y Presidente Hayes y los distritos de Bahía Negra, Fuerte Olimpo, La Victoria, Carmelo Peralta y Puerto Pinazco

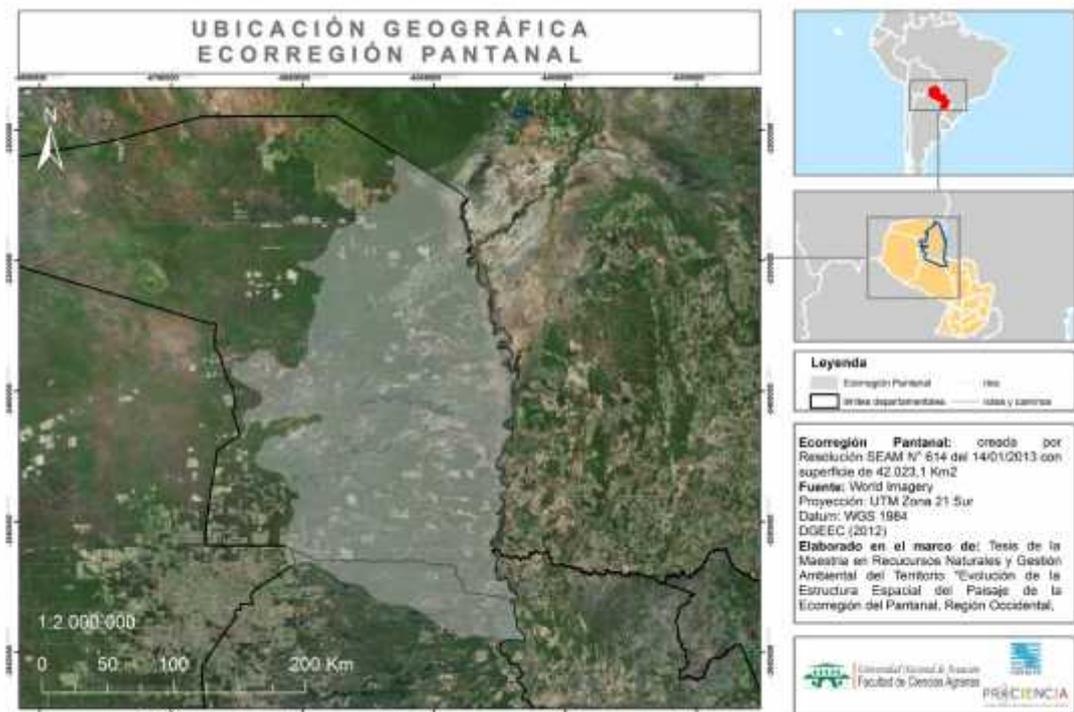


Figura 5. Mapa de ubicación (Fuente: elaboración propia, 2017)

Ecorregión del Pantanal

Esta sección fue formada en base a consideraciones de Mereles et. al (2013). La ecorregión posee suelos transicionales entre los más compactados, duros y estructurados del Chaco central, oeste y sureste y los fluvisoles de la costa del río Paraguay y arenosoles provenientes del norte y oeste de la planicie chaqueña. Así mismo las especies vegetales que conforman las formaciones vegetales, siguen esta transición, con especies del Chaco seco, de los quebrachales del este y la mesopotamia Paraguay-Pilcomayo e incluso de la región Oriental.

Clima: El área posee un régimen de lluvias medias anuales de entre aproximadamente 1300 mm y 1400 mm, partiendo de la costa del río Paraguay, decreciendo conforme avanza al oeste llegando a unos 800 mm por año. Con una temperatura media anual alrededor de 26 °C, siendo la más elevada del país.

Hidrología: Las subidas y bajadas del río Paraguay son una de las características fundamentales de esta ecorregión, generando un gran impacto en las partes más bajas y los barrancos no muy pronunciados. Esto también tiene un gran efecto sobre la biodiversidad del área de influencia.

Formaciones Vegetales: Se subdivide a la ecorregión en tres zonas:

- a) **Zona del Pantanal**, que se desarrolla en donde se encuentran el río Negro y su desembocadura en el río Paraguay, en la que se destacan las siguientes formaciones vegetales:
 - La vegetación acuática de ambientes mixtos: Presentes en las áreas más deprimidas, ligadas a la presencia de los palmares de *Copernicia alba*, permanecen inundados por un tiempo bastante largo debido a las características hidrológicas del río Paraguay aguas arriba, lo que producen “ambientes mixtos” muy peculiares debido a las fluctuaciones del pulso del agua.
 - Los Cerrados: Esta formación proviene desde el Noroeste en donde aparecen: *Sterculia striata*, *Magonia pubescens*, *Zanthoxylum pterota*, *Heteranthera aurea*, *Gibourtia chodatiana*, *Taccarum weddellianum*, *Sida tuberculata*, entre otras.
 - Los “embalsados”: Con permanencia más prolongada del agua en esta porción del río Paraguay, con diversos estadios de vegetación acuática, pudiendo estar

compuesto por un conjunto monotípico de representantes como: *Eichhornia crassipes*, *E. azurea*, *Pacourina edulis*, *Paspalum repens* o ya más evolucionados, con un sustrato importante bajo las aguas que puedan contener a *Copernicia alba*, entre otras.

- Los bosques de ribera: Aparecen con mucha variabilidad, dependiendo de los tipos de suelos, costa directa sobre el río o barrancos más altos, sobre suelos del tipo fluvisoles, los que varían, desde la costa; las especies que aparecen, tienen relación directa con el sustrato. Aparecen en general *Triplaris guaranítica*, *Vochysia tucanorum*, *Pouteria glomerata*, *Mimosa pellita*, *Albizia inundata*, *Vitex megapotamica*, entre otras.

b) **Zona Lagunar**, área de las lagunas interiores, en general saladas, con un tenor variable de sal, dependiendo de las lluvias, abarcando a unos 150 km desde la costa del río Paraguay; los suelos circundantes a las lagunas constituyen los solonetz/ solonchaks, dependiendo del contenido de arcillas y sal. Se incluye en esta zona a las lagunas: Inmákata, General Díaz, Morocha, Riart, Placenta, entre otras y con la vegetación típica de áreas saladas y salobres, tales como: *Cyclolepis genistoides*, *Maytenus vitis-idaea*, *Heterostachys ritteriana*, *Sarcocornia perennis*, *Tillandsia merelei*, *Portulaca cryptopetala*, *Talinum sp.*, *Trihrinax schyzophylla*, entre otras.

c) **Zona de bosques y sabanas hidromórficas**, acompañan al río Paraguay a lo largo de su extensión más al Sur, alternando con depresiones del terreno en donde se desarrollan los humedales temporarios o permanentes de aguas lénticas. La especie dominante es *Coperninia alba*, acompañada de un rico estrato herbáceo. Se desarrollan sobre suelos muy estructurados, arcillosos, muy duros en seco e impermeables, del tipo planosoles. en la que se destacan las siguientes formaciones vegetales:

- Bosques transicionales del litoral del Chaco: Se desarrollan sobre los suelos en transición, medianamente estructurados por el contenido de arcillas no tan elevado, del tipo cambisoles. Son formaciones semi caducifolias con la presencia de especies que se encuentran sobre albardones de suelo arenoso. Aparecen: *Vochysia tucanorum*, *Handroanthus heptaphyllus*, *H. impetiginosus*, *Diatenopterix sorbifolia*, *Caesalpinia paraguariensis*, *Schinopsis balansae*, *Pseudobombax tomentosum*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Astronium urundeuva*, entre otras.

- La vegetación de las depresiones (esteros): Las depresiones con suelo arcilloso en general están con aguas permanentes o temporarias; dependiendo de la profundidad, superficie y movimiento del agua, se instalan tipos diferentes de vegetación con *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes*, *E. azurea*, *Hymenachne amplexicaulis*, *Alternanthera philoxeroides* o *Pontederia rotundifolia*, en algunos casos o rizomatozas como *Eleocharis elegans*, *Thalia geniculata*, *Th. multiflora*, *Schoenoplectus californicus*, acompañada de otras propias de dichos ambientes, como: *Ricciocarpus natans*, *Salvinia sp.*, *Azolla filiculoides*, *Victoria cruziana*, *Pistia stratiotes*, *Nymphaea amazonum*, *N. alba*, *Rhynchospora corymbosa*, *Luzula peruviana*, *Pacourina edulis*, *Polygonum punctatum*, *P. hidropiperoides*, entre otras.
- La vegetación de los cerros: Las elevaciones en la zona de Fuerte Olimpo, le dan un matiz muy especial al área, desde el punto de vista paisajístico. Desde el punto de vista ecológico, presenta una vegetación bastante llamativa en donde existe un conglomerado de leñosas tanto de la región Oriental como Occidental; en el primer caso, una dominancia neta de *Cordia trichotoma*, *C. glabrata* y probablemente otras especies del mismo género y en el segundo caso con la dominancia de cactáceas arborescentes como *Stetsonia coryne*, entre otras.

Fauna: Presencia de especies con distribuciones más norteñas, especies que, si bien son o fueron comunes, hoy día encuentran su hábitat y sus mejores poblaciones en esta ecorregión como el ciervo de los pantanos (*Blastocerus dichotomus*) y la nutria gigante o arira'i (*Pteronura brasiliensis*). En reptiles se da con la iguana (*Iguana iguana*) y el viborón o teju jakare (*Dracaena paraguayensis*) especies muy asociadas a esta ecorregión. Varias especies de aves tienen distribuciones restringidas a la zona del Pantanal, como: añapera faja blanca (*Nyctiprogne leucopyga*), albañil (*Furnarius leucopus*), pijuí grillo (*Synallaxis hypospodia*) curutié de río (*Cranioleuca vulpina*), y sangre de toro (*Ramphocelus carbo*), mientras otras están más ampliamente distribuidas en la ecorregión, como la garza real (*Pilherodius pileatus*), pijuí espinoso (*Synallaxis albilora*) y cacholote colorado (*Pseudoseisura unirufa*). Otras especies que si bien son típicas de la ecorregión del Pantanal también son compartidas con el Cerrado, como el mainumby jetapa (*Campylopterus macrourus*), batará del pantanal (*Cercomacra melanaria*), batará espalda blanca (*Pyryglena leuconota*), mosqueta

frente rojiza (*Poecilotriccus latirostris*) y ratona pecho ocre (*Cantorchilus guarayanus*).

Se presentan especies de amplia distribución, como el jagareté (*Panthera onca*) pero en esta región se presentan en su forma de mayor tamaño (superando incluso los 120 kg). Algunos autores asignan esta forma a la subespecie *P. onca palustris*, sin embargo, se encuentra en discusión. Otro rasgo destacable es que representa: a) sitio de paso de especies migratorias neárticas, como el charlatán (*Dolichonyx oryzivorus*) y el *Tryngites subruficollis*; b) grandes concentraciones de aves acuáticas, en especial mbigua, cigüeñas y garzas; y c) notable abundancia y poblaciones de jakare hu (*Caiman yacare*).

En relación a los peces presenta una importante diversidad de peces, debido a la riqueza de sus ambientes acuáticos. En cuanto a las especies presentes en el área, estudios de abundancia y diversidad de peces en la cuenca alta y baja del río muestran que existen al menos 136 especies en el río Paraguay. Estos sitios presentan una elevada abundancia de grupos como Characiformes, Siluriformes y Perciformes. Se mencionan aquellas especies más abundantes como las pirañas del género (*Serrasalmus spp.*), incluyendo especies de valor comercial (*Piaractus mesopotamicus*), especies de la familia Anostomidae, y algunas especies migratorias del género *Salminus*, *Brycon* y *Prochilodus*. Otras especies presentes son *Lepidosiren paradoxa* y *Symbranchus marmoratus*. En la zona también se pueden encontrar especies de peces anuales del género *Rivulus*.

3.2 Variables de medición

Las variables de medición de la investigación se presentan en el Cuadro 1. Las mismas fueron seleccionadas para responder a los objetivos específicos de la investigación, que para el cumplimiento del primero fueron utilizadas las variables clase (C) y superficie de clase (CA).

Cuadro 1. Descripción de las variables de medición.

Objetivo	Código	Nombre	Definición	
Identificar los tipos de cobertura y uso de la tierra en el área de estudio	C	Clase	Tipo de cobertura y uso de la tierra	
	CA	Superficie de clase	Área correspondiente al conjunto de parches que constituyen una clase determinada.	
Determinar la estructura espacial del área de estudio	Composición	NP	Número de parches	Número de parches para todo el paisaje y para cada tipo de clase
		PD	Densidad de parche	Cantidad de parche por unidad de superficie
		AREA_MN	Tamaño medio de parches	Relación entre el área ocupada por una clase y el número de parches correspondientes a la misma clase
		AREA_SD	Desviación estándar del tamaño de parches	Medida de la variabilidad con respecto a la media de las superficies de los parches
		LPI	Índice del parche más grande	Porcentaje del área de la clase ocupado por el parche de mayor tamaño.
		TE	Borde total	Longitud total de todos los bordes de una clase
	Configuración	ED	Densidad de borde	Cantidad de borde en relación a la superficie del paisaje
		SHAPE_MN	Índice de forma medio	Mide la complejidad geométrica de los parches.
		PROX_MN	Índice de proximidad medio	Mide la distancia más cercana entre los parches de la misma clase dentro del paisaje.
		SPLIT	Índice de división	Número de parches que se obtienen al dividir el paisaje total en parches de igual tamaño, de tal manera que esta nueva configuración conduce al mismo grado de división del paisaje que se obtiene para la distribución de áreas acumulativa observa.
		MESH	Tamaño efectivo de la malla	Tamaño de los parches cuando el paisaje se divide en áreas S (cada uno del mismo tamaño) con el mismo grado de división del paisaje que se obtiene para la distribución del área acumulativa observada

Fuente: Elaboración propia (2017) en base a Aguilera (2010), Correa et al (2014), McGarigal y Marks (1995), Ortega (2007), Vergara (2013) y Vila Subiros et al (2006).

Para el segundo objetivo específico las variables son número de parches (NP), densidad de parche (PD), tamaño medio de parches (AREA_MN), desviación estándar del tamaño de parches (AREA_SD), borde total (TE), densidad de borde (ED), índice del parche más grande (LPI), índice de forma medio (SHAPE), índice de proximidad medio (PROX_MN), índice de división (SPLIT) y tamaño efectivo de la malla (MESH), para

el tercer objetivo específico se utilizaron todas las variables para el análisis, dichas variables fueron utilizadas según las recomendaciones de varios autores (Aguilera 2010, Correa et. al 2014, Madrigal y Marks 1995, Ortega 2007, Vergara 2013 y Vila Subiros et. al 2006).

3.3 Diseño para la recolección de datos primarios

El diseño de la presente investigación es no experimental del tipo descriptiva, Hernández (2006) la describe como aquella investigación que busca especificar propiedades, características y perfiles de las personas, grupos, comunidades, procesos, objetos, lugares o cualquier otro fenómeno en estudio; es decir, evalúan o recolectan datos sobre diversos conceptos (variables), aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas.

Dentro del diseño no experimental esta investigación es longitudinal o evolutiva, donde los datos se recolectan a través del tiempo en puntos o periodos, para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. Tales puntos o periodos por lo común se especifican de antemano. A su vez el método implementado es el observacional, dado que no existe ninguna intervención del investigador; los datos reflejarán la evolución natural de los eventos, ajena a la voluntad del investigador.

Los datos primarios fueron obtenidos por teledetección, a través de sensores remotos, tales como imágenes satelitales. Con estos datos se realizó la interpretación de las coberturas y usos de la tierra en las imágenes de los satélites: Landas 5TM y Landas 8 OLI para cada una de las escalas temporales. En relación a ello Chuvieco (1995) menciona que para la confección de cartografía temática se utilizan técnicas de interpretación visual y procesamiento matemático de imágenes.

Escala temporal e imágenes de satélite

La escala temporal que se utilizó en la presente investigación corresponde a 3 periodos de estudio, entre el año 1987 a 2016, con un margen de 10 años entre cada uno, con excepción del periodo 1987-1996, que se redujo por no contar con imágenes

adecuadas (porcentaje de nubosidad) para el año 1986. La fuente de las imágenes, así como las escenas se detallan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Escala temporal e imágenes de satélite

Año	Satélite	Escenas
1987	Landsat 5 TM	226/76 - 227/76 - 227/75 - 227/74 - 228/74 - 228/75
1996	Landsat 5 TM	
2006	Landsat 5 TM	
2016	Landsat 8 OLI	

Fuente: Elaboración propia (2017)

Para cubrir el área de estudio de la investigación, fueron utilizadas seis escenas que se presentan en la Figura 6, con las mismas se confeccionaron los mosaicos correspondientes a cada año de la investigación.



Figura 6. Mapa de escenas (Fuente elaboración propia, 2017)

3.4 Recursos materiales y equipos técnicos

Para la investigación fueron utilizados tanto materiales de gabinete como materiales de campo. Los materiales de gabinete fueron:

- Imágenes satelitales: Landsat 5TM, Landsat 7ETM+, Landsat 8 OLI
- Fotocopias e impresiones

- Computadora e internet
- Útiles de oficina
- Software (Procesador de texto Word, Planillas electrónicas Excel, ArcGIS 10.3.1, Fragstats v.4.2.1, Google Earth Pro)

Los materiales de campo fueron:

- Plancheta, Lápiz
- Cámara digital
- Vehículo
- Sistema de posición global (GPS)
- Calculadora

3.5 Descripción del proceso de recopilación de datos

En la Figura 7 se presenta el esquema del proceso de recopilación de datos, seguido en la presente investigación, que posteriormente se irá desarrollando en los apartados siguientes.



Figura 7. Esquema de recolección de datos (Fuente elaboración propia, 2017).

3.5.1 Etapa 1. Obtención de datos primarios

Esta etapa correspondió al proceso de recolección de datos primarios, que para la presente investigación fue la información proveniente de los sensores remotos, que

incluyen las imágenes *Landsat 5*, sensor TM para las fechas de estudio (1987, 1996, 2006) y *Landsat 8 OLI* para el año 2016. Las mismas fueron adquiridas del Servicio Geológico de los EEUU (USGS), descargadas desde la página web (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) correspondientes a las escenas y años correspondientes a la investigación. Las mismas fueron seleccionadas en función al nivel de interferencia espectral por nubes que posea la imagen. En el Cuadro 3 se presentan las fechas de cada imagen utilizada, teniendo en cuenta el grado de nubosidad de las mismas.

Cuadro 3. Fechas de imágenes seleccionadas para cada escena.

Escena	1987	1996	2006	2016
226/76	10/8/1987	2/8/2006	13/7/2006	9/8/2016
227/74	5/11/1987	10/9/2006	21/8/2006	16/8/2016
227/75	1/8/1987	10/9/2006	6/9/2006	16/8/2016
227/76	1/8/1987	10/9/2006	6/9/2006	16/8/2016
228/74	15/8/1987	16/8/2006	12/8/2006	23/8/2016
228/75	8/8/1987	16/8/2006	13/9/2006	23/8/2016

Fuente: elaboración propia (2017)

A las mismas una vez descargadas, se les efectuó un tratamiento digital que consistió en los siguientes:

- **Composición de Bandas:** mediante la herramienta Composición de bandas (*Composite Bands*) de la ventana Análisis de imágenes (*Image Análisis*) del ArcGIS 10.3.1 se seleccionaron combinaciones de bandas para resaltar las formaciones vegetales, a las imágenes de Landas 5 TM se selección la combinación de bandas RGB 5,4,3 y para Landas 8 OLI fue RGB 6,5,4.
- **Elaboración de Mosaicos:** mediante la herramienta Mosaico (*Mosaic*), de la ventana Análisis de imágenes (*Image Análisis*) del ArcGIS 10.3.1, fueron elaborados los mosaicos para cada uno de los años de estudio. Se tomó el criterio que las áreas superpuestas contienen los valores de celda máximos

A- Mosaico 1987

Para la elaboración del mosaico 1987 se utilizaron escenas del mes de agosto y sólo una escena de noviembre. El mes de agosto puede presentar sesgos por ser un mes de invierno y presentar efecto por las hojas caducifolias, de igual se optó por utilizarlas, por tener el menor grado de nubosidad.

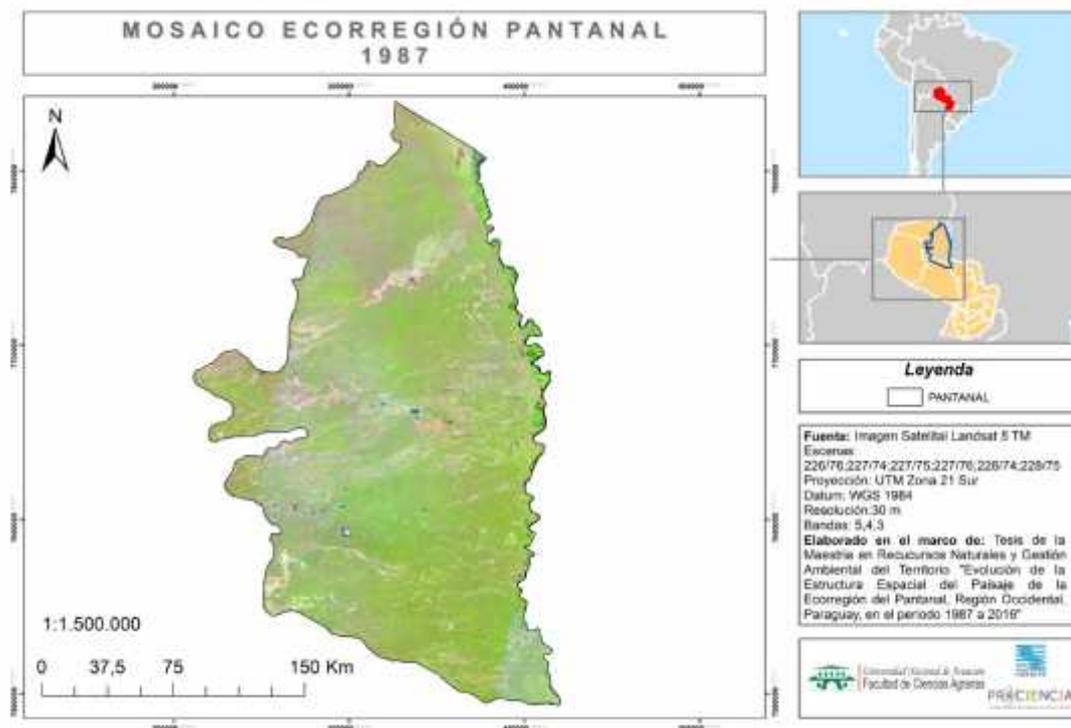


Figura 8. Mosaico de la ecorregión Pantanal correspondiente al año 1987 (Fuente elaboración propia, 2017).

B- Mosaico 1996

Para la elaboración del mosaico 1996 se utilizaron escenas de los meses de agosto y setiembre en forma proporcional. El mes de agosto puede presentar sesgos por ser un mes de invierno y presentar efecto por las hojas caducifolias, de igual se optó por utilizarlas, por tener el menor grado de nubosidad. En el mismo se nota una pequeña diferencia de reflectividad de las escenas del mes de setiembre y del mes de agosto.

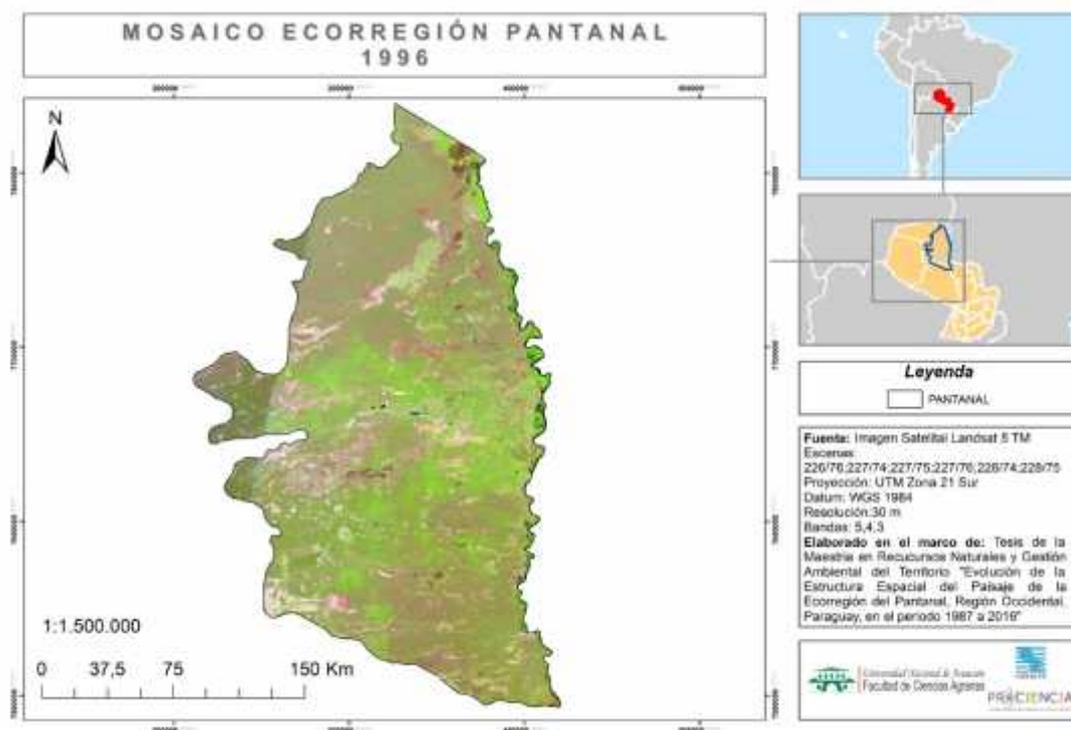


Figura 9. Mosaico de la ecorregión Pantanal correspondiente al año 1996 (Fuente elaboración propia, 2017).

C- Mosaico 2006

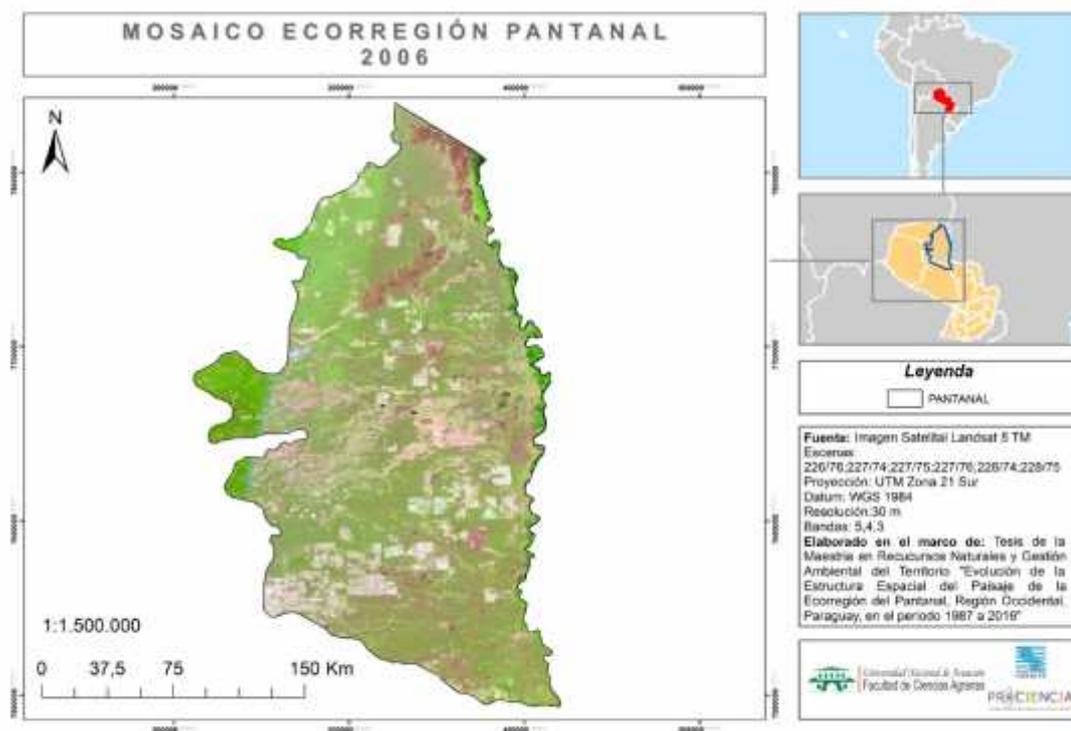


Figura 10. Mosaico de la ecorregión Pantanal correspondiente al año 2006 (Fuente elaboración propia, 2017).

Para la elaboración del mosaico 2006 se utilizaron escenas de los meses de setiembre (mayormente), agosto y julio. En el mismo se nota pequeñas diferencias de reflectividad de las escenas de los diferentes meses.

D- Mosaico 2016

Para la elaboración del mosaico 2016 se utilizaron escenas del mes de agosto. El mes de agosto puede presentar sesgos por ser un mes de invierno y presentar efecto por las hojas caducifolias, de igual forma se optó por utilizarlas, por tener el menor grado de nubosidad.

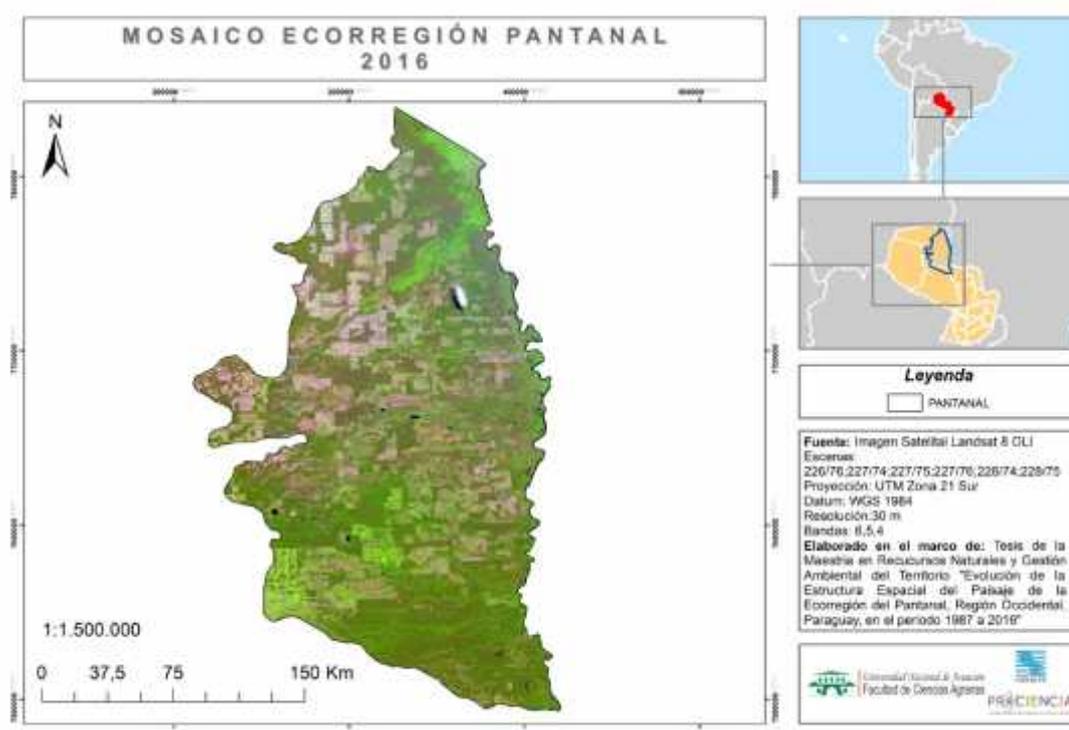


Figura 11. Mosaico de la ecorregión Pantanal correspondiente al año 2016 (Fuente elaboración propia, 2017).

3.5.2 Etapa 2: Identificación de las coberturas y usos del área de estudio

En esta etapa se utilizó el software ArcGIS 10.3.1 para la clasificación de las coberturas y usos. Se realizó una tipificación visual previa de manera a distinguir las clases presentes en el área de estudio. Para la determinación de las coberturas y usos de la tierra, se utilizó como base tanto el Mapa de cobertura de la tierra del Paraguay del 2011, elaborado por la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional de Asunción (UNA) y el Forestry and Forest Products Research Institute

(FFPRI) del Japón en el año 2013, como los datos de cambio de uso generados por la Asociación Guyra Paraguay. A partir de ellos se procedió a realizar la digitalización y corrección de los usos no identificados en los años de estudio, con una serie de herramientas y procesos realizados con el software, además de los métodos de interpretación visual, teniendo en cuenta criterios como patrón, textura, tamaño, formas.

Según la FAO (2005) la cobertura de la tierra está definida como la cobertura biofísica que se observa sobre la superficie de la tierra, mientras que el uso de tierra está caracterizado por los arreglos, actividades e insumos que el hombre emprende en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir, cambiarla o mantenerla. Para lograr distinguir espacialmente ambos conceptos son necesarias informaciones adicionales, ya que el uso depende de factores sociales, económicos, culturales, aparte de las informaciones generadas por los sensores remotos (Britos y Barchuck 2008).

Teniendo en cuenta que la investigación se basó en información de sensores remotos, y que con estos datos por si solos la distinción de coberturas y usos es difícil de cartografiar, según lo expuesto anteriormente, se utilizó el término cobertura/uso de forma conjunta en esta investigación.

Las coberturas y usos de la tierra que fueron identificadas para esta investigación, se conceptualizaron en base a las identificadas por la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional de Asunción (UNA) y el Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI) del Japón en el año 2013. Fueron identificadas seis clases *Bosque*, *Sabana*, *Sabana inundable*, *Cuerpos de agua*, *Tierra cultivada* y *Área urbana*. Se conceptualizaron las mismas de la siguiente forma:

- *Bosque*: se denomina bosque a las áreas iguales o mayores a 0,5 ha con un porcentaje de cubierta del dosel superior igual o mayor a 10%. La altura de los árboles maduros es igual o mayor a 3 m, se excluye la tierra que está predominantemente bajo uso agropecuario o superficial. Esta cobertura incluye: a) la cobertura forestal continua que consiste en masas forestales de distribución intermitente; b) cobertura forestal residual representado por fragmentos de coberturas forestales no continuas; y c) cobertura forestal en

galería, que está asociado a la orientación de las escorrentías permanentes o intermitentes de cursos de agua.

- *Sabana*: formación natural dominada por gramíneas y leguminosas con árboles dispersos en menor proporción. Está distribuida en lugares de topografía alta por encima de los niveles de máxima inundación. Esta categoría además incluye las formaciones del tipo cerrado, así como los espartillares y matorrales.
- *Sabana inundable*: Se denomina a la vegetación generalmente herbáceas localizada en lugares tanto de topografía plana como así también en los valles afectados por las aguas de inundación durante cierta época del año. Generalmente está distribuida sobre suelos de nivel freático superficial y de lento drenaje. En esta formación natural además confluyen un tipo de vegetación combinada de pastos y palmas, que incluye los palmares de caranday, alternando esporádicamente especies como *Prosopis sp.* Además, incluye los pantanales, esteros y embalsados, con vegetación característica de tierras bajas afectadas por el agua de inundación durante casi todo el año, los cuales se encuentran colonizados por especies herbáceas higrófilas de ciperáceas, gramíneas, camalotes y otras.
- *Cuerpos de agua*: Esta categoría comprende los ríos, lagos, arroyos, embalses, así mismo otros cuerpos de agua de carácter permanente.
- *Tierra cultivada*: comprende la vegetación de áreas cultivadas, ya sean ganaderas (pasturas implantadas y en combinación con pequeños terrenos arbolados) o agrícolas (cultivos anuales, perennes y/o mezclados), asimismo aquellas tierras preparadas para el cultivo, tierras en barbecho y áreas deforestadas.
- *Área urbana*: esta categoría incluye las denominadas zonas urbanas declaradas como municipios, de igual manera comprenden los asentamientos humanos y las áreas pobladas con construcciones significativas.

Para la identificación de las mismas se utilizaron parámetros de respuesta espectral, textura, forma, etc., lo que se presenta en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Método de identificación de coberturas y usos de la tierra

Clase	Imagen (Landsat 8 RGB 6,5,4)	Interpretación
Bosque		Presenta textura rugosa, color verde oscuro, baja reflectividad. La reflectancia espectral se basa en la absorción por parte de la clorofila y el agua en las hojas, la misma varía según el tipo de vegetación, la salud de la misma, estructura de las hojas y contenido de humedad. La textura rugosa que presenta la imagen es una cualidad propia de los bosques debido al conjunto de árboles que lo conforman, propio de masas forestales, así también permite diferenciar la edad de los bosques, por lo que un bosque joven presentará textura suave y un bosque adulto presentará textura rugosa.
Sabana		Presenta unidades de vegetación con alto contraste de reflectividad, son unidades en las que el suelo está cubierto por vegetación herbácea y arbustiva, como se denota por los tonos verdes. Presenta mayor reflectividad que la categoría de bosques. La forma es irregular y la textura semi rugosa.
Sabana inundable		La categoría presenta respuesta espectral en diferentes tonos de verde y lila. Presentando zonas de textura rugosa, con mayor intensidad que se encuentran rodeadas por tonos claros, la intensidad se encuentra directamente relacionada con la diferencia de nivel en el terreno y los sitios con tonos claro indican presencia de agua.
Cuerpos de agua		Presenta un intenso color azul opaco debido a la alta absorción del agua, las zonas más oscuras indican que son áreas de mayor profundidad en el cuerpo de agua. Se caracterizan por su forma sinuosa e irregular, es posible distinguir los límites y extensión de los mismos, el cambio en la reflectancia, permite diferenciar claramente agua de suelos, presentando estos últimos alta reflectancia; en los cuerpos de agua los tonos liliáceos indican los sitios donde se encuentra con un déficit hídrico, son sitios de poca profundidad o de transición.
Tierra cultivada		Estas áreas presentan normalmente un patrón de diseño característico debido al ordenamiento espacial de los objetos, que permiten su fácil identificación. La misma presenta una textura suave, forma geométrica. Se presentan en colores lilas y verde claro.
Área urbana		Se resaltan núcleos de población, presentando formas geométricas, uniformidad en la traza de los lotes, acompañada por vegetación arbustiva y herbácea, así también el diseño característico debido a la presencia de las vías de comunicación. Estas vías se presentan con tonalidades claras y brillantes, lo cual permite diferenciar de forma sencilla las mismas.

Fuente: elaboración propia (2017)

3.5.3 Etapa 3: Determinación de la estructura espacial del área de estudio.

En esta etapa se calcularon las métricas de paisaje, a nivel de clases, desde este punto se tomaron como clases a las coberturas y usos identificados en la etapa anterior. El software que se empleó para el cálculo de las mismas fue el Fragstats v.4.2.1. En el mismo fueron introducidas las capas de información en formato raster, y se obtuvieron los valores asignados a las diferentes métricas seleccionadas para la presente investigación. En el Cuadro 5, se presenta la descripción de las métricas de composición y en el Cuadro 6 las métricas de configuración utilizadas en la investigación con su correspondiente fórmula.

Cuadro 5. Métricas utilizadas en la investigación

Número de parches (NP):	
$N = n_i$	ni = número de parches en el paisaje de la clase i.
Descripción	Equivale al número de parches de la clase correspondiente.
Unidad	Ninguna
Densidad de parche (PD)	
$P = \frac{n_i}{A} (10000)(100)$	ni = número de parches en el paisaje de la clase i. A = superficie total del paisaje (m2).
Descripción	Equivale al número de parches de la clase correspondiente dividido por el área total del paisaje (m2), multiplicado por 10.000 y 100 (para convertir a 100 hectáreas).
Unidad	Número por 100 hectáreas
Área media (AREA_MN)	
$M = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i}$	Xij = superficie de parches individuales que corresponden a un mismo tipo de clase
Descripción	equivale al área media (m2) de parche de la clase correspondiente, dividido por 10.000 (para convertir a hectáreas)
Unidades	Hectáreas
Desviación estándar del área (AREA_SD)	
$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - (\frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n_i}))^2}{n_i}}$	Xij = superficie de parches individuales que corresponden a un mismo tipo de clase.
Descripción	equivale a la desviación estándar del área media (m2) de parche de la clase correspondiente, dividido por 10.000 (para convertir a hectáreas)
Unidades	Hectáreas

Índice del fragmento más grande (LPI)	
$L = \frac{m \sum_{j=1}^n (a_{ij})}{A} (100)$	a _{ij} = área (m ²) del parche ij. A = superficie total del paisaje (m ²)
Descripción	Equivale al área (m ²) del parche más grande de la clase correspondiente dividido por el área total del paisaje (m ²), multiplicado por 100 (para convertir a porcentaje); es decir, es igual al porcentaje del paisaje comprendido por el parche más grande.
Unidades	Porcentaje
Borde total (TE)	
$T = \sum_{k=1}^n e_{ik}$	e _{ik} = longitud total (m) del borde de cada parche i en el paisaje; incluye los límites del paisaje y los segmentos de fondo que implican la clase del parche i
Descripción	Equivale a la suma de las longitudes (m) de todos los segmentos del borde de todos los parches de la clase correspondiente. Si está presente un borde de paisaje, incluye segmentos de contorno de paisaje que representan sólo el borde "verdadero" (es decir, parches contiguos de diferentes clases). Si no hay un borde de paisaje, incluye una proporción del límite del paisaje específica. Independientemente de si un borde de paisaje está presente o no, incluye una proporción específica del borde de fondo interno.
Unidad	Metros
Densidad de borde (ED):	
$E = \frac{\sum_{k=1}^n e_{ik}}{A} (10.000)$	e _{ik} = longitud total (m) del borde de cada parche i en el paisaje; incluye los límites del paisaje y los segmentos de fondo que implican la clase del parche i A = superficie total del paisaje (m ²).
Descripción	ED es igual a la suma de las longitudes (m) de todos los segmentos del borde de todos los parches de la clase correspondiente, dividida por el área total del paisaje (m ²), multiplicado por 10.000 (para convertir en hectáreas).
Unidad	Metros por hectáreas

Fuente: elaboración propia (2017) en base a McGarigal y Marks (1995)

Cuadro 6. Métricas utilizadas en la investigación

Índice de forma medio (SHAPE-MN):	
$S = \frac{P_i}{\min P_i}$	<p>P_{ij} = perímetro (m) del parche ij. a_{ij} = área (m²) del parche ij. MN (Media) es igual a la suma, a través de todos los parches del tipo de parche correspondiente, de los valores métricos de parche correspondientes, divididos por el número de parches del mismo tipo.</p>
Descripción	es igual al perímetro del parche (m) dividido por la raíz cuadrada del área del parche (m ²), ajustado por una constante para ajustar por un patrón cuadrado
Unidades	Ninguna
Índice de proximidad (PROX):	
$P = \sum_{g=1}^n \frac{a_{ij}}{h_{ij}^2}$	<p>a_{ijs} = área (m²) del parche ijs dentro del vecindario especificado (m) del parche ij. h_{ijs} = distancia (m) euclidiana borde a borde del parche ijs</p>
Descripción	Equivale a la suma del área del parche (m ²) dividida por la distancia más cercana al cuadrado (m ²) entre el parche y el parche focal de todos los parches de la clase correspondiente cuyos bordes están dentro de una distancia especificada (m) del parche focal.
Unidad	Ninguna
Índice de división (SPLIT):	
$S = \frac{A^2}{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}$	<p>a_{ij} = área (m²) del parche ij. A = superficie total del paisaje (m²).</p>
Descripción	Equivale al área total del paisaje (m ²) al cuadrado dividido por la suma del área del parche (m ²) al cuadrado, sumada a través de todos los parches de la clase correspondiente.
Unidad	Ninguno
Tamaño efectivo de la malla (MESH):	
$M = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{A} \left(\frac{1}{10000} \right)$	<p>a_{ij} = área (m²) del parche ij. A = superficie total del paisaje (m²).</p>
Descripción	Equivale a la suma del área del parche al cuadrado, sumada a través de todos los parches de la clase correspondiente, dividido por el área total del paisaje (m ²), dividido por 10.000 (para convertir a hectáreas).
Unidad	Hectáreas

Fuente: elaboración propia (2017) en base a McGarigal y Marks (1995)

El Cuadro 7 constituye la base para la interpretación de las métricas de paisaje que fueron aplicadas en esta investigación, el mismo constituye una recopilación del trabajo de varios autores.

Cuadro 7. Interpretación de métricas utilizadas en la investigación.

Código	Nombre	Interpretación
NP	Número de parches	$NP \geq 1$, sin límite. NP = 1 cuando el paisaje contiene sólo 1 parche del tipo de parche correspondiente; es decir, cuando la clase consiste en un solo parche.
PD	Densidad de parche	PD > 0, limitado por el tamaño de la celda. El máximo PD se logra cuando cada célula es un parche independiente. Por lo tanto, en última instancia, el tamaño de la celda determinará el número máximo de parches por unidad de área. Sin embargo, la densidad máxima de parches de una sola clase se alcanza cuando cada otra célula es de esa clase focal
AREA_MN	Área media	AREA_MN > 0, sin límite.
AREA_SD	Desviación estándar	AREA_SD > 0, sin límite.
LPI	Índice del fragmento más grande	$0 < LPI \leq 100$ LPI se aproxima a 0 cuando el parche más grande del tipo de parche correspondiente es cada vez más pequeño. LPI = 100 cuando el paisaje completo consiste en un solo parche del tipo de parche correspondiente.
TE	Borde total	TE ≥ 0 , sin límite TE = 0 cuando no hay ningún borde de clase en el paisaje.
ED	Densidad de borde	ED ≥ 0 , sin límite. ED = 0 cuando no hay borde en el paisaje; es decir, cuando todo el paisaje y el borde del paisaje, si está presente, consiste en un solo parche y el usuario especifica que ninguno de los bordes del paisaje y el borde del fondo se tratan como borde.
SHAPE	Índice de Forma	SHAPE ≤ 1 , sin límite. SHAPE = 1 cuando el parche es máximamente compacto (es decir, cuadrado o casi cuadrado) y aumenta sin limitación a medida que la forma del parche se vuelve más irregular.
PROX	Índice de Proximidad	PROX ≥ 0 . PROX = 0 si un parche no tiene vecinos del mismo tipo de parche dentro del radio de búsqueda especificado. PROX aumenta a medida que el vecindario (definido por el radio de búsqueda especificado) es cada vez más ocupado por parches del mismo tipo y como esos parches se vuelven más cercanos y más contiguos (o menos fragmentados) en la distribución.
SPLIT	Índice de división	$1 \geq SPLIT \geq 0$ número de células en el área del paisaje al cuadrado SPLIT = 1 cuando el paisaje consiste en un solo parche. SPLIT aumenta a medida que el tipo de parche focal se reduce cada vez más en área y se subdivide en parches más pequeños. El límite superior de SPLIT está limitado por la relación entre el área del paisaje y el tamaño de la celda y se logra cuando el tipo de parche correspondiente consta de un único parche de píxeles.
MESH	Tamaño Efectivo de la malla	Relación de tamaño de celda a área de paisaje $MESH = \frac{\text{tamaño de celda}}{\text{área de paisaje total (A)}}$ El límite inferior de MESH está limitado por la relación de tamaño de celda a área de paisaje y se logra cuando el tipo de parche correspondiente consta de un solo parche de píxel. MESH es máxima cuando el paisaje consiste en un solo parche

Fuente: elaboración propia (2017) en base a Ortega (2007), Aguilera (2010), Vila Subiros et al (2006) y Madrigal y Marks (1995) Correa et. al (2014) y Vergara (2013)

3.5.4 Etapa 4: Comparación de la estructura espacial del paisaje entre los periodos de investigación

En esa etapa se realizó una comparación entre la estructura espacial del paisaje en la escala temporal definida para el estudio, entre los periodos de estudio. Se describieron y analizaron las métricas aplicadas en cada año, mediante la comparación de las diferentes variables determinadas en la etapa anterior. Con ello se analizó la evolución de la composición y configuración del paisaje en los diferentes años de estudio, y se discutieron diferentes causas y consecuencias de esta evolución.

3.6 Método de control de calidad de los datos

Los datos obtenidos mediante el proceso de interpretación de imágenes satelitales fueron validados en campo. Esta validación se realizó con el establecimiento de puntos de control aleatorios para cada tipo de cobertura y uso, mediante la función de establecimiento de puntos aleatorios del software ArcGIS 10.3.1.

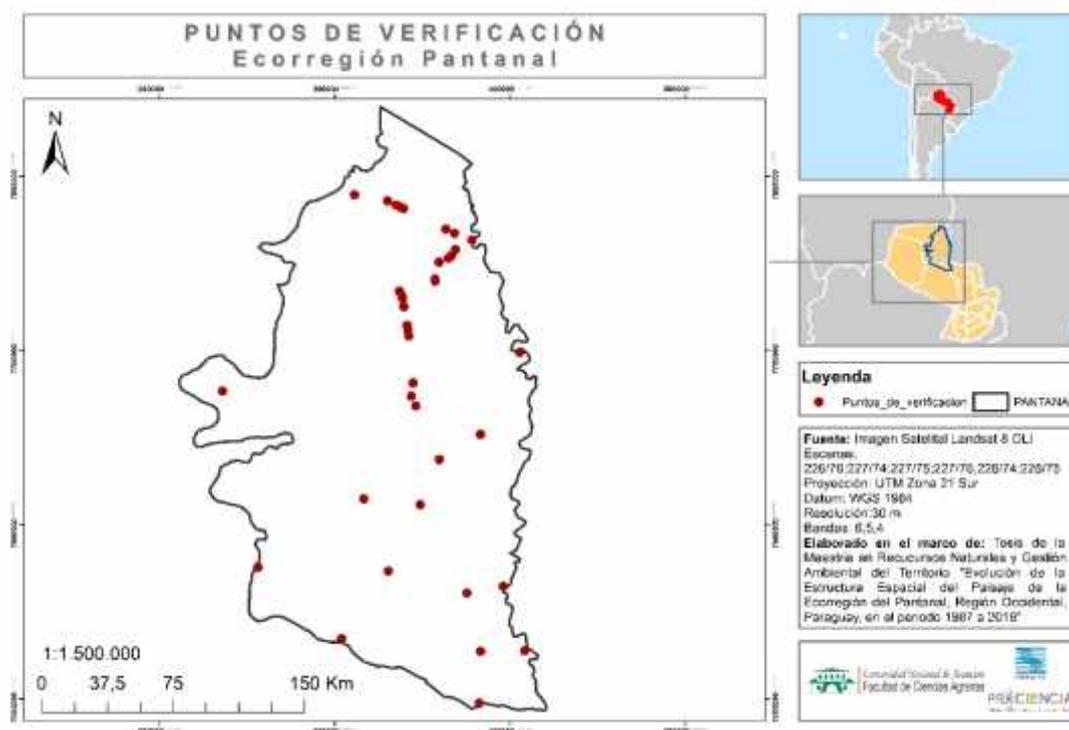


Figura 12. Mapa de puntos de verificación en campo y gabinete (Fuente elaboración propia, 2017)

Los puntos aleatorios fueron visitados en campo y verificada la identificación de las coberturas y usos mediante la técnica de la observación directa. A su vez la clasificación de coberturas y usos se contrastó con las imágenes de alta resolución de Google Earth Pro. En la Figura 12 se presentan los puntos de verificación, obtenidos en el proceso de interpretación de las coberturas y usos de la tierra del área de estudio.

Se obtuvieron 40 puntos de muestreo, la tabla de los mismos se presenta en Anexo. En el cuadro 8, se pueden observar una imagen por cobertura y uso identificada y validada en campo.

Cuadro 8. Registro fotográfico de puntos de verificación en campo

Clase	Imagen	Clase	Imagen
Bosque		Cuerpos de agua	
Sabana		Tierra cultivada	
Sabana inundable		Área urbana	

Fuente: elaboración propia (2017).

3.7 Modelo de análisis e interpretación de datos

Con el fin de interpretar los datos, para el primer objetivo específico se utilizaron mapas temáticos y tablas. Para los siguientes objetivos específicos se utilizaron tablas y gráficos comparativos con las métricas de paisaje para cada escala temporal, como se puede observar en la Figura 12.



Figura 13. Modelo de interpretación de resultados (Fuente elaboración propia, 2017)

3.8 Limitaciones de la investigación

La primera limitación con la que se encontró la investigación, fueron los datos primarios, que son las imágenes satelitales, que, al ser de acceso libre y gratuito, tienen resoluciones menores y puede llegar a perderse información importante para un análisis del paisaje. Además, se presentó la dificultad con las imágenes del año 1986, teniendo las imágenes correspondientes a una escena durante todo el año más del 90% de nubosidad, por lo que se optó por modificar el año de investigación y pasar al año 1987, donde sí se encontraron imágenes óptimas para el análisis, como se grafica en la Figura 14.



Figura 14. Comparación de imágenes del año 1986 y del año 1987 (Fuente elaboración propia, 2017)

Por último, otra limitación de la investigación, también relacionada a las imágenes satelitales, fue que las imágenes obtenidas correspondían a diferentes meses del año, representando una variación estacional o estacionalidad. La misma incide en el comportamiento espectral de las coberturas y usos, variando en función de las condiciones meteorológicas, de las estaciones del año y de las condiciones de iluminación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Identificación de tipos de cobertura y uso por año de estudio

4.1.1 Cobertura y uso de la tierra en el año 1987

En el área de estudio se obtuvo como resultado la clasificación de cobertura y uso de la tierra del año 1987, donde la Superficie de clase por cobertura y uso, se presenta en el Cuadro 9. Para *Bosque* se determinó una superficie de 3.044.248,96 hectáreas (representando el 72,44% del área del paisaje), para *Sabana* una superficie de 544.481,84 hectáreas (representando el 12,96% del área), para *Sabana inundable* una superficie de 515.245,23 hectáreas (representando el 12,26% del área), para *Cuerpos de agua* una superficie de 24.527,74 hectáreas (representando el 0,58% del área), para *Tierra cultivada* una superficie de 72.570,33 hectáreas (representando el 1,73% del área), y para *Área urbana* una superficie de 1.240,90 hectáreas (representando el 0,03% del área).

Cuadro 9. Superficie de clases de la ecorregión del Pantanal del año 1987.

Cobertura y uso	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Bosque	3.044.248,96	72,44
Sabana	544.481,84	12,96
Sabana inundable	515.245,23	12,26
Cuerpos de agua	24.527,74	0,58
Tierra cultivada	72.570,33	1,73
Área urbana	1.240,90	0,03
TOTAL	4.202.315	100

Fuente: elaboración propia (2017)

Además, se obtuvo el mapa de coberturas y usos de la tierra del año en cuestión del área de estudio. El mismo se presenta con la Figura 15.

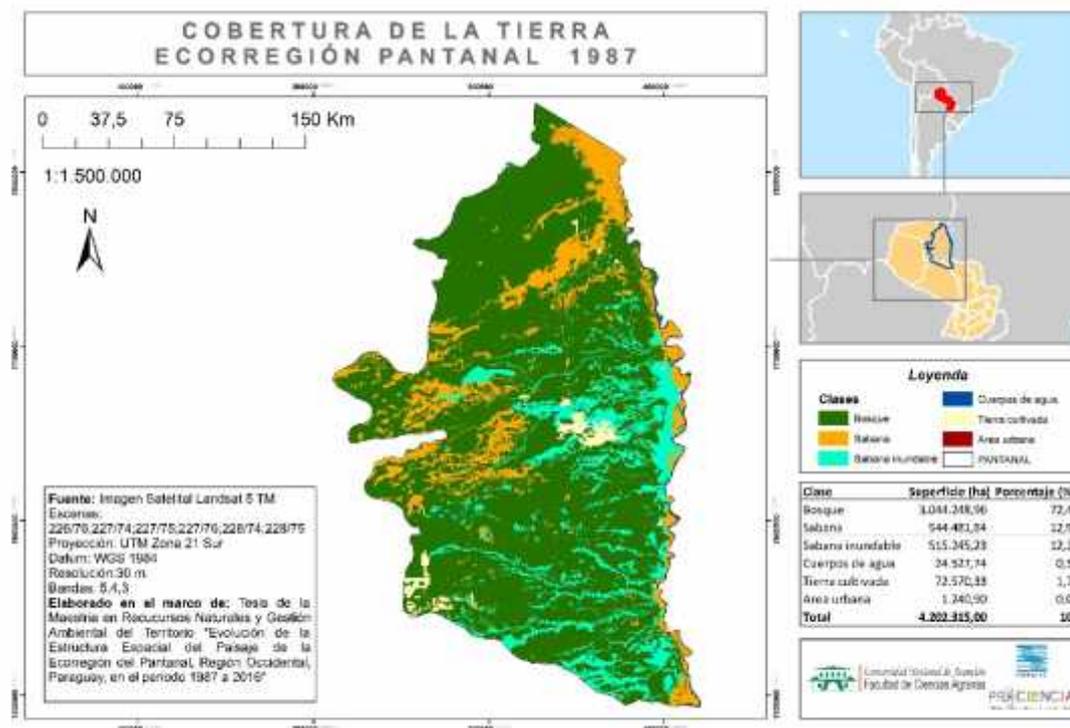


Figura 15. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la ecorregión Pantanal correspondiente al año 1987 (Fuente elaboración propia, 2017)

4.1.2 Cobertura y uso de la tierra en el año 1996

En el año 1996, la investigación obtuvo la Superficie de clase por cobertura y uso, que se presenta en el Cuadro 10. Se identificaron las siguientes superficies: para *Bosque* se determinó una superficie de 2.999.451,61 hectáreas (representando el 71,38% del área del paisaje), para *Sabana* una superficie de 530.797,46 hectáreas (representando el 12,63% del área), para *Sabana inundable* una superficie de 507.767,77 hectáreas (representando el 12,08% del área), para *Cuerpos de agua* una superficie de 24.527,74 hectáreas (representando el 0,58% del área), para *Tierra cultivada* una superficie de 138.411,32 hectáreas (representando el 3,29% del área), y para *Área urbana* una superficie de 1.359,11 hectáreas (representando el 0,03% del área).

Cuadro 10. Superficie de clases de la ecorregión del Pantanal del año 1996.

Cobertura y uso	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Bosque	2.999.451,61	71,38
Sabana	530.797,46	12,63
Sabana inundable	507.767,77	12,08
Cuerpos de agua	24.527,74	0,58
Tierra cultivada	138.411,32	3,29
Área urbana	1.359,11	0,03
TOTAL	4.202.315	100

Fuente: elaboración propia (2017)

Así mismo, se obtuvo el mapa de coberturas y usos de la tierra del año en cuestión del área de estudio. El mismo se presenta con la Figura 16.

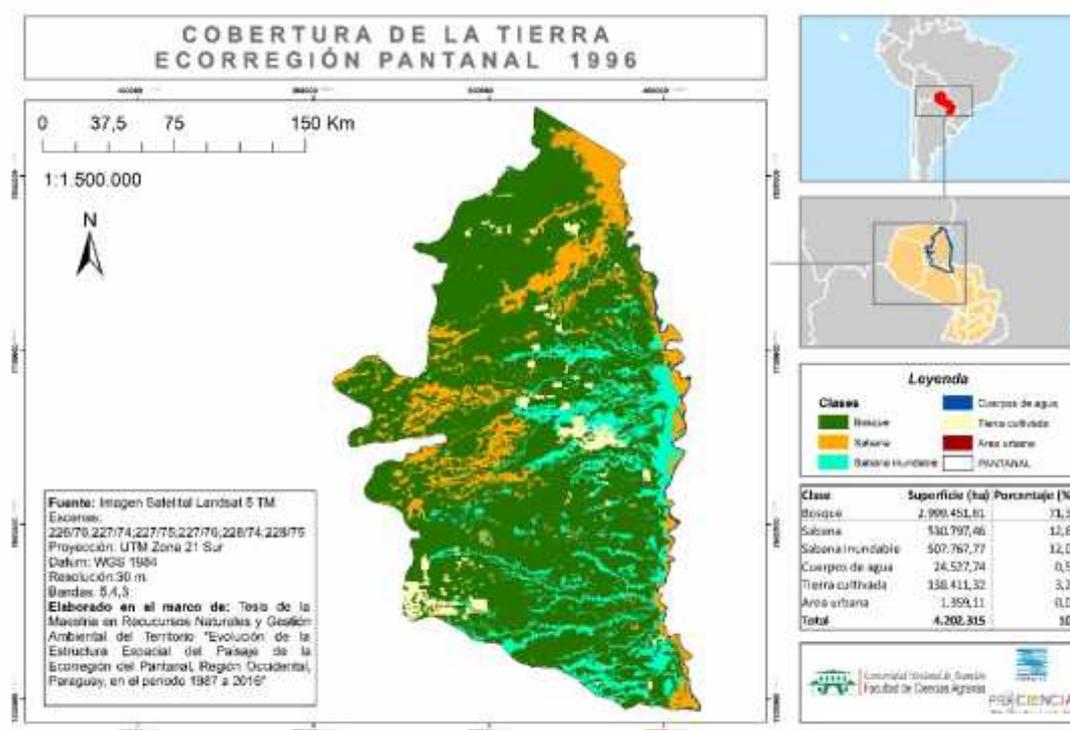


Figura 16. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la ecorregión Pantanal correspondiente al año 1996 (Fuente elaboración propia, 2017)

4.1.3 Cobertura y uso de la tierra en el año 2006

La investigación, para el año 2006 identificó las siguientes Superficies de clase por cobertura y uso: para *Bosque* se determinó una superficie de 2.716.530,98 hectáreas (representando el 64,64% del área del paisaje), para *Sabana* una superficie de 519.126,19 hectáreas (representando el 12,35% del área), para *Sabana inundable* una superficie de 489.013,67 hectáreas (representando el 11,64% del área), para

Cuerpos de agua una superficie de 24.527,74 hectáreas (representando el 0,58% del área), para *Tierra cultivada* una superficie de 451.413,47 hectáreas (representando el 10,74% del área), y para *Área urbana* una superficie de 1.702,93 hectáreas (representando el 0,04% del área), lo que se presenta en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Superficie de clases de la ecorregión del Pantanal del año 2006.

Cobertura y uso	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Bosque	2.716.530,98	64,64
Sabana	519.126,19	12,35
Sabana inundable	489.013,67	11,64
Cuerpos de agua	24.527,74	0,58
Tierra cultivada	451.413,47	10,74
Área urbana	1.702,93	0,04
TOTAL	4.202.314,98	100

Fuente: elaboración propia (2017)

Además, se obtuvo el mapa de coberturas y usos de la tierra del año en cuestión del área de estudio, que se presenta con la Figura 17.

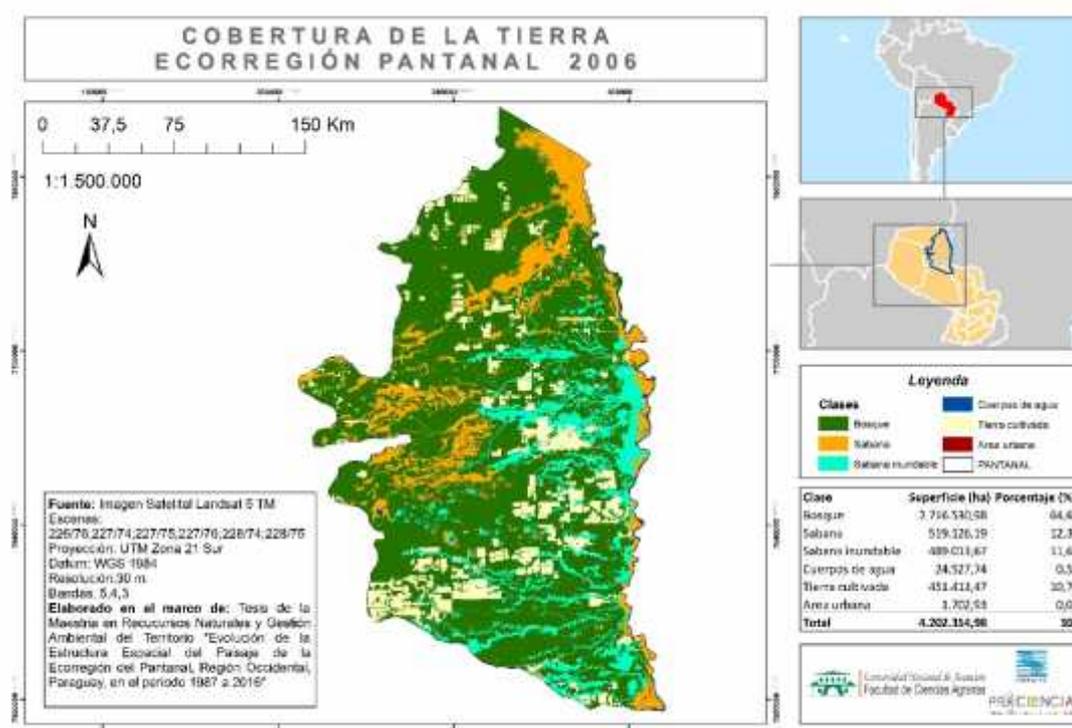


Figura 17. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la ecorregión Pantanal correspondiente al año 2006 (Fuente elaboración propia, 2017)

4.1.4 Cobertura y uso de la tierra en el año 2016

En el área de estudio, para el año 2016 se identificaron las siguientes Superficie de clase por cobertura y uso: para *Bosque* se determinó una superficie de 2.168.071,25 hectáreas (representando el 51,59% del área del paisaje), para *Sabana* una superficie de 505.752,44 hectáreas (representando el 12,04% del área), para *Sabana inundable* una superficie de 446.291,61 hectáreas (representando el 10,62% del área), para *Cuerpos de agua* una superficie de 24.527,74 hectáreas (representando el 0,58% del área), para *Tierra cultivada* una superficie de 1.055.811,15 hectáreas (representando el 25,12% del área), y para *Área urbana* una superficie de 1.860,80 hectáreas (representando el 0,04% del área), presentados en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Superficie de clases de la ecorregión del Pantanal del año 2016.

Cobertura y uso	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Bosque	2.168.071,25	51,59
Sabana	505.752,44	12,04
Sabana inundable	446.291,61	10,62
Cuerpos de agua	24.527,74	0,58
Tierra cultivada	1.055.811,15	25,12
Área urbana	1.860,80	0,04
TOTAL	4.202.314,98	100

Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 18 se presenta el mapa de coberturas y usos de la tierra del año en cuestión del área de estudio, obtenido por la presente investigación.

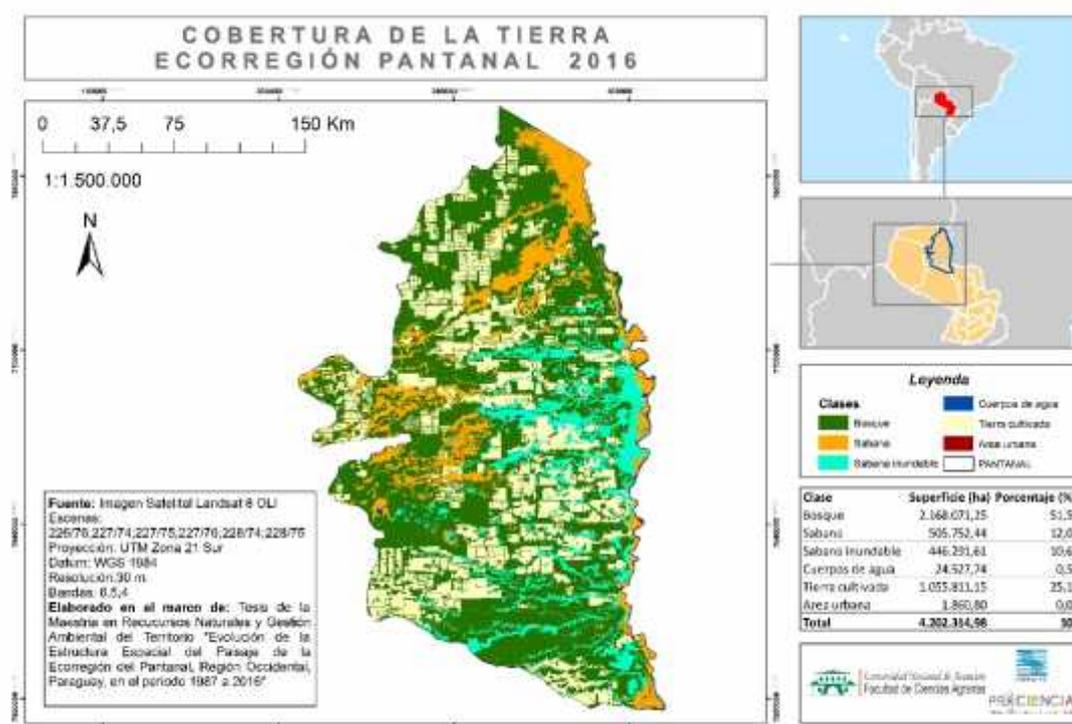


Figura 18. Mapa de cobertura y uso de la tierra de la ecorregión Pantanal correspondiente al año 2016 (Fuente elaboración propia, 2017)

4.2 Determinación de la estructura del paisaje por año de estudio

4.2.1 Estructura del paisaje en el año 1987

En el Cuadro 13 se presentan las métricas calculadas para la descripción del patrón de composición en el área de estudio, correspondiente al año 1987. La métrica que da una primera aproximación sobre la composición de un paisaje es el NP, del total de parches, 3.710 corresponden al *Bosque*, 1.967 a *Sabana*, 2.913 a *Sabana inundable* y 55 a *Cuerpos de agua*. El área antropizada consta de 188 parches de *Tierra cultivada* y 20 parches de *Área urbana*. Esto se ve reflejado en la métrica ED, en la clase que tiene mayor densidad, la del *Bosque* con 0,0883 parches por cada 100 ha, que es la clase con mayor número de parches, y la que posee menor número de parches es *Área urbana* con una densidad de 0,0005.

Con relación a la superficie ocupada por las diferentes clases, el *Bosque* posee la mayor superficie en el paisaje, con un AREA_MN de 820,48 ha y un AREA_SD de 30.207,25, lo que implica que los parches de esta clase tienen una alta variabilidad en

tamaño. Además, el *Bosque* posee un LPI de 33,93%, que es el más alto del paisaje, lo que implica la dominancia de esta clase sobre las demás, siendo esta clase la matriz del paisaje

Cuadro 13. Métricas de composición del año 1987.

Clase	NP (#)	PD (NP/100 ha)	AREA_MN (ha)	AREA_SD	LPI (%)	TE (m)	ED (m/ha)
Bosque	3.710	0,0883	820,48	30.207,25	33,93	32.778.810	7,8002
Sabana	1.967	0,0468	276,84	5.070,82	3,96	15.859.050	3,7739
Sabana inundable	2.913	0,0693	176,94	3.497,31	3,79	19.002.480	4,5219
Cuerpos de agua	55	0,0013	446,19	1.002,78	0,16	1.140.090	0,2713
Tierra cultivada	188	0,0045	386,11	2.613,72	0,76	2.139.210	0,5091
Área urbana	20	0,0005	61,72	90,32	0,01	84.960	0,0202

Obs.: NP: Número de parches; PD: Densidad de parches; AREA_MN: Tamaño medio de parches; AREA_SD: Desviación estándar del tamaño de parches; LPI: Índice del parche más grande; TE: Borde total; ED: Densidad de bordes.

Fuente: elaboración propia (2017)

La *Sabana* posee un AREA_MN de 276,84 ha, y un AREA_SD de 5.070,82, la *Sabana inundable* posee un AREA_MN de 176,94 ha, y un AREA_SD de 3.497,31, ambas con un comportamiento muy similar. Los *Cuerpos de agua* poseen un AREA_MN de 446,19 ha, y un AREA_SD de 1.002,78, siendo la cobertura natural con tamaños más homogéneos. Las áreas antrópicas poseen un AREA_MN de 386,11 ha, y un AREA_SD de 2.613,72 en *Tierra cultivada*, y un AREA_MN de 61,72 ha, y un AREA_SD de 90,32 en *Área urbana*, esta clase es la que posee los tamaños más cercanos a su media y este tamaño medio es el menor del paisaje.

En cuanto a los bordes, el *Bosque* posee 32.778.810 m de borde lo que implica una ED de 7,8002 metros de borde por hectárea de paisaje, en esta clase se presentan los valores más altos de borde, principalmente porque ocupa el área más grande. La *Sabana* posee 15.859.050 m de borde y una ED de 3,7739, la *Sabana inundable* posee 19.002.480 m de borde y una ED de 4,5219, y los *Cuerpos de agua* poseen 1.140.090 m de borde y una ED de 0,2713. En el área antropizada la *Tierra cultivada* tiene un borde de 2.139.210 m y una ED de 0,5091 y el *Área urbana* posee 84.960 m de borde y una ED de 0,0202, teniendo los valores más bajos del paisaje, lo que guarda una relación directa a la superficie que ocupa esta clase.

Por otro lado, en el Cuadro 14 se presentan las métricas calculadas para la descripción del patrón de configuración en el área de estudio, correspondiente al año 1987. En cuanto a la forma, el *Bosque* posee un SHAPE_MN de 1,4129, teniendo el valor más bajo del paisaje, indicando que los parches de esta clase están muy cerca de la forma con menor relación borde área, lo que implica un menor efecto borde, con similar comportamiento se presenta el *Área urbana* con un valor de 1,4766. La *Sabana* posee un SHAPE_MN de 1,6772, muy similar al valor de la *Sabana inundable* que es 1,6621. Los *Cuerpos de agua* poseen un SHAPE_MN de 3,0353, siendo el valor más alto del paisaje, esto se debe a la forma sinuosa y fina características de esta clase. Por último, la *Tierra cultivada* tiene un SHAPE_MN de 1,8570, lo que implica que la forma no está muy alejada de la forma regular.

Cuadro 14. Métricas de configuración del año 1987.

Clase	SHAPE_MN	PROX_MN	SPLIT	MESH (ha)
Bosque	1,4129	636.534,40	5,21	806.170,975
Sabana	1,6772	37.639,56	348,12	12.071,584
Sabana inundable	1,6621	24.101,89	494,38	8.500,230
Cuerpos de agua	3,0353	703,63	266.534,18	15,767
Tierra cultivada	1,8570	5.140,56	13.456,31	312,294
Área urbana	1,4766	1,67	73.786.562,05	0,057
Obs.: SHAPE_MN: Índice de forma media; PROX_MN: Índice de proximidad media; SPLIT: Índice de división; MESH: Tamaño efectivo de la malla.				

Fuente: elaboración propia (2017)

En lo que se refiere a aislamiento de los parches, el *Bosque* posee el valor más alto de PROX_MN en un radio de 500 m, 636.534,40, lo que implica que los parches están menos aislados, son más grandes y están más aglomerados. La *Sabana* y la *Sabana inundable* poseen valores similares de PROX_MN, con 37.639,56 y 24.101,89 respectivamente. Los *Cuerpos de agua* tienen un PROX_MN 703,63, la *Tierra cultivada* tiene un valor de 5.140,56 y, por último, el *Área urbana* posee el valor más bajo de PROX_MN de 1,67 lo que indica que esta clase es la que se encuentra más aislada en el paisaje.

Según los índices de fragmentación, el *Bosque* posee un MESH de 806.170,975 ha, lo que implica que la clase posee un bajo grado de fragmentación y cuenta con gran conectividad. La *Sabana* y la *Sabana inundable* vuelven a presentar valores similares, en este caso MESH, con 12.071,584 ha y 8.500,230 ha respectivamente. El valor de

MESH de la clase *Cuerpos de agua* es de 15,767 ha lo que implica que la misma no se encuentra muy conectada. En las clases de coberturas antrópicas la *Tierra cultivada* tiene un valor de MESH de 312,294 ha y, por último, el *Área urbana* un valor de 0,057 ha, siendo la clase con más aislamiento.

4.2.2 Estructura del paisaje en el año 1996

En el Cuadro 15 se presentan las métricas calculadas para la descripción del patrón de composición en el área de estudio, correspondiente al año 1996. La métrica que da una primera aproximación sobre la composición de un paisaje es el NP, del total de parches, 3.792 corresponden al *Bosque*, 1.957 a *Sabana*, 2.895 a *Sabana inundable* y 55 a *Cuerpos de agua*. El área antropizada consta de 299 parches de *Tierra cultivada* y 20 parches de *Área urbana*. Esto se ve reflejado en la métrica ED, en la clase que tiene mayor densidad, la del *Bosque* con 0,0902 parches por cada 100 ha, que es la clase con mayor número de parches, y la que posee menor número de parches es *Área urbana* con una densidad de 0,0005.

Con relación a la superficie ocupada por las diferentes clases, el *Bosque* posee la mayor superficie en el paisaje, con un AREA_MN de 790,92 ha y un AREA_SD de 29.500,31, lo que implica que los parches de esta clase poseen una alta variabilidad en tamaño. Además, el *Bosque* posee un LPI de 33,27%, que es el más alto del paisaje, lo que implica la dominancia de esta clase sobre las demás, siendo esta clase la matriz del paisaje.

Cuadro 15. Métricas de composición del año 1996.

Clase	NP (#)	PD (NP/100 ha)	AREA_MN (ha)	AREA_SD	LPI (%)	TE (m)	ED (m/ha)
Bosque	3.792	0,0902	790,92	29.500,31	33,27	33.797.400	8,0426
Sabana	1.957	0,0466	271,26	5.019,32	3,97	15.746.250	3,7470
Sabana inundable	2.895	0,0689	175,46	3.483,13	3,75	18.763.140	4,4649
Cuerpos de agua	55	0,0013	446,19	1.002,78	0,16	1.140.090	0,2713
Tierra cultivada	299	0,0071	463,06	2.244,08	0,81	3.317.880	0,7895
Área urbana	20	0,0005	67,60	93,07	0,01	90.000	0,0214

Obs.: NP: Número de parches; PD: Densidad de parches; AREA_MN: Tamaño medio de parches; AREA_SD: Desviación estándar del tamaño de parches; LPI: Índice del parche más grande; TE: Borde total; ED: Densidad de bordes.

Fuente: elaboración propia (2017)

La *Sabana* posee un AREA_MN de 271,26 ha, y un AREA_SD de 5.019,32, la *Sabana inundable* posee un AREA_MN de 175,46 ha, y un AREA_SD de 3.483,13, ambas con un comportamiento muy similar. Los *Cuerpos de agua* poseen un AREA_MN de 446,19 ha, y un AREA_SD de 1.002,78, siendo la cobertura natural con tamaños más homogéneos. Las áreas antrópicas poseen un AREA_MN de 463,06 ha, y un AREA_SD de 2.244,08 en *Tierra cultivada*, y un AREA_MN de 67,60 ha, y un AREA_SD de 93,07 en *Área urbana*, esta clase es la que posee los tamaños más cercanos a su media y este tamaño medio es el menor del paisaje.

En cuanto a los bordes, el *Bosque* posee 33.797.400 m de borde lo que implica una ED de 8,0426 metros de borde por hectárea de paisaje, en esta clase se presentan los valores más altos de borde, principalmente porque ocupa el área más grande. La *Sabana* posee 15.746.250 m de borde y una ED de 3,7470, la *Sabana inundable* posee 18.763.140 m de borde y una ED de 4,4649, y los *Cuerpos de agua* poseen 1.140.090 m de borde y una ED de 0,2713. En el área antropizada la *Tierra cultivada* tiene un borde de 3.317.880 m y una ED de 0,7895 y el *Área urbana* posee 90.000 m de borde y una ED de 0,0214, teniendo los valores más bajos del paisaje, lo que guarda una relación directa a la superficie que ocupa esta clase.

Cuadro 16. Métricas de configuración del año 1996.

Clase	SHAPE_MN	PROX_MN	SPLIT	MESH (ha)
Bosque	1,4147	639.925,02	5,35	785.858,244
Sabana	1,6808	37.018,26	357,13	11.766,772
Sabana inundable	1,6582	24.187,95	501,52	8.379,122
Cuerpos de agua	3,0353	703,63	266.534,17	15,767
Tierra cultivada	1,6737	3.589,82	11.249,23	373,565
Área urbana	1,4899	3,61	66.736.841,10	0,063
Obs.: SHAPE_MN: Índice de forma media; PROX_MN: Índice de proximidad media; SPLIT: Índice de división; MESH: Tamaño efectivo de la malla.				

Fuente: elaboración propia (2017)

Así también se presentan las métricas calculadas para la descripción del patrón de configuración en el área de estudio, correspondiente al año 1996, en el Cuadro 16. En cuanto a la forma, el *Bosque* posee un SHAPE_MN de 1,4147, teniendo el valor más bajo del paisaje, indicando que los parches de esta clase están muy cerca de la forma con menor relación borde área, lo que implica un menor efecto borde, con similar comportamiento se presenta el *Área urbana* con un valor de 1,4899. La *Sabana*

posee un SHAPE_MN de 1,6808, muy similar al valor de la *Sabana inundable* que es 1,6582. Los *Cuerpos de agua* poseen un SHAPE_MN de 3,0353, siendo el valor más alto del paisaje, esto se debe a la forma sinuosa y fina características de esta clase. Por último, la *Tierra cultivada* tiene un SHAPE_MN de 1, 6737, lo que implica que la forma no está muy alejada de la forma regular.

En lo que se refiere a aislamiento de los parches, el *Bosque* posee el valor más alto de PROX_MN en un radio de 500 m, 639.925,02, lo que implica que los parches están menos aislados, son más grandes y están más aglomerados. La *Sabana* y la *Sabana inundable* poseen valores similares de PROX_MN, con 37.018,26 y 24.187,95 respectivamente. Los *Cuerpos de agua* tienen un PROX_MN 703,63, la *Tierra cultivada* tiene un valor de 3.589,82 y, por último, el *Área urbana* posee el valor más bajo de PROX_MN de 3,61 lo que indica que esta clase es la que se encuentra más aislada en el paisaje.

Según los índices de fragmentación, el *Bosque* posee un MESH de 785.858,244 ha, lo que implica que la clase posee un bajo grado de fragmentación y cuenta con gran conectividad. La *Sabana* y la *Sabana inundable* vuelven a presentar valores similares, en este caso MESH, con 11.766,772 ha y 8.379,122 ha respectivamente. El valor de MESH de la clase *Cuerpos de agua* es de 15,767 ha lo que implica que la misma no se encuentra muy conectada. En las clases de coberturas antrópicas la *Tierra cultivada* tiene un valor de MESH de 373,565 ha y, por último, el *Área urbana* un valor de 0,063 ha, siendo la clase con más aislamiento.

4.2.3 Estructura del paisaje en el año 2006

Para el año 2006, se presentan en el Cuadro 17 las métricas calculadas para la descripción del patrón de composición en el área de estudio. La métrica que da una primera aproximación sobre la composición de un paisaje es el NP, del total de parches, 4.093 corresponden al *Bosque*, 1.946 a *Sabana*, 3.105 a *Sabana inundable* y 55 a *Cuerpos de agua*. El área antropizada consta de 675 parches de *Tierra cultivada* y 20 parches de *Área urbana*. Esto se ve reflejado en la métrica ED, en la clase que tiene mayor densidad, la del *Bosque* con 0,0974 parches por cada 100 ha, que es la

clase con mayor número de parches, y la que posee menor número de parches es *Área urbana* con una densidad de 0,0005.

Con relación a la superficie ocupada por las diferentes clases, el *Bosque* posee la mayor superficie en el paisaje, con un AREA_MN de 663,63 ha y un AREA_SD de 25.352,88, lo que implica parches de esta clase con una alta variabilidad en tamaño. Además, el *Bosque* posee un LPI de 30,92%, que es el más alto del paisaje, lo que implica la dominancia de esta clase sobre las demás, siendo la matriz del paisaje.

Cuadro 17. Métricas de composición del año 2006.

Clase	NP (#)	PD (NP/100 ha)	AREA_MN (ha)	AREA_SD	LPI (%)	TE (m)	ED (m/ha)
Bosque	4.093	0,0974	663,63	25.352,88	30,92	38.196.300	9,0893
Sabana	1.946	0,0463	266,79	5.011,26	3,97	15.526.110	3,6946
Sabana inundable	3.105	0,0739	157,56	3.029,65	3,57	18.806.160	4,4752
Cuerpos de agua	55	0,0013	446,19	1.002,78	0,16	1.140.090	0,2713
Tierra cultivada	675	0,0161	668,83	2.419,57	1,08	10.061.340	2,3942
Área urbana	20	0,0005	84,83	136,96	0,01	91.320	0,0217

Obs.: NP: Número de parches; PD: Densidad de parches; AREA_MN: Tamaño medio de parches; AREA_SD: Desviación estándar del tamaño de parches; LPI: Índice del parche más grande; TE: Borde total; ED: Densidad de bordes.

Fuente: elaboración propia (2017)

La *Sabana* posee un AREA_MN de 266,79 ha, y un AREA_SD de 5.011,26, la *Sabana inundable* posee un AREA_MN de 157,56 ha, y un AREA_SD de 3.029,65, ambas con un comportamiento muy similar. Los *Cuerpos de agua* poseen un AREA_MN de 446,19 ha, y un AREA_SD de 1.002,78, siendo la cobertura natural con tamaños más homogéneos. Las áreas antrópicas poseen un AREA_MN de 668,83 ha, y un AREA_SD de 2.419,57 en *Tierra cultivada*, y un AREA_MN de 84,83 ha, y un AREA_SD de 136,96 en *Área urbana*, esta clase es la que posee los tamaños más cercanos a su media y este tamaño medio es el menor del paisaje

En cuanto a los bordes, el *Bosque* posee 38.196.300 m de borde lo que implica una ED de 9,0893 metros de borde por hectárea de paisaje, en esta clase se presentan los valores más altos de borde, principalmente porque ocupa el área más grande. La *Sabana* posee 15.526.110 m de borde y una ED de 3,6946, la *Sabana inundable* posee 18.806.160 m de borde y una ED de 4,4752, y los *Cuerpos de agua* poseen 1.140.090 m de borde y una ED de 0,2713. En el área antropizada la *Tierra cultivada* tiene un

borde de 10.061.340 m y una ED de 2,3942 y el *Área urbana* posee 91.320 m de borde y una ED de 0,0217, teniendo los valores más bajos del paisaje, lo que guarda una relación directa a la superficie que ocupa esta clase.

Las métricas calculadas para la descripción del patrón de configuración en el área de estudio, correspondiente al año 2006, se presentan en el Cuadro 18. En lo que respecta a la forma, el *Bosque* posee un SHAPE_MN de 1,4343, teniendo el valor más bajo del paisaje, indicando que los parches de esta clase están muy cerca de la forma con la menor relación borde área, lo que implica un menor efecto borde, con similar comportamiento se presenta el *Área urbana* con un valor de 1,4594. La *Sabana* posee un SHAPE_MN de 1,6808, muy similar al valor de la *Sabana inundable* que es 1,6611. Los *Cuerpos de agua* poseen un SHAPE_MN de 3,0353, siendo el valor más alto del paisaje, esto se debe a la forma sinuosa y fina características de esta clase. Por último, la *Tierra cultivada* tiene un SHAPE_MN de 1,7927, lo que implica que la forma no está muy alejada de la forma regular.

Cuadro 18. Métricas de configuración del año 2006.

Clase	SHAPE_MN	PROX_MN	SPLIT	MESH (ha)
Bosque	1,4343	561.632,02	6,71	626.475,759
Sabana	1,6806	37.332,60	360,34	11.662,082
Sabana inundable	1,6611	20.068,33	617,96	6.800,334
Cuerpos de agua	3,0353	703,63	266.534,16	15,767
Tierra cultivada	1,7927	2.993,21	4.151,65	1.012,207
Área urbana	1,4594	3,68	34.019.016,48	0,124
Obs.: SHAPE_MN: Índice de forma media; PROX_MN: Índice de proximidad media; SPLIT: Índice de división; MESH: Tamaño efectivo de la malla.				

Fuente: elaboración propia (2017)

En lo que se refiere a aislamiento de los parches, el *Bosque* posee el valor más alto de PROX_MN en un radio de 500 m, 561.632,02, lo que implica que los parches están menos aislados, son grandes y están aglomerados. La *Sabana* y la *Sabana inundable* poseen valores similares de PROX_MN, con 37.332,60 y 20.068,33 respectivamente. Los *Cuerpos de agua* tienen un PROX_MN 703,63, la *Tierra cultivada* tiene un valor de 2.993,21 y, por último, el *Área urbana* posee el valor más bajo de PROX_MN de 3,68 lo que indica que esta clase es la que se encuentra más aislada en el paisaje.

Según los índices de fragmentación, el *Bosque* posee un MESH de 626.475,759 ha, lo que implica que la clase presenta grado de fragmentación media y cuenta aún con una conectividad entre los parches de la misma. La *Sabana* y la *Sabana inundable* vuelven a presentar valores similares, en este caso MESH, con 11.662,082 ha y 6.800,334 ha respectivamente. El valor de MESH de la clase *Cuerpos de agua* es de 15,767 ha lo que implica que la misma no se encuentra muy conectada. En las clases de coberturas antrópicas la *Tierra cultivada* tiene un valor de MESH de 1.012,207 ha y, por último, el *Área urbana* un valor de 0,124 ha, siendo la clase con más aislamiento.

4.2.4 Estructura del paisaje en el año 2016

Las métricas calculadas para la descripción del patrón de composición en el área de estudio del año 2016 se presentan en el Cuadro 19. La métrica que da una primera aproximación sobre la composición de un paisaje es el NP, del total de parches, 5.102 corresponden al *Bosque*, 2.029 a *Sabana*, 3.418 a *Sabana inundable* y 55 a *Cuerpos de agua*. El área antropizada consta de 3.153 parches de *Tierra cultivada* y 23 parches de *Área urbana*. Esto se ve reflejado en la métrica ED, en la clase que tiene mayor densidad, la del *Bosque* con 0,1214 parches por cada 100 ha, que es la clase con mayor número de parches, y la que posee menor número de parches es *Área urbana* con una densidad de 0,0005.

Cuadro 19. Métricas de composición del año 2016.

Clase	NP (#)	PD (NP/100 ha)	AREA_MN (ha)	AREA_SD	LPI (%)	TE (m)	ED (m/ha)
Bosque	5.102	0,1214	424,88	12.649,31	14,62	53.470.740	12,7241
Sabana	2.029	0,0483	249,28	4.855,77	3,95	15.158.670	3,6072
Sabana inundable	3.418	0,0813	130,62	2.747,61	3,60	18.391.170	4,3764
Cuerpos de agua	55	0,0013	446,19	1.002,78	0,16	1.140.090	0,2713
Tierra cultivada	3.153	0,0750	334,89	1.685,35	1,17	29.969.370	7,1316
Área urbana	23	0,0005	80,61	132,94	0,01	100.860	0,0240

Obs.: NP: Número de parches; PD: Densidad de parches; AREA_MN: Tamaño medio de parches; AREA_SD: Desviación estándar del tamaño de parches; LPI: Índice del parche más grande; TE: Borde total; ED: Densidad de bordes.

Fuente: elaboración propia (2017)

Con relación a la superficie ocupada por las diferentes clases, el *Bosque* posee la mayor superficie en el paisaje, pero no posee la mayor AREA_MN, la misma tiene un valor de 424,88 ha y un AREA_SD de 12.649,31, lo que implica que los parches

de esta clase tienen una variabilidad en tamaño. Además, el *Bosque* posee un LPI de 14,62%, que es el más alto del paisaje, lo que implica la dominancia de esta clase sobre las demás, siendo esta clase la matriz del paisaje.

La *Sabana* posee un AREA_MN de 249,28 ha, y un AREA_SD de 4.855,77, la *Sabana inundable* posee un AREA_MN de 130,62 ha, y un AREA_SD de 2.747,61, ambas con un comportamiento muy similar. Los *Cuerpos de agua* poseen un AREA_MN de 446,19 ha, y un AREA_SD de 1.002,78, siendo la cobertura natural con tamaños más homogéneos. Las áreas antrópicas poseen un AREA_MN de 334,89 ha, y un AREA_SD de 1.685,35 en *Tierra cultivada*, y un AREA_MN de 80,61 ha, y un AREA_SD de 132,94 en *Área urbana*, esta clase es la que posee los tamaños más cercanos a su media y este tamaño medio es el menor del paisaje, todas las demás clases tienen valores muy similares de AREA_MN.

En cuanto a los bordes, el *Bosque* posee 53.470.740 m de borde lo que implica una ED de 12,7241 metros de borde por hectárea de paisaje, en esta clase se presentan los valores más altos de borde, principalmente porque ocupa el área más grande, además implica un mayor efecto borde de esta clase. La *Sabana* posee 15.158.670 m de borde y una ED de 3,6072, la *Sabana inundable* posee 18.391.170 m de borde y una ED de 4,3764, y los *Cuerpos de agua* poseen 1.140.090 m de borde y una ED de 0,2713. En el área antropizada la *Tierra cultivada* tiene un borde de 29.969.370 m y una ED de 7,1316 y el *Área urbana* posee 100.860 m de borde y una ED de 0,0240, teniendo los valores más bajos del paisaje, lo que guarda una relación directa a la superficie que ocupa esta clase.

En el Cuadro 20 se presentan las métricas calculadas para la descripción del patrón de configuración en el área de estudio, correspondiente al año 2016. En lo que respecta a la forma, la *Tierra cultivada* posee un SHAPE_MN de 1,4521, teniendo el valor más bajo del paisaje, indicando que los parches de esta clase están muy cerca de la forma regular, lo que implica la menor relación borde - área, con similar comportamiento se presenta el *Área urbana* con un valor de 1,4769, siendo las áreas antropizadas las que poseen las menores relaciones de borde área. Muy cercano a la clase anterior se encuentra el valor del *Bosque* que es 1,5048. La *Sabana* posee un SHAPE_MN de 1,6629, muy similar al valor de la *Sabana inundable* que es 1,6611.

Por último, los *Cuerpos de agua* poseen un SHAPE_MN de 3,0353, siendo el valor más alto del paisaje, esto se debe a la forma sinuosa y fina características de esta clase.

Cuadro 20. Métricas de configuración del año 2016.

Clase	SHAPE_MN	PROX_MN	SPLIT	MESH (ha)
Bosque	1,5048	206.876,89	21,61	194.479,803
Sabana	1,6629	36.467,28	368,16	11.414,344
Sabana inundable	1,6553	17.016,30	682,84	6.154,223
Cuerpos de agua	3,0353	703,63	266.534,16	15,767
Tierra cultivada	1,4521	2.661,34	1.896,95	2.215,309
Área urbana	1,4769	4,69	3.176.554,33	0,132
Obs.: SHAPE_MN: Índice de forma media; PROX_MN: Índice de proximidad media; SPLIT: Índice de división; MESH: Tamaño efectivo de la malla.				

Fuente: elaboración propia (2017)

En lo que se refiere a aislamiento de los parches, el *Bosque* posee el valor más alto de PROX_MN, 206.876,89, lo que implica que los parches de la clase están poco aislados, son grandes y están aglomerados. La *Sabana* y la *Sabana inundable* poseen valores similares de PROX_MN, con 36.467,28 y 17.016,30 respectivamente. Los *Cuerpos de agua* tienen un PROX_MN 703,63, la *Tierra cultivada* tiene un valor de 2.661,34 y, por último, el *Área urbana* posee el valor más bajo de PROX_MN de 4,69 lo que indica que esta clase es la que se encuentra más aislada en el paisaje.

Según los índices de fragmentación, el *Bosque* posee un MESH de 194.479,803 ha, lo que implica que la clase posee un grado de fragmentación considerable y cuenta con menor conectividad. La *Sabana* y la *Sabana inundable* vuelven a presentar valores similares, en este caso MESH, con 11.414,344 ha y 6.154,223 ha respectivamente. El valor de MESH de la clase *Cuerpos de agua* es de 15,767 ha lo que implica que las mismas no se encuentran muy conectadas. En las clases de coberturas antrópicas la *Tierra cultivada* tiene un valor de MESH de 2.215,309 ha y, por último, el *Área urbana* un valor de 0,132 ha, siendo la clase con más aislamiento.

4.3 Evolución del paisaje en el periodo de estudio

4.3.1 Índices de composición

Para poder comprender la evolución del paisaje en el área de estudio, el primer parámetro a ser analizado y comparado en el periodo de estudio es la Superficie de clase (CA), que en la Figura 19 se puede observar su evolución. En la misma se puede observar que dos clases la de *Bosque* y la de *Tierra cultivada* son las que sufren las mayores variaciones.

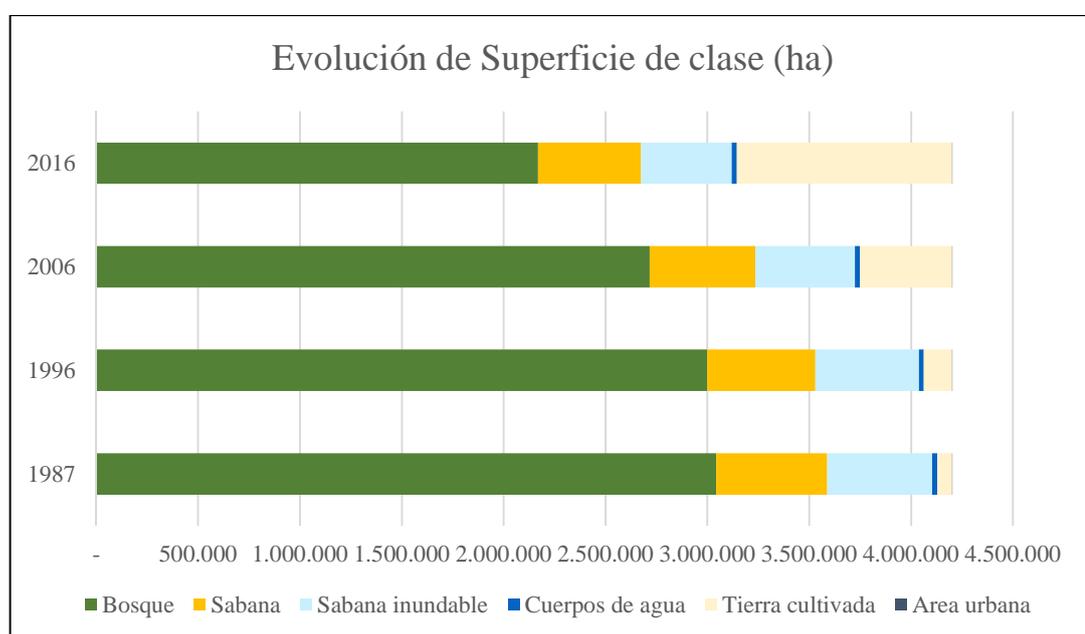


Figura 19. Evolución de la superficie de clase en el periodo de estudio (Fuente elaboración propia, 2017)

El *Bosque* tuvo una tasa de pérdida de 4.977,48 ha/año en el periodo 1987-1996, que se incrementó a 28.292,06 ha/año en el periodo 1996-2006 y por último volvió a incrementarse a 54.845,97 ha/año en el periodo 2006 – 2016, lo que se puede observar en la Figura 20. Mismo comportamiento, pero de sentido contrario tuvo la *Tierra cultivada* que aumentó en el periodo 1987-1996 en 7.315,67 ha/año, en el periodo 1996-2006 en 31.300,22 ha/año y por último en el periodo 2006 – 2016 en 60.439,77 ha/año, lo que se observa en la Figura 21.

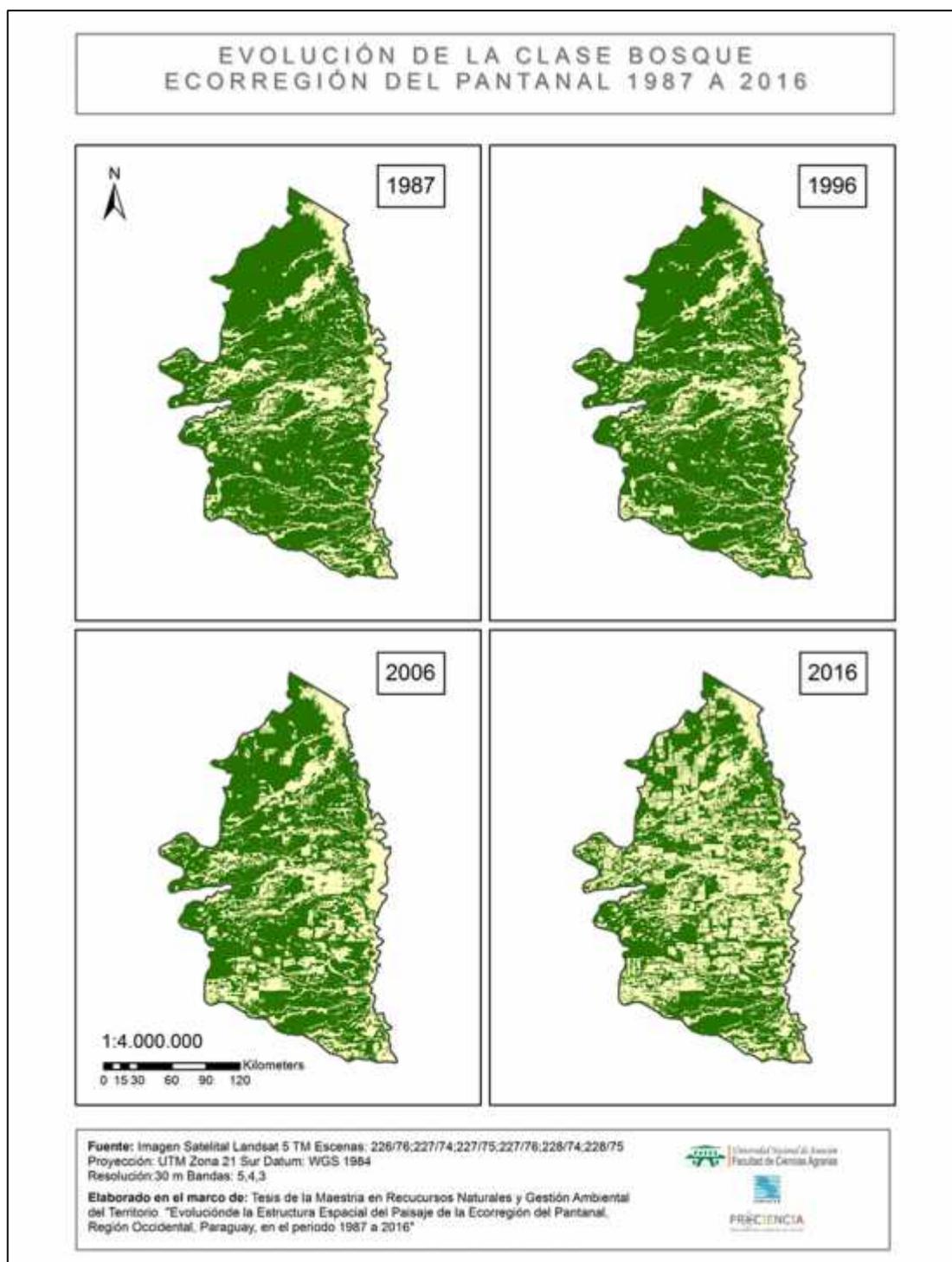


Figura 20. Evolución de la clase Bosque en el periodo de estudio (Fuente elaboración propia, 2017)

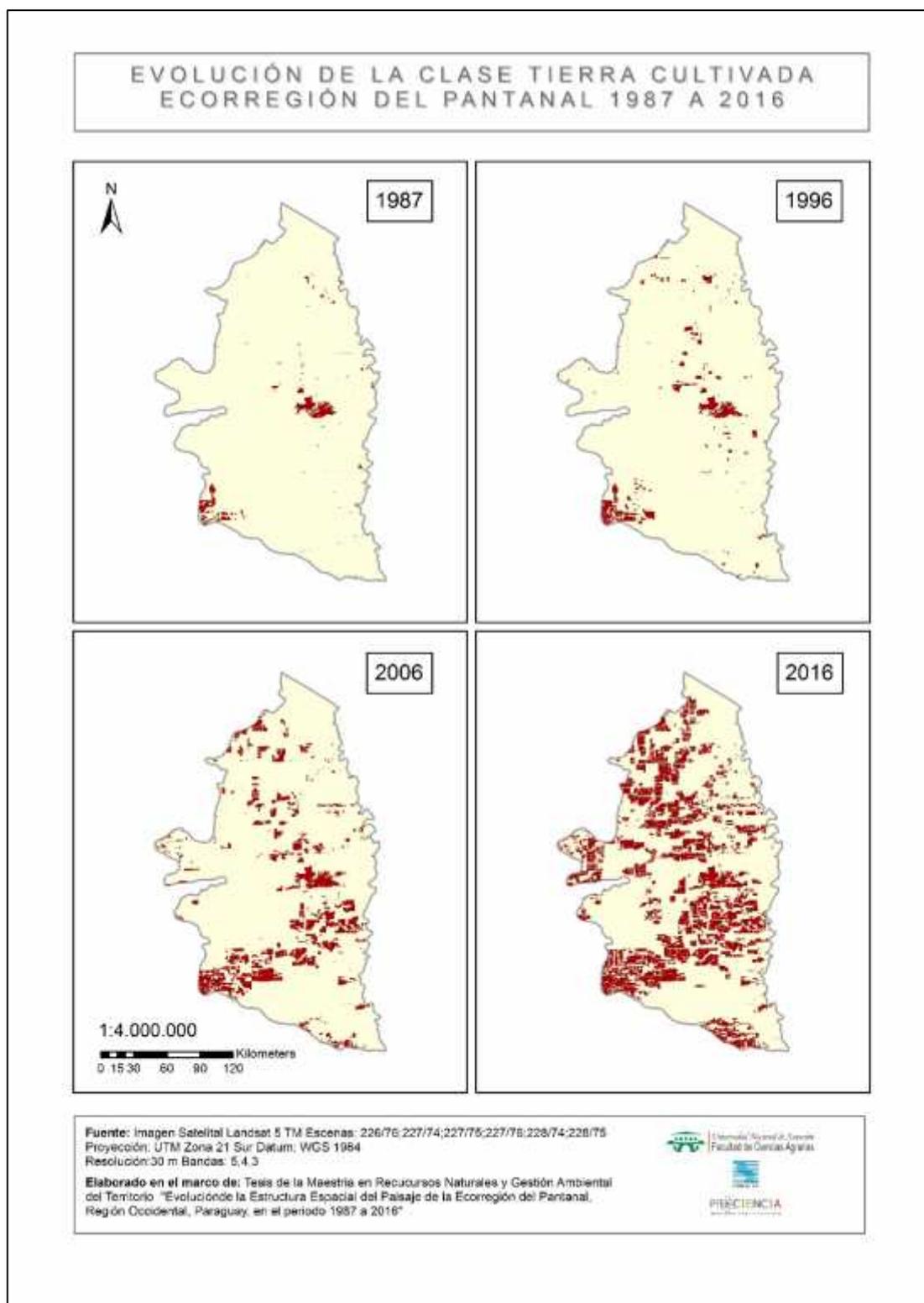


Figura 21. Evolución de la clase Tierra cultivada en el periodo de estudio (Fuente elaboración propia, 2017)

Esta tendencia al aumento de las tierras cultivadas puede deberse a lo mencionado por Vázquez (2007) que en la región Occidental del Paraguay, se presenta un proceso de intensas modificaciones espaciales, debido en mayor medida a la gran dinámica económica y a la diversificación de sus actores, siendo un territorio activo y dinámico.

Esta expansión de la clase *Tierra cultivada* se puede notar en la Figura 22, como fue desplazando las demás clases naturales del paisaje. Mediante la misma se puede observar que la expansión de esta clase se dio en mayor grado sobre la clase *Bosque*, lo que implica que el mayor factor de pérdida de bosque y por consiguiente su fragmentación fue el cambio de uso de la tierra. En las demás clases se nota que en el último periodo se presentó un aumento en el cambio de uso de *Sabana inundable*, esto puede deberse a factores tanto económicos como tecnológicos, que hacen que tierras más abnegadas puedan ser productivas.

Con ello se puede inferir que el factor socioeconómico es el factor principal del cambio en la estructura del paisaje, que fue modificando las coberturas naturales del mismo, para dar paso a las coberturas y usos antrópicos. El mayor sector que interviene en el área de estudio es el de producción ganadera. Este sector tuvo un crecimiento acelerado por la apertura de nuevos mercados internacionales y de la elevación de la calidad del producto nacional. Este crecimiento ejerció una presión importante en los recursos naturales en el área de estudio como se puede notar con los resultados de esta investigación.

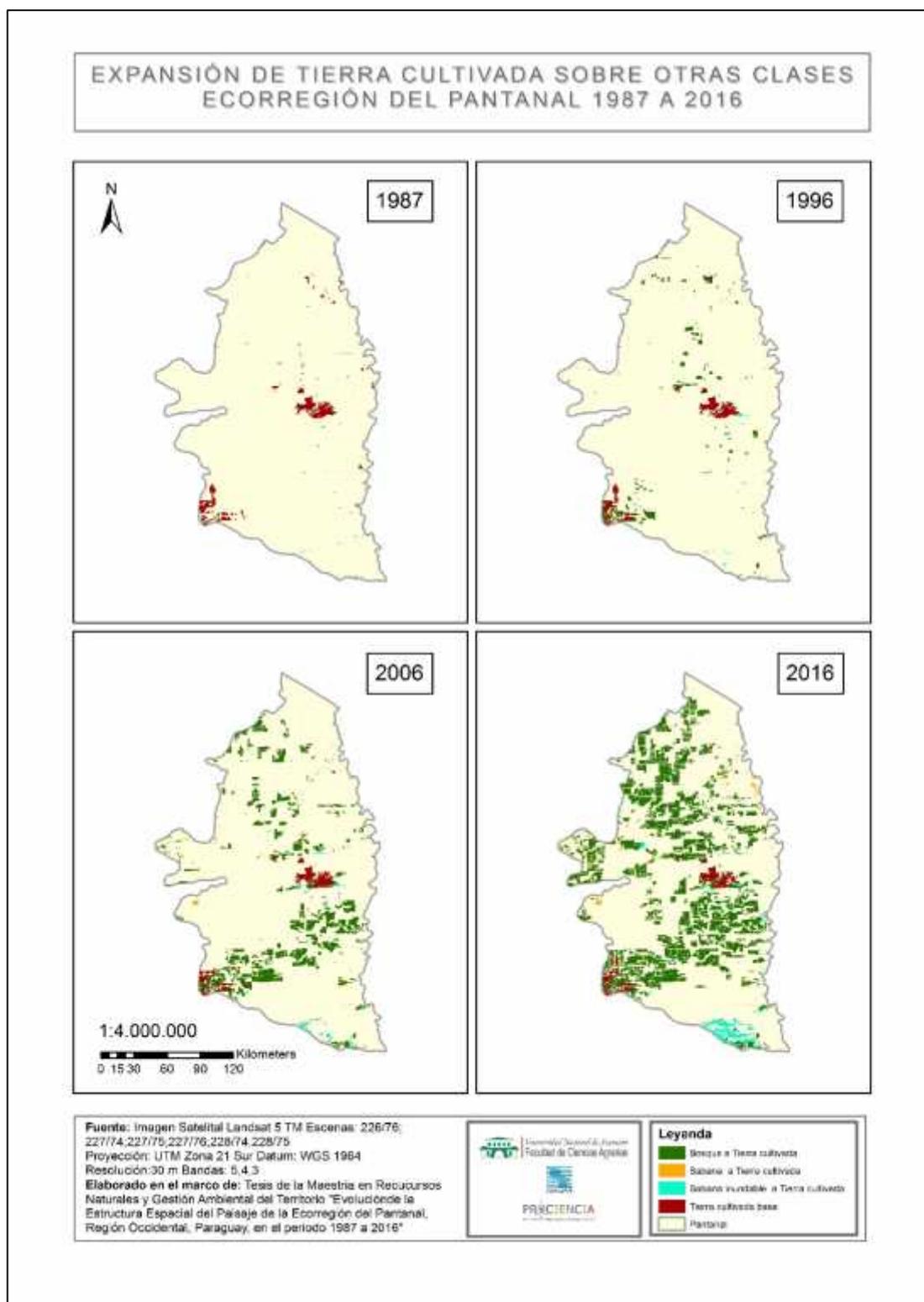


Figura 22. Expansión de la Tierra cultivada sobre otras clases (Fuente elaboración propia, 2017)

En lo que respecta a número de parches y su consiguiente densidad de parche, se puede observar en la Figura 23, cómo vuelven las clases *Bosque* y la de *Tierra cultivada* a presentar las mayores variaciones. La clase *Bosque* presenta un aumento tanto de números de parche como de densidad de parches del 2,21% en el periodo 1987-1996, del 7,94% en el periodo 1996-2006, y el mayor aumento en el periodo 2006 – 2016 del 24,65%, teniendo un aumento total del 37,52%, lo que demuestra que la clase se encuentra en un proceso de fragmentación que se vio acelerado en el periodo 2006 – 2016.

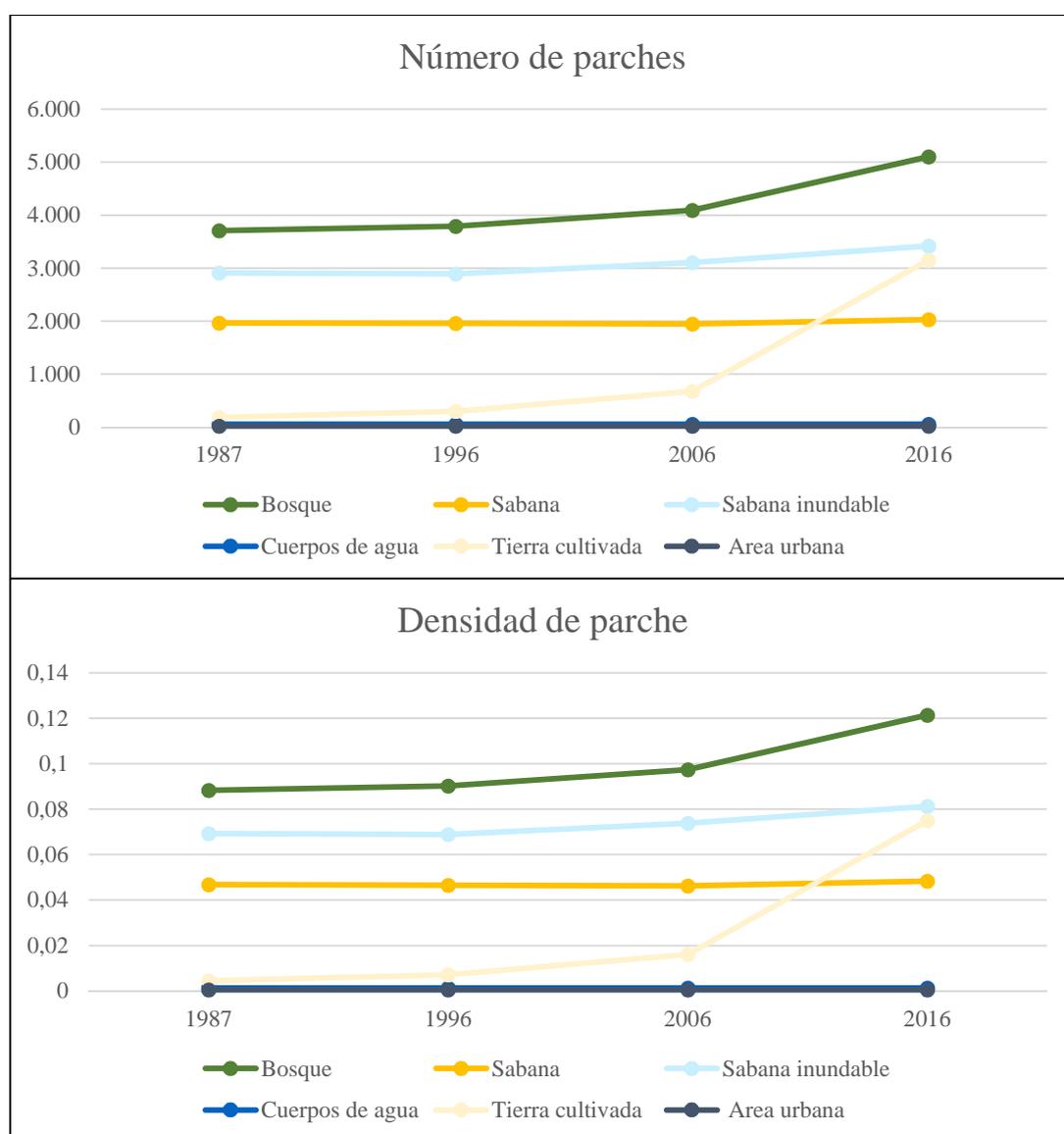


Figura 23. Evolución de los números de parche y de la densidad de parches (Fuente elaboración propia, 2017)

La clase *Tierra cultivada* presenta un aumento tanto de números de parche como de densidad de parches del 59,04% en el periodo 1987-1996, del 125,75% en el periodo 1996-2006, y el mayor aumento en el periodo 2006 – 2016 del 367,11%, teniendo un aumento total del 1577,13%, lo que demuestra que la clase se encuentra en un proceso de expansión que se vio acelerado en el periodo 2006 – 2016.

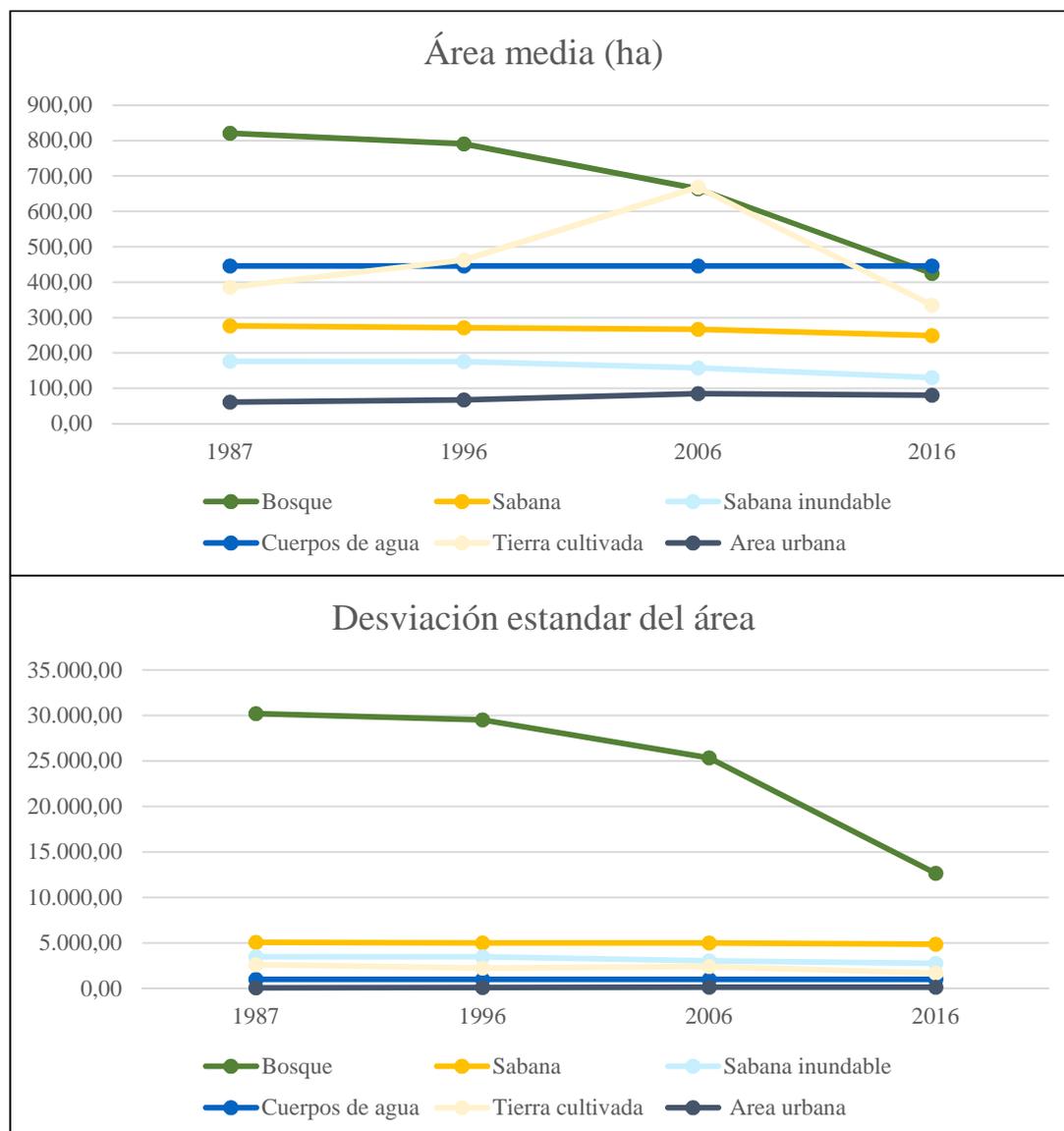


Figura 24. Evolución del área media y de la desviación estándar (Fuente elaboración propia, 2017)

La clase *Bosque* es la que presenta mayor variación en lo que respecta al área media, con una reducción del 48,22%, lo que implica que el proceso de fragmentación está generando parches de bosque cada vez más chicos, como se puede observar en la Figura 24. Además, se puede observar una disminución en 58,12% de la variabilidad

del tamaño, lo que implica que los parches de bosque se van homogeneizando. Otra clase que sufrió una disminución en su área media es *Sabana inundable*, que disminuyó en 26,18%, lo que implica que la misma posee un grado de fragmentación al igual que el bosque.

También en la Figura 24, se puede notar que el área media del *Área urbana*, aumenta en 30,60%, lo que implica que los polos urbanos tuvieron un pequeño crecimiento. Por último, *Tierra cultivada* tuvo una variación diferente entre los periodos de estudio, con un aumento del 19,93% en el periodo 1987-1996, un aumento del 44,44% en el periodo 1996-2006, y por último una disminución del 49,93% en el periodo 2006 – 2016, lo que implica que en este último periodo fueron habilitados parches de tierra cultivada de menor tamaño.

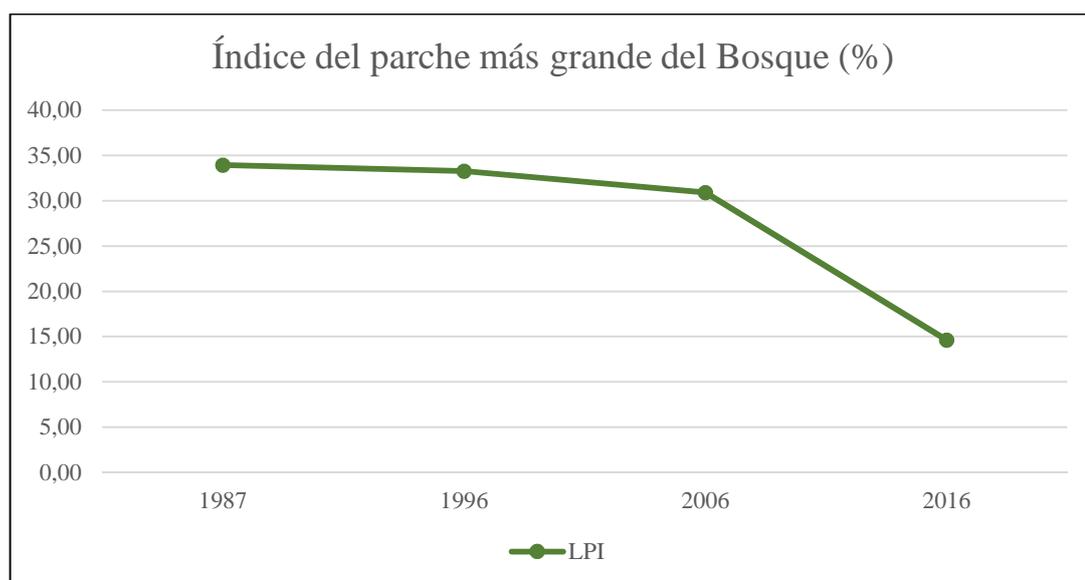


Figura 25. Evolución del LPI del Bosque (Fuente elaboración propia, 2017)

En lo que respecta a dominancia, se obtuvo que la clase Bosque, posee la dominancia en todo el periodo de estudio. Pero se demuestra que esta dominancia va en descenso, presentado en la Figura 25, con una disminución del 56,21% del índice del parche más grande. Esto ratifica el proceso de fragmentación de esta clase, disminuyendo en tamaño del parche más grande dominante del paisaje, de igual forma este análisis indica que la clase *Bosque* se mantuvo como matriz del paisaje en todo el periodo de estudio.

Entonces, teniendo en cuenta los índices presentados en este apartado el *Bosque*, en el periodo de estudio, perdió superficie, la superficie restante fue dividida en mayor cantidad de parches, los mismos con un mayor grado de aislamiento que en el año inicial de la investigación, y con ello disminuyó la superficie ocupada por el parche de mayor tamaño. Además, estos parches son más pequeños y más homogéneos, aumentando el efecto borde de la clase.

La clase *Tierra cultivada*, ganó en superficie, para ello aumentó en número de parches, habilitando nuevas superficies, con tamaños medios cada vez más pequeños y un poco más homogéneos.

4.3.1 Índices de configuración

Para analizar cómo evolucionó la configuración del paisaje, en el área de estudio, primero se menciona la evolución de los índices de forma media, como se puede observar en la Figura 26. Las clases que sufrieron mayores variaciones son las clases *Bosque* y *Tierra cultivada*, las demás clases variaron en menos del 1% en todo el periodo de estudio.

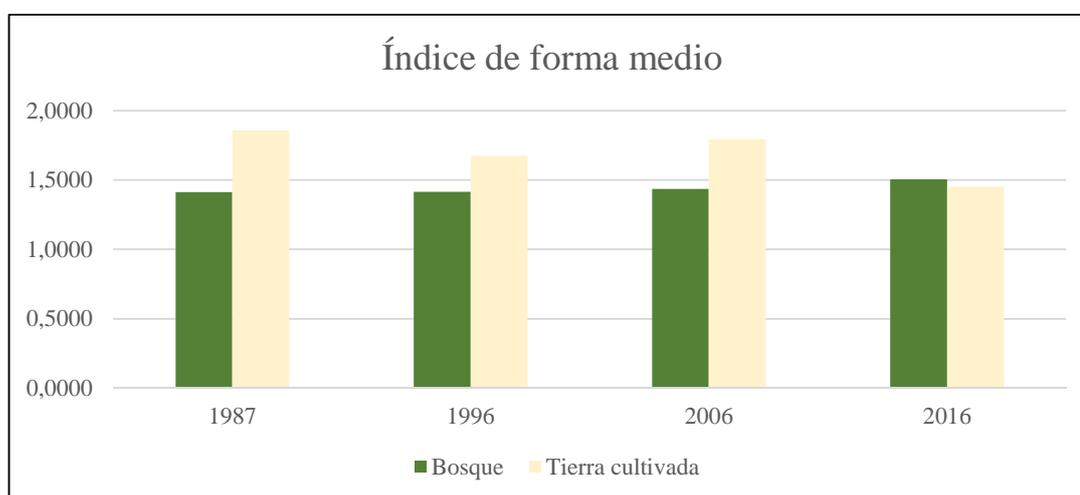


Figura 26. Evolución del índice de forma medio en el periodo de estudio (Fuente elaboración propia, 2017)

El *Bosque* tuvo un aumento del 6,50% lo que implica que en esta clase hubo un aumento del efecto borde por el proceso de fragmentación. La *Tierra cultivada* presentó una disminución del 21,80%, lo que implica que las nuevas habilitaciones fueron cada vez más regulares, con formas donde se fueron disminuyendo la relación borde – área.

En comparación a otros estudios en el país, la clase *Bosque* presenta valores más altos en un estudio de un área de la región Oriental que en los encontrados en la presente investigación, Da Ponte et al. (2017) encontraron valores de 2,7 a 2,8 entre los años 2003 y 2013 en un área de estudio en el Bosque Atlántico del Alto Paraná. Lo que muestra mayor grado de conservación en los bosques del área de estudio en la región Occidental.

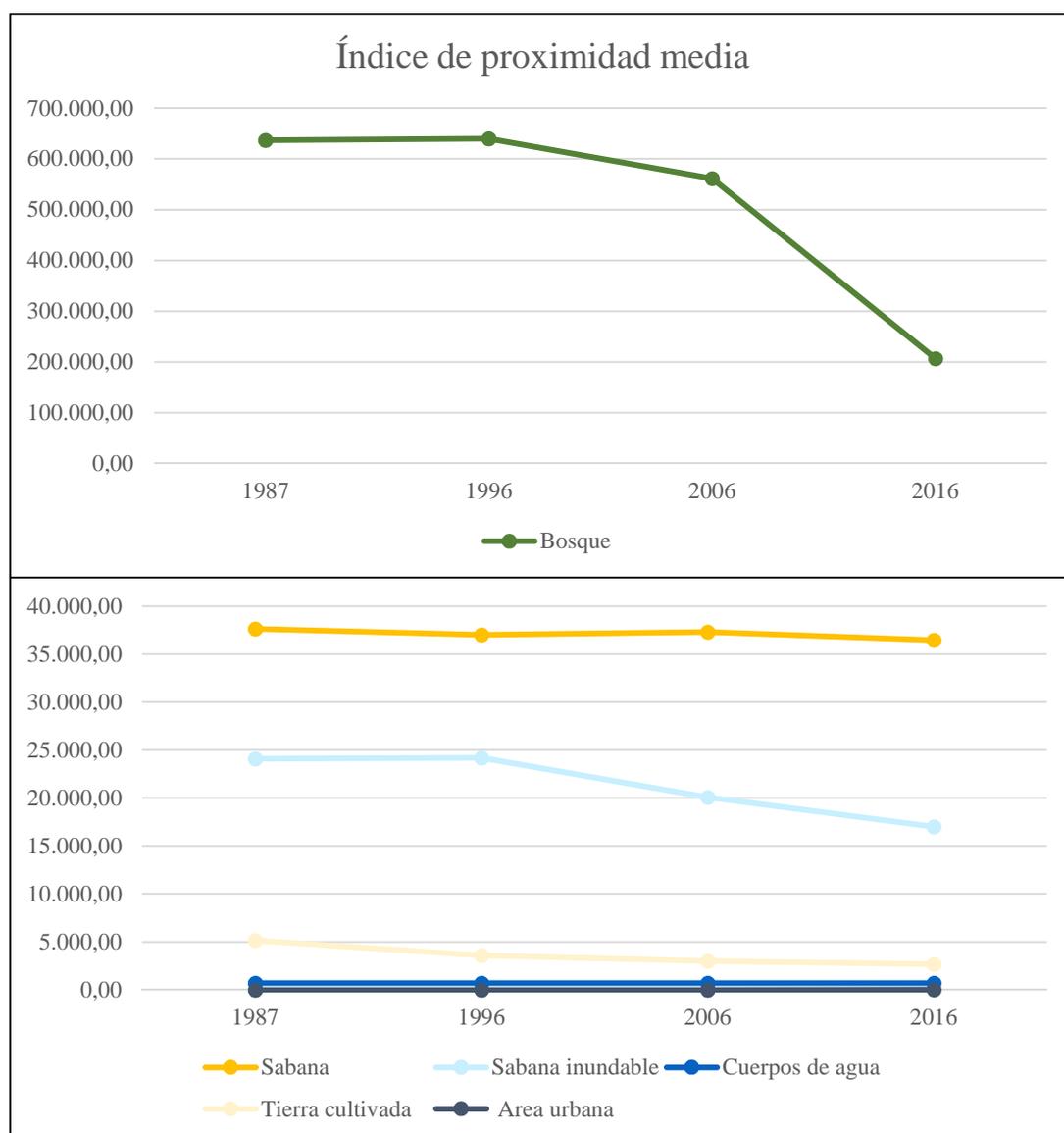


Figura 27. Evolución del índice de proximidad media en el periodo de estudio (Fuente elaboración propia, 2017)

En lo que respecta al índice de proximidad o de aislamiento de las clases, presentado en la Figura 27, el *Área urbana* tiene la mayor variación porcentual en los periodos de estudio, llegando a un 181,18% de aumento, pero al tener un índice tan

bajo en los cuatro años de estudio, esta variación no reviste importancia, y es la clase más aislada del paisaje.

El *Bosque*, presenta una disminución, en el índice de proximidad, del 67,50% dando a entender, que el proceso de fragmentación en el área de estudio provoca un aumento en el aislamiento de los remanentes boscosos. Un efecto de la reducción en el índice de proximidad, según Gustafson y Parker (1994), puede resultar en el decrecimiento del número de especies especialistas, porque las mismas requieren áreas grandes y próximas para moverse entre ciertos tipos de coberturas, y no encontrarían un hábitat óptimo si hay poca conectividad estructural y áreas pequeñas de parche.

Estos valores encontrados para la clase *Bosque* vuelven a ser más altos que los encontrados por Da Ponte et al. (2017), en un área de estudio en la región Oriental del país. En las mismas varían entre 11,4 a 8.268 metros, muy inferiores a los encontrados en la presente investigación. Esta variación puede deberse a que las áreas de estudio son muy distintas en tamaño y que los estados de conservación de igual manera son distintos.

La clase *Tierra cultivada* tiene una disminución del 48,23% en el índice de proximidad, en el periodo de estudio, lo que implica que esta clase se fue expandiendo a lugares más alejados con el tiempo. Por último, otra clase que tuvo variaciones importantes, en este índice, es *Sabana inundable*, que tiene disminución del 29,40%, lo que implica que se presenta un proceso de fragmentación y principios de aislamiento de esta clase.

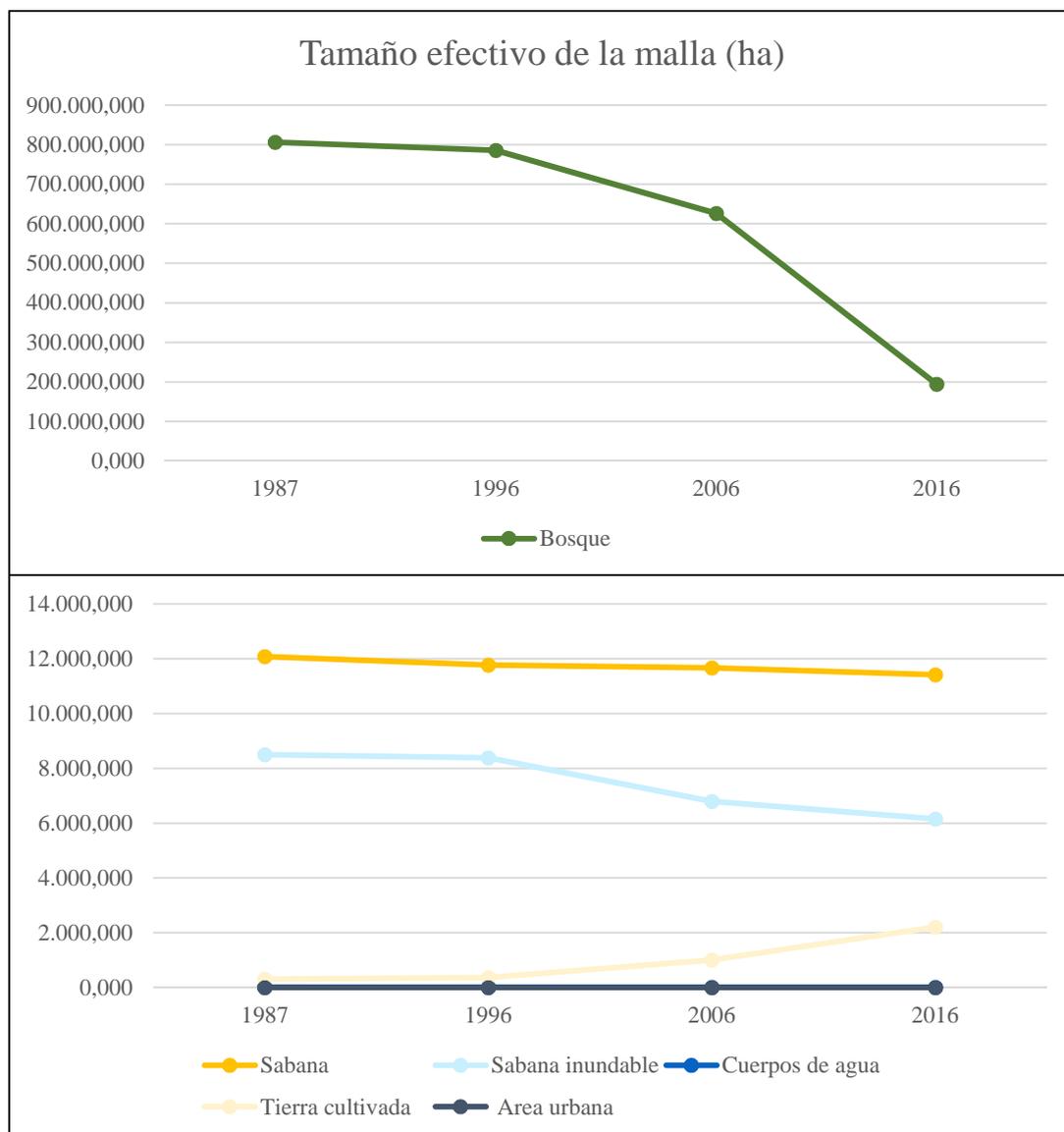


Figura 28. Evolución del tamaño efectivo de la malla en el periodo de estudio (Fuente elaboración propia, 2017)

El último índice que fue analizado es el de tamaño efectivo de la malla, que es presentado en la Figura 28. La clase *Tierra cultivada* presenta la mayor variación porcentual en los periodos de estudio, llegando a un aumento del 609,37%, lo que demuestra la expansión de la clase en el paisaje, en el transcurso del tiempo. Los mayores aumentos se dieron en los dos últimos periodos de estudio. El *Área urbana* presenta una variación porcentual en los periodos de estudio, llegando a un aumento del 132,11%, pero al tener un tamaño tan bajo en los cuatro años de estudio, esta variación no reviste importancia, y es la clase con menos conectividad del paisaje.

El *Bosque*, presentó una disminución del 75,88%, lo que implica el aumento del grado de fragmentación de esta clase. Analizando su evolución por periodo se tiene una disminución del 2,52% en el periodo 1987-1996, del 20,28% en el periodo 1996-2006, y la mayor disminución en el periodo 2006 – 2016 del 68,96%, lo que demuestra que el proceso de fragmentación fue más acelerado en el último periodo de estudio.

Entonces, teniendo en cuenta los índices presentados en este apartado el *Bosque*, en el periodo de estudio, sufrió un proceso de fragmentación que generó que las formas de los parches tiendan a aumentar el efecto borde, los remantes boscosos estén menos próximos y exista menos probabilidades que dos puntos aleatorios en la clase estén directamente conectados. En la *Tierra cultivada*, la forma se fue acercando a la ideal, a pesar que aumentaron la cantidad de parches se encontró que los mismos presentaban menor proximidad, lo que implica que la expansión se dio de manera a abarcar todos los sectores del área de estudio, por último, aumentó la probabilidad que dos puntos aleatorios en la clase estén directamente conectados.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En la ecorregión del Pantanal de la región Occidental del Paraguay se presentaron modificaciones en la estructura espacial del paisaje dentro de los tres periodos de la investigación, comprendidos entre los años 1987 y 2016. Las modificaciones encontradas tuvieron comportamientos distintos entre los periodos de estudio, presentando las mayores variaciones en los últimos años, incrementándose de esta manera a medida que avanzaban los años.

Esas variaciones tuvieron efectos importantes principalmente en el *Bosque*, siendo la clase que presentó las mayores pérdidas en superficie a lo largo de los años de estudio, teniendo su mayor índice de pérdida de superficie en el último periodo. A pesar de ello esta clase representó a la matriz del paisaje en los 4 años de estudio, ocupando el mayor parche de la clase el 33,9% en el año 1987, y el 14,6% en el año 2016. En esta clase se presentó un proceso de fragmentación, aumentando el efecto borde, disminuyendo el área media, aumentando el aislamiento y disminuyendo la conectividad de los remanentes boscosos.

Otra clase que presentó variaciones importantes fue *Tierra cultivada*, presentando un proceso de expansión, siendo la clase con mayor crecimiento de superficie, teniendo el pico más alto en el último periodo. Este crecimiento se dio principalmente sobre la cobertura natural *Bosque*, siendo este cambio de uso el principal causante del proceso de fragmentación del bosque. Además, esta clase presentó una regularización de la forma a medida avanzaban los años, disminuyendo el área media y aumentando la conectividad de los parches de esta clase.

Las clases de *Sabana* y *Sabana inundable*, no presentaron variaciones importantes, siendo entre ellas la *Sabana inundable* la que presentó mayor disminución de superficie, siendo ocupadas las mismas por *Tierras cultivadas*. Estos niveles de variaciones se dieron principalmente por la limitante del estudio, por no poder precisar si estas coberturas estaban bajo algún uso agropecuario o no, y si este uso fue evolucionando.

La clase *Área urbana*, tuvo un leve crecimiento durante los años de estudio. Esto demuestra el bajo crecimiento poblacional del área, principalmente por las malas condiciones de las vías de comunicación y de la cobertura de los servicios básicos, que hacen poco atractivo el desarrollo habitacional en polos urbanos del área de estudio.

Con ello se puede concluir que la ecorregión del Pantanal de la región Occidental del Paraguay, presenta un proceso de fragmentación del bosque, que fue acelerado en la última década. Además, que este proceso es un efecto del crecimiento de las zonas antrópicas en el área. Este nivel de análisis espacial y las métricas del paisaje utilizadas en la investigación, representan elementos metodológicos y técnicos útiles para estudiar la historia del paisaje, pero necesitan apoyarse en métricas que respondan sobre la funcionalidad de los paisajes.

Así mismo, se puede concluir que, a pesar del avance de la tierra cultivada y del proceso de fragmentación del bosque, este último sigue teniendo dominancia sobre el paisaje del área de estudio. Esto indica que el grado de fragmentación del mismo aún no es muy elevado, pero que si continúa la tendencia actual este índice va a ser superior y la dominancia puede pasar a otra clase del paisaje.

Teniendo en cuenta lo expuesto, con el análisis de las métricas de paisaje seleccionadas, se pudo conocer la evolución cuantitativa de la composición y configuración del paisaje de la ecorregión del Pantanal, de la región Occidental del Paraguay. Además de conocer los efectos de esta evolución sobre la estructura del paisaje.

5.2 Recomendaciones

Para identificar medidas de conservación, que involucre detener o revertir esta tendencia de modificación del hábitat, se recomienda ampliar la investigación, principalmente a lo que hace a la funcionalidad del paisaje, para corroborar los efectos de este proceso de fragmentación en la biodiversidad de la ecorregión. Porque especies de animales utilizan el hábitat de diferente manera, también experimentan el paisaje de forma diferente, un paisaje que puede ser considerado estructuralmente fragmentado, puede ser funcionalmente apto para otras especies. Por lo tanto, es necesario conocer la funcionalidad de los mismos.

Abocar los esfuerzos de conservación en el parche más grande del *Bosque*, estudiar su comportamiento, su conectividad y su funcionalidad. Establecer medidas de conservación a través de un manejo consiente de estos parámetros, en busca de la sostenibilidad de este parche más grande de la ecorregión.

Teniendo en cuenta los resultados de la investigación, que indicaron que la clase *Bosque* fue en todos los años de estudio la matriz del paisaje, se recomienda actualizar los límites de la ecorregión del Pantanal. Para ello es importante ubicar espacialmente las zonas de formaciones vegetales descritas por Mereles et al. (2013), que forman parte del sustento técnico de la resolución que delimita las ecorregiones.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A. 2016. Análisis de la conectividad ecológica a nivel estructural de la ciudad de Asunción, Paraguay. Tesis Ing. Ambiental. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. 75p.
- Aguilera, F. 2010. Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. *Anales de Geografía* 30 (2): 9-29.
- Arévalos, F; Báez, M; Ortiz, E; Yanosky, A. 2015. Monitoreo de los cambios de uso de la tierra en el Gran Chaco. *Paraquaria Natural* 3(2): 6-11.
- Asociación Guyra Paraguay. 2016. Cambios de uso en el Chaco Paraguayo 2011-2016 (Mapas). Paraguay. Formato shapefile
- Bertrand G. 1975. Pour une histoireécologique de la France rurale. *In: Histoire de la France rurale*, v.1, pp. 35-116.
- Brítos, A; Barchuk, A. 2008. Cambios en la cobertura y en el uso de la tierra en dos sitios del Chaco Árido del noroeste de Córdoba, Argentina. *Revista Agriscientia* 25 (2): 99-110.
- Burel, F; Baudry, J. 2002. *Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones*. (S. Suárez, Trad.) Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Correa, C; Mendoza, M; López, E. 2014. Análisis del cambio en la conectividad estructural del paisaje (1975-2008) de la cuenca del lago Cuitzeo, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande* (14): 7-23.
- Da Ponte, E; Roch, M; Leinenkugel, P; Dech, S. 2017. Paraguay's Atlantic Forest cover loss - Satellite-based change detection and fragmentation analysis between 2003 and 2013. *Applied Geography* (79): 37 - 49
- Decreto N° 7031, 2017. Por el cual se reglamenta el artículo 42 de la Ley N°422/73 "Forestal". Paraguay. 17 abr.

- DGEEC (Dirección General de Encuestas Estadísticas y Censos). 2002. Atlas Censal del Paraguay. Asunción, PY. 143 p.
- Durán, E; Galicia, L; Pérez García, E; Zambrano, L. 2002. El paisaje en ecología. *Ciencias* 67, julio-septiembre, 44-50
- FAO, 2005. Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra: Conceptos de Clasificación y manual para el usuario (en línea). Consultado 16 oct 2016. Disponible en http://www.glcnet.org/downloads/pub/docs/manuals/lccs/LCCS2-manual_270208_es.pdf
- Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) y Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI). 2013. Mapa de cobertura de la tierra 2011. San Lorenzo, PY. Formato shapefile
- Farina, A. 2006. Principles and methods in Landscape ecology: toward a science of landscape. Springer. Dordrecht. 441 p.
- Forman, R. 1995. Some general principles of landscape and regional ecology, in *Landscape Ecology* (10): 133-42.
- Forman, R; Godron, M. 1986. Landscape Ecology. John Wiley and Sons: Nueva York, US. 640p.
- Ginzburg, R; Torella, S; Adamoli, J. 2007. Reducción y fragmentación del bosque de tres quebrachos en el sudoeste de la provincia del Chaco. *In: Mattheucci, D. 2007. Panorama de la Ecología de Paisajes en Argentina y países sudamericanos. Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente (GEPAMA) – Secretaría de Ciencia y Técnica (SECYT). 53-63p.*
- Gurrutxaga, M; Lozano, P. 2008. Ecología del paisaje: un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. *Estudios Geográficos* 1(265): 519-543.
- Gustafson, E.J. 1998. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art. *Ecosystems*. (1): 143-156. *Ciencia Tecnología y Salud* 2(2): 149-156.
- Gustafson, E.J., Parker, G.R. 1994. Using an index of habitat patch proximity for landscape design. *Landscape Urban Planning* 29, 117–130.
- Grassi, B; Pio Barrios, F; Coronel, G; Paredes, JL; Centurion, C; Báez, J. 2005. Atlas Climático del Chaco Paraguayo. Fundación para el Desarrollo Sustentable del Chaco, USAID. Asunción, Paraguay. 92p

- Li, H; Reymods, J.F. 1994. A new contagion index to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape ecology* 8: p. 155 – 162.
- Matteucci, D. 2012. El rol de la ecología de paisajes en la planificación y gestión del espacio. *Revista Fronteras* 11(11): 1-12.
- Matteucci, D. 2006. Ecología de paisajes: ¿qué es hoy en día?. *Revista Fronteras* 5(5): p. 1-7.
- Mateucci, D; Silva, M. 2005. Selección de métricas de configuración espacial para la regionalización de un territorio antropizado, *GeoFocus*, 5: 180 - 202
- Matteucci, S. D. 1998. La cuantificación de la estructura del paisaje, en Matteucci S. D. y Buzai G. D. (Eds.): *Sistemas ambientales complejos: Herramientas de análisis espacial*. Universidad de Buenos Aires, Eudeba. 271-291.
- McGarigal, K; Marks, B. 1995. FRAGSTATS: A spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Oregon State University: Corvallis, US. 141p
- Mereles, F; Cartes, J; Clay, R; Caccialli, P; Paradedá, C; Rodas, O., Yanosky, A. 2013. Análisis cualitativo para la definición de las ecorregiones de Paraguay occidental. *Paraquaria Natural* 1(2): 12-20
- Metzger, J. 2012. Estructura da paisagem: o uso adequado de métricas. In Cullen, L; Rudran, R; Valladares-Padua, C (org.) *Métodos de estudos em biología da conservacao y manejo da vida silvestre*. 2d ed. Universidade Federal do Paraná. 423-453.
- Moizo Marrubio, P. (2004): “La percepción remota y la tecnología SIG: una aplicación en Ecología de Paisaje”, *GeoFocus (Artículos)*, nº 4. 1-24
- Morello, J; Pengue, W; Rodriguez, A. 2007. Un siglo de cambios en el diseño del paisaje. In: Matteucci, D. 2007. *Panorama de la Ecología de Paisajes en Argentina y países sudamericanos*. Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente (GEPAMA) – Secretaría de Ciencia y Técnica (SECYT). 53 – 63.
- Naumann, M. 2006. *Atlas del Chan Chaco Sudamericano*. Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). Buenos Aires, AR. 96p
- Orians, G. H; Groom, M. J. 2006. Global Biodiversity. Patterns and Processes in: Groom, M. J., Meffe, G.K; Carroll, C.R. (Eds.) *Principles of Conservation Biology*. 3rd. Edition. 27-62.
- Ortega, M. 2007. Análisis de la estructura del Paisaje en la VI Región del Libertador General Bernardo O’higgins. Tesis Ing. For. Universidad Austral de Chile. 71p

- Primack, R; Rodrigues, E. 2002. Biología da conservacao. Editora Vida. Paraná, BR. 327 p.
- Red de Importadores y Exportadores (Rediex). 2009. Atlas Geográfico del Chaco paraguayo. Secretaría del Ambiente (SEAM), Instituto Federal de Geología y Minería de la República Federal de Alemania (BGR): Asunción, PY. 52p
- Risser, PG; Karr, JR; Forman, RTT. 1984. Landscape ecology: directions and approaches. Illinois Natural History Survey Special Publ. 2, Champaign. 18p
- Rodas, O; Sayre R; Grosse A; y Mosseso J. 2006. Análisis de vacíos de conservación de ecosistemas del Paraguay. Asociación Guyra Paraguay, Servicio Geológico de los Estados Unidos, Infraestructura Nacional de Información Geográfica y Programa Nacional de Análisis de Vacíos del Servicio Geológico de los Estados Unidos. GAP Analysis Boletín Nro. 14.
- Schonewald-Cox, C; Buechner, M. 1992. Park protection and public roads. In Fiedler, P; Jain, S. (eds) Conservation biology: the theory and practice of nature conservation, preservation and management. Pag. 373 – 396. Chapman and Hall, New York, USA.
- Shafer, C. 1990. Nature reserves: island theory and conservation practice. Smithsonian Institution press. Whashington, USA. 208p
- The Nature Conservancy. 2005. Evaluación Ecorregional del Gran Chaco Americano / Gran Chaco Americano Ecological Assessment. The Nature Conservancy (TNC), Fundación Vida Silvestre Argentina (FVSA), Fundación para el Desarrollo Sustentable del Chaco (desde el Chaco) y WildlifeConservationSociety Bolivia (WCS): Buenos Aires, AR. 28p
- Torella, S, Ginzburg, R; Adamoli, J. 2007. Expansión agropecuaria en el Chaco Argentino. *In*: Matteucci, D. 2007. Panorama de la Ecología de Paisajes en Argentina y países sudamericanos. Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente (GEPAMA) – Secretaría de Ciencia y Técnica (SECYT). 53-63p.
- Turner, MG. 1989. Landscape Ecology: the effect of pattern on process. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics (20): 171-197.
- Turner, M. G; O'Neill, R. V; Garner, R. H; Milne, B. T. 1989. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. Landscape Ecology (3):153-162.
- Vázquez, F. 2007. Las reconfiguraciones territoriales del Chaco paraguayo: entre espacio nacional y espacio mundial. Observatorio de la Economía Latinoamericana, N° (88).

- Vergara, G. 2013. Análisis estructural y funcional del paisaje en la comuna de Pucón, Región de La Araucanía, Chile. Tesis Ing. Geog. Universidad Católica de Chile. 119p.
- Vila Subiros, J; Varga, D; Llausás, P; Ribas A. 2006. Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje: una interpretación desde la geografía. Documento Analítico Geográfico. (48): 151-166.
- Wilcove, D; McLellan, C; Dobson, A. 1986. Habitat fragmentation in the temperate zone. *In*: Soulé, M (ed). Biodiversity: culture, conservation and ecodevelopment. Pag 86 – 10. Westview press, Colorado, USA.
- Wu, J. 2012. Key concepts and research topics in landscape ecology revisited: 30 years after the Allerton Park workshop. *In*: Landscape ecolgy 28(1): 1 – 11.

7. ANEXO

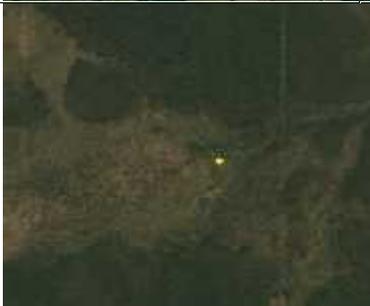
1 A. Planilla de resultados de métricas

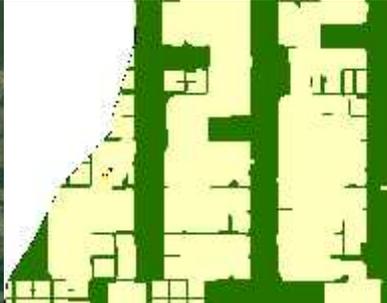
Metricas	Bosque	Sabana	Sabana inundable	Cuerpos de agua	Tierra cultivada	Area urbana
<i>1987</i>						
NP	3.710	1.967	2.913	55	188	20
PD	0,0883	0,0468	0,0693	0,0013	0,0045	0,0005
AREA_MN	820,48	276,84	176,94	446,19	386,11	61,72
AREA_SD	30.207,25	5.070,82	3.497,31	1.002,78	2.613,72	90,32
LPI	33,93	3,96	3,79	0,16	0,76	0,01
TE	32.778.810	15.859.050	19.002.480	1.140.090	2.139.210	84.960
ED	7,8002	3,7739	4,5219	0,2713	0,5091	0,0202
SHAPE_MN	1,4129	1,6772	1,6621	3,0353	1,8570	1,4766
PROX_MN	636.534,40	37.639,56	24.101,89	703,63	5.140,56	1,67
SPLIT	5,21	348,12	494,38	266.534,18	13.456,31	73.786.562,0
MESH	806.170,97	12.071,584	8.500,230	15,767	312,294	5
<i>1996</i>						
NP	3.792	1.957	2.895	55	299	20
PD	0,0902	0,0466	0,0689	0,0013	0,0071	0,0005
AREA_MN	790,92	271,26	175,46	446,19	463,06	67,60
AREA_SD	29.500,31	5.019,32	3.483,13	1.002,78	2.244,08	93,07
LPI	33,27	3,97	3,75	0,16	0,81	0,01
TE	33.797.400	15.746.250	18.763.140	1.140.090	3.317.880	90.000
ED	8,0426	3,7470	4,4649	0,2713	0,7895	0,0214
SHAPE_MN	1,4147	1,6808	1,6582	3,0353	1,6737	1,4899
PROX_MN	639.925,02	37.018,26	24.187,95	703,63	3.589,82	3,61
SPLIT	5,35	357,13	501,52	266.534,17	11.249,23	66.736.841,1
MESH	785.858,24	11.766,772	8.379,122	15,767	373,565	0
<i>2006</i>						
NP	4.093	1.946	3.105	55	675	20
PD	0,0974	0,0463	0,0739	0,0013	0,0161	0,0005
AREA_MN	663,63	266,79	157,56	446,19	668,83	84,83
AREA_SD	25.352,88	5.011,26	3.029,65	1.002,78	2.419,57	136,96
LPI	30,92	3,97	3,57	0,16	1,08	0,01
TE	38.196.300	15.526.110	18.806.160	1.140.090	10.061.340	91.320
ED	9,0893	3,6946	4,4752	0,2713	2,3942	0,0217
SHAPE_MN	1,4343	1,6806	1,6611	3,0353	1,7927	1,4594
PROX_MN	561.632,02	37.332,60	20.068,33	703,63	2.993,21	3,68
SPLIT	6,71	360,34	617,96	266.534,16	4.151,65	34.019.016,4
MESH	626.475,75	11.662,082	6.800,334	15,767	1.012,207	8
<i>2016</i>						
NP	5.102	2.029	3.418	55	3.153	23
PD	0,1214	0,0483	0,0813	0,0013	0,0750	0,0005
AREA_MN	424,88	249,28	130,62	446,19	334,89	80,61
AREA_SD	12.649,31	4.855,77	2.747,61	1.002,78	1.685,35	132,94
LPI	14,62	3,95	3,60	0,16	1,17	0,01
TE	53.470.740	15.158.670	18.391.170	1.140.090	29.969.370	100.860
ED	12,7241	3,6072	4,3764	0,2713	7,1316	0,0240
SHAPE_MN	1,5048	1,6629	1,6553	3,0353	1,4521	1,4769
PROX_MN	206.876,89	36.467,28	17.016,30	703,63	2.661,34	4,69
SPLIT	21,61	368,16	682,84	266.534,16	1.896,95	3.176.554,33
MESH	194.479,80	11.414,344	6.154,223	15,767	2.215,309	0,132

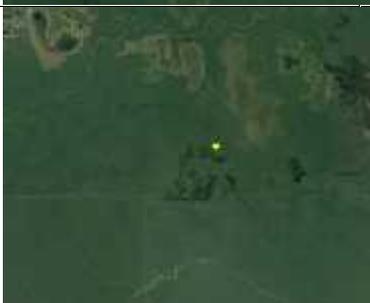
2 A. Planilla de variación porcentual de métricas entre los periodos de estudio

Clase	Bosque	Sabana	Sabana inundable	Cuerpos de agua	Tierra cultivada	Area urbana
<i>Variación 1987 - 1996</i>						
NP	-2,21	0,51	0,62	0,00	-59,04	0,00
PD	-2,15	0,43	0,58	0,00	-57,78	0,00
AREA_MN	3,60	2,02	0,83	0,00	-19,93	-9,52
AREA_SD	2,34	1,02	0,41	0,00	14,14	-3,04
LPI	1,95	-0,10	1,00	0,00	-6,86	0,00
TE	-3,11	0,71	1,26	0,00	-55,10	-5,93
ED	-3,11	0,71	1,26	0,00	-55,08	-5,94
SHAPE_MN	-0,13	-0,21	0,23	0,00	9,87	-0,90
PROX_MN	-0,53	1,65	-0,36	0,00	30,17	-116,43
SPLIT	-2,58	-2,59	-1,45	0,00	16,40	9,55
MESH	2,52	2,53	1,42	0,00	-19,62	-10,53
<i>Variación 1996 - 2006</i>						
NP	-7,94	0,56	-7,25	0,00	-125,75	0,00
PD	-7,98	0,64	-7,26	0,00	-126,76	0,00
AREA_MN	16,09	1,65	10,20	0,00	-44,44	-25,50
AREA_SD	14,06	0,16	13,02	0,00	-7,82	-47,17
LPI	7,05	0,06	4,71	0,00	-32,70	-74,32
TE	-13,02	1,40	-0,23	0,00	-203,25	-1,47
ED	-13,01	1,40	-0,23	0,00	-203,26	-1,40
SHAPE_MN	-1,39	0,01	-0,17	0,00	-7,11	2,05
PROX_MN	12,23	-0,85	17,03	0,00	16,62	-2,04
SPLIT	-25,44	-0,90	-23,22	0,00	63,09	49,03
MESH	20,28	0,89	18,84	0,00	-170,96	-96,03
<i>Variación 2006 - 2016</i>						
NP	-24,65	-4,27	-10,08	0,00	-367,11	-15,00
PD	-24,64	-4,32	-10,01	0,00	-365,84	0,00
AREA_MN	35,98	6,57	17,10	0,00	49,93	4,98
AREA_SD	50,11	3,10	9,31	0,00	30,34	2,94
LPI	52,72	0,26	-0,64	0,00	-8,40	0,00
TE	-39,99	2,37	2,21	0,00	-197,87	-10,45
ED	-39,99	2,37	2,21	0,00	-197,87	-10,60
SHAPE_MN	-4,92	1,05	0,35	0,00	19,00	-1,20
PROX_MN	63,17	2,32	15,21	0,00	11,09	-27,32
SPLIT	-222,13	-2,17	-10,50	0,00	54,31	90,66
MESH	68,96	2,12	9,50	0,00	-118,86	-7,13
<i>Variación 1987 - 2016</i>						
NP	-37,52	-3,15	-17,34	0,00	-1.577,13	-15,00
PD	-37,49	-3,21	-17,32	0,00	-1.566,67	0,00
AREA_MN	48,22	9,96	26,18	0,00	13,27	-30,60
AREA_SD	58,12	4,24	21,44	0,00	35,52	-47,19
LPI	56,91	0,23	5,06	0,00	-53,72	-74,32
TE	-63,13	4,42	3,22	0,00	-1.300,96	-18,71
ED	-63,13	4,42	3,22	0,00	-1.300,82	-18,81
SHAPE_MN	-6,50	0,85	0,41	0,00	21,80	-0,02
PROX_MN	67,50	3,11	29,40	0,00	48,23	-181,18
SPLIT	-314,53	-5,76	-38,12	0,00	85,90	95,69
MESH	75,88	5,44	27,60	0,00	-609,37	-132,11

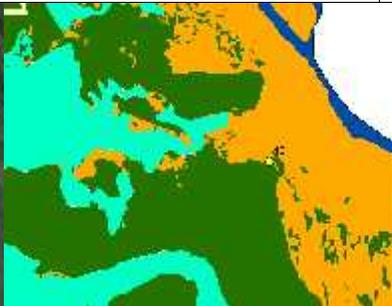
3 A. Planilla de la verificación en campo

Nº	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
1	<i>Bosque</i>	359.724,90	7.637.376,34			
2	<i>Tierra cultivada</i>	348.829,01	7.611.529,67			
3	<i>Sabana inundable</i>	383.152,57	7.651.723,86			

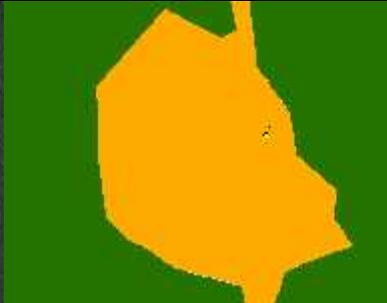
N°	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
4	<i>Tierra cultivada</i>	256.238,66	7.575.508,63			
5	<i>Bosque</i>	303.959,05	7.534.664,37			
6	<i>Tierra cultivada</i>	236.067,16	7.676.634,15			

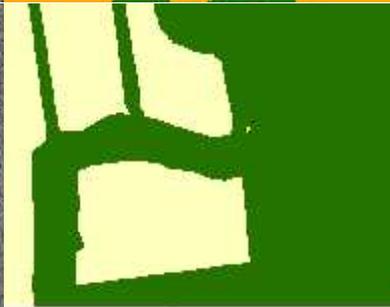
N°	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
7	<i>Sabana inundable</i>	330.581,96	7.573.424,70			
8	<i>Bosque</i>	382.445,95	7.497.744,34			
9	<i>Bosque</i>	316.673,87	7.614.819,95			

N°	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
10	<i>Sabana</i>	396.134,44	7.564.717,75			
11	<i>Bosque</i>	383.188,49	7.527.484,66			
12	<i>Sabana</i>	405.596,89	7.698.714,52			

Nº	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
13	<i>Sabana</i>	408.311,29	7.527.760,67			
14	<i>Sabana inundable</i>	375.403,65	7.560.862,15			
15	<i>Área urbana</i>	378.202,86	7.763.316,70			

N°	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
16	<i>Tierra cultivada</i>	368.839,89	7.757.888,70			
17	<i>Tierra cultivada</i>	366.575,36	7.754.289,26			
18	<i>Tierra cultivada</i>	364.857,05	7.752.869,31			

N°	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
19	Tierra cultivada	359.541,31	7.750.557,87			
20	Sabana	357.200,27	7.740.867,26			
21	Sabana	357.367,01	7.739.716,63			

N°	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
22	<i>Sabana</i>	339.507,39	7.725.075,64			
23	<i>Bosque</i>	338.647,14	7.729.679,68			
24	<i>Sabana</i>	338.332,71	7.731.360,55			

N°	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
25	<i>Sabana</i>	336.946,23	7.733.813,69			
26	<i>Sabana</i>	336.946,05	7.733.908,46			
27	<i>Tierra cultivada</i>	341.372,55	7.714.282,71			

N°	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
28	<i>Tierra cultivada</i>	341.797,27	7.711.621,74			
29	<i>Tierra cultivada</i>	342.174,53	7.708.188,56			
30	<i>Bosque</i>	344.701,47	7.681.314,75			

N°	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
31	<i>Tierra cultivada</i>	343.681,18	7.673.682,19			
32	<i>Sabana inundable</i>	346.231,22	7.668.061,01			
33	<i>Tierra cultivada</i>	311.338,54	7.789.263,27			

N°	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
34	<i>Bosque</i>	330.109,49	7.785.757,20			
35	<i>Bosque</i>	335.023,42	7.783.407,60			
36	<i>Sabana</i>	337.177,31	7.782.375,02			

N°	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
37	<i>Sabana</i>	337.673,71	7.782.135,76			
38	<i>Sabana</i>	339.250,37	7.781.376,32			
39	<i>Sabana</i>	363.349,83	7.769.556,86			

N°	Clase	Coordenadas X	Coordenadas Y	Imagen Google Earth	Uso y Cobertura 2016	Verificación en campo
40	<i>Sabana</i>	368.308,74	7.767.171,97			