



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA
CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

**Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo y dinámica del
paisaje en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca,
Costa Rica**

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de
Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical
de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y
Biodiversidad

Por

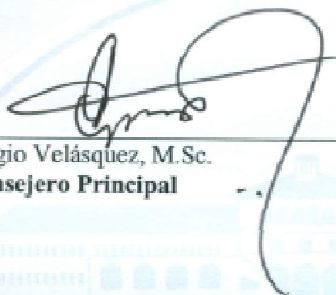
CRISTIAN FRANCISCO BRENES PÉREZ

Turrialba, Costa Rica, Septiembre de 2009

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN
DE BOSQUES TROPICALES Y BIODIVERSIDAD**

FIRMANTES:



Sergio Velásquez, M.Sc.
Consejero Principal

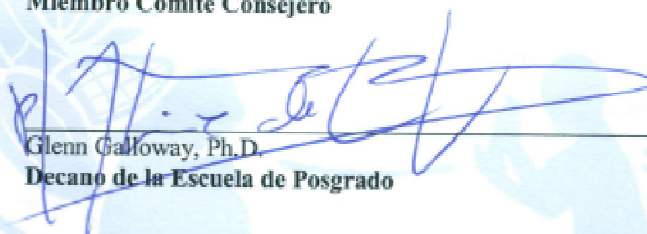
Bryan Finegan, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Diego Delgado, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Fabricé De Clerck, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado

CHRISTIAN BRENES PÉREZ
Cristian Francisco Brenes Pérez
Candidato

DEDICATORIA

A mis padres Francisco Brenes Solano y Nuria Pérez Esquivel por el sacrificio incondicional y no dejar que me desviara del camino durante todos estos años, a mi hermana Viviana Brenes Pérez y mi sobrina Valeria Vega Brenes, con todo amor y cariño para todos ellos.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor consejero Sergio Velásquez M, por ser mi maestro, gurú, padre santo y guía espiritual, a los demás miembros del comité Bryan Finegan, Fabrice DeClerck y Diego “el morado” Delgado, a todos ellos por su amistad, apoyo, confianza y sabios consejos.

A todas aquellas personas que de alguna u otra forma han colaborado en el desarrollo de esta investigación y han permitido que el Laboratorio de SIG de CATIE sea un mejor lugar para todos. Quiero agradecer al M.Sc. Alfonso Pérez G. por su confianza y haberme brindado mi primera oportunidad para ingresar a trabajar a CATIE, al Ph.D. Muhammad Ibrahim, y a la Ph.D. Celia Harvey por todo su apoyo. Al M.Sc. Roger Villalobos y al Ph.D. José Joaquín Campos, por impulsarme a entrar a la maestría y por el amparo recibido durante estos años.

Deseo agradecer toda su amistad a mis compañeros de la promoción 2006-2007, en especial a Alejandra Martínez, Carlos Cerdán, Rolando Cerda, Osvaldo Corella, Jemmy Avendaño, Marcos Decker, Fernando Fernández, Mará Ofelia Arboleda, Diana Vega, Carlos Marschall, Milton Rivera, Sandro Domínguez, José Bayardo Alemán. Además quiero hacer mención a mis amigos y compañeros de otras promociones: Zayra Ramos, Mario Chacón, Antonio Arana “Toñix” (D.E.P), Natalia Ureña, Noel Trejos, Sonia Castro “La macha”, Sonia Ospina, Claudia Bouroncle, Yyare Parra, Stella Amarilla, Cristina Vidal, Mario Benavidez, Manuel Serrano, Katherine Tehelen, Elena Florián, Carolina Useche, Beatriz Salgado, Carolina Alcázar, Dalia Sánchez, Mildred Jiménez, Adina Chain, Natalia Estrada, Francisco Kühl, Elías Bucardo, William Watler, Sergio Vílchez, Paulo Hernández, Víctor Mena, Sidaly Ortega, René Lucia Castillo, Jhenny Salgado, Juan Tomás Arosemena, Walker González; a las “chicas superpoderosas”: Brenda Castillo, María Eugenia Vela, Sugey Bustamante, Andrea Orellana, Diana García y Angélica Benítez. Finalmente en el desaparecido y recordado Club Internacional de CATIE, a Cochinin, Kimberly, Anita y doña Marlen.

RESUMEN

La deforestación y la fragmentación de los hábitats disponibles tanto para especies animales como vegetales, son de los principales motores de la degradación ambiental de nuestros tiempos; Costa Rica no escapa a esa problemática, el país durante el siglo XX removi6 miles de hectáreas de bosque para dedicarlas a la agricultura y la ganadería, todo esto bajo un paradigma socio-económico de expansión de la frontera agrícola y colonización de tierras. No es sino hasta la década de los noventas en que se da un vuelco hacia la conservación y valoración de los bosques, los pagos por servicios ambientales y el enriquecimiento de un cuerpo de leyes destinadas al sector forestal y la protección de los recursos naturales. Es por ello que la figura de los corredores biológicos encaja dentro de esta nueva visión del manejo de territorio, ya que se procura la protección del medio y el bienestar de las personas.

A partir de imágenes de satélite y fotografías aéreas, se crearon mapas de uso del suelo en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca (CBVCT) para los años 1986, 1996, 2001 y 2008, dichos mapas fueron sometidos a técnicas de análisis multitemporal de cambio de uso del suelo, paisaje, capacidad de uso, formas del relieve, redes de conectividad estructural, y además, se proyectó un escenario de cambio de uso del suelo para el 2015, al cual se le aplicaron los mismos análisis que a los demás años estudiados.

Los resultados obtenidos sostienen que la cobertura boscosa que se ha mantenido estable en el CBVCT durante los últimos 22 años con un 39.5% en promedio, no obstante, este equilibrio aparente está sostenido por una dinámica de conversión de pasto a charral y de charral a bosque, así como de pérdidas de bosque a pasto; además, usos como los asentamientos humanos han venido ganando terreno durante el periodo analizado, caso contrario al café, el cual ha cedido terreno tanto a las urbanizaciones como a la caña de azúcar.

El análisis de capacidad de uso de la tierra revela que la categoría Uso a Capacidad ha dominado el espacio durante el lapso analizado con alrededor del 66.5%, así mismo, la

categoría Sobreuso ha abarcado históricamente el 29.5% del territorio, dicho conflicto está compuesto en su mayoría por los pastos en sobreuso (21.5% en promedio), los cuales se ubican en conjunto sobre las faldas del Volcán Turrialba. Respecto a las formas del relieve se determinó que el bosque se asienta básicamente sobre 2 geoformas, los valles en U (26.4%) y las pendientes y mesetas (25.6%).

El análisis a nivel de paisaje reveló que este está en proceso de fragmentación, ya que aumenta el número de parches y disminuye el tamaño promedio de los mismos. A nivel de clase se encontró que el bosque está en curso de compactación ya que hay una acreción de los parches y existentes, denotado esto por el aumento en el área media y la disminución de la distancia mínima entre vecinos.

El trazado de redes de conectividad estructural mostró vacíos históricos en sitios puntuales, así como el proceso del crecimiento urbano ha incidido en el arreglo espacial de dicha red a lo largo del tiempo. Por último, el escenario de uso del suelo propuesto para el 2015 mantiene las tendencias observadas en los años anteriores, con excepción del análisis a nivel de paisaje, el cual mostró una reversión del proceso de compactación del mismo, esto debido a la influencia que ejerce el crecimiento de la clase bosque sobre las métricas evaluadas.

SUMMARY

Actually, deforestation and habitat fragmentation are among the main world environmental degradation factors. Costa Rica is not the exception: during the past century thousands of hectares of tropical forest were substituted to be dedicated to agriculture and pastures. It was until the nineteen's decade that Costa Rica change its conservation policies and implemented a set of laws focused on the forest sector and the natural resources conservation. It is in this context that the biological corridors as key alternatives for biodiversity conservation and environmental protection.

A set of landuse maps of the Central Talamanca Volcanic Biological Corridor (CTVBC) were created for years 1986, 1996, 2001 and 2008 using satellite images and aerial photographs. A multi-temporal landuse change analysis was performed and landuse capacity, relief, ecological connectivity networks (structural) maps were created. Moreover, a 2015 landuse scenario was generated using the IDRISI's Lands Use Change Modeller.

The results showed that forest landcover in the CTVBC has been steady during the last 22 years. In average, about 39.5% of the area has been covered by forest. This apparent equilibrium has been sustained by the conversion of pastures to shrublands and shrublands to secondary forests, as well as conversion of forest to pasture. In addition, the area covered by the urban and semiurban is increasing while the coffee crop area have diminished and changed to urban and sugar cane uses.

The landuse capacity analysis showed that 66.5% of the area is being used to full capacity while the overused land is about 29.5% of the CTVBC area. Most of this overused land is covered by pastures located in the steep slopes around the Turrialba volcano. Most of the forest is located in the U-shaped valleys (26.4%) and upper slopes and mesas (25.6%).

The landscape analysis at landscape level, reveals that the area is under a fragmentation process, since the number of patches is increasing and the average size is diminishing along the multitemporal analysis. Meanwhile, the landscape analysis at class level showed that the forest patches are under an accretion process because the mean size of the patches is increasing and the mean distance to the nearest neighbor patch is diminishing.

The ecological connectivity network analysis showed that there are historical connectivity gaps in the study area. Most of these connectivity gaps are due to the artificial barrier where the Turrialba city is located. Finally, the 2015 scenario shows the same landuse patterns observed during the last years. An exception is that landscape analysis at the landscape level where the influence of the forest patches accretion process shows a reversion of the fragmentation process.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN.....	IV
SUMMARY.....	VI
ÍNDICE DE CUADROS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ABREVIATURAS.....	XV
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN iv	
SUMMARY vi	
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ABREVIATURAS	xv
1 INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Objetivo general.....	18
1.2 Objetivos específicos	18
2 MARCO CONCEPTUAL.....	19
2.1 Corredores Biológicos.....	19
2.1.1 El Corredor Biológico Mesoamericano.....	20
2.2 Conectividad	21
2.3 Fragmentación del paisaje.....	22
2.3.1 Mecanismos de extinción de especies a escala de fragmento	23
2.3.2 Procesos de fragmentación	24
2.3.3 Análisis de paisaje	26
2.4 Cambio de uso del suelo	29
2.4.1 Análisis multitemporales de cambio de uso del suelo.....	29
2.4.2 Modelos de cambio de uso del suelo	30
2.5 Efecto de las formas del relieve sobre los patrones y procesos en el paisaje	32
2.6 Marco histórico del manejo del recurso forestal en Costa Rica.....	32
2.6.1 Las leyes forestales en Costa Rica.....	33
3 MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1 Antecedentes del área de estudio	35

3.2	Fases metodológicas	37
3.3	Ortorectificación de fotografías aéreas y corrección de imágenes de Satélite	38
3.3.1	Creación del modelo de elevación digital.....	38
3.3.2	Generación de Ortofotos y corrección de imágenes de satélite.....	39
3.3.3	Corrección de imágenes de satélite	40
3.4	Elaboración de mapas de uso del suelo para cada periodo a evaluar.....	40
3.4.1	Clasificación de imagen de satélite y digitalización de uso del suelo.....	40
3.4.2	Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo	42
3.4.3	Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo en unidades de capacidad de uso	43
3.4.4	Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo por formas de relieve derivadas del Índice de Posición Topográfica.	43
3.4.5	Creación de escenario de cambio de uso del suelo al 2015.....	45
3.5	Análisis de paisaje.....	46
3.6	Evolución y creación de escenarios de redes de conectividad ecológica en el Corredor	48
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
4.1	Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo en el CBVCT entre 1986 y 2008.....	53
4.1.1	Estadísticas de uso del suelo para cada año evaluado	53
4.2	Matrices de cambio de uso del suelo.	58
4.2.1	Dinámica de cambio de uso del suelo 1986-1996	58
4.2.2	Dinámica de cambio de uso del suelo 1996-2001	61
4.2.3	Dinámica de cambio de uso del suelo 2001-2008	63
4.2.4	Estabilidad de la cobertura boscosa en el CBVCT y su relación con la legislación forestal de Costa Rica.....	66
4.3	Análisis multitemporal de capacidad de uso del suelo.	70
4.3.1	Análisis multitemporal de capacidad de uso del suelo por categoría de uso.	73
4.4	Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo por formas del relieve 75	
4.4.1	Distribución del bosque según la forma del relieve	77
4.4.2	Distribución del pasto según la forma del relieve	79
4.4.3	Distribución del café según la forma del relieve	80
4.4.4	Distribución de los charrales según la forma del relieve.....	82
4.5	Análisis de paisaje en el CBVCT para el periodo en estudio	83

4.5.1	Métricas a nivel de paisaje.....	83
4.5.2	Métricas a nivel de clase.....	86
4.6	Creación de redes de conectividad estructural en el CBVCT para el periodo en estudio	90
4.6.1	Distribución de las redes de conectividad por uso de suelo	93
4.6.2	Distribución de las redes de conectividad por forma del relieve.....	96
4.7	Escenario futuro de cambio de uso del suelo.....	98
4.7.1	Creación de red de conectividad estructural en el CBVCT para el escenario 2015	100
4.7.2	Cálculo de métricas a nivel de paisaje y clase en el CBVCT para el escenario 2015	103
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
6	ANEXOS	109
7	BIBLIOGRAFIA.....	120

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1.	TIPOS Y GRADOS DE ALTERACIÓN DE LOS PAISAJES. McINTYRE & HOBBS (1999)..	24
CUADRO 2.	ZONAS DE VIDA PRESENTES EN EL CBVCT.....	36
CUADRO 3.	ESTADÍSTICAS DE USO DEL SUELO EN EL CBVCT DE ACUERDO CON LA FICHA TÉCNICA DEL CBVCT.	37
CUADRO 4.	FASES METODOLÓGICAS DEL ESTUDIO	38
CUADRO 5.	USOS DE SUELO CARTOGRAFIADOS SEGÚN EL AÑO.....	41
CUADRO 6.	INFORMACIÓN DE IMÁGENES DE SATÉLITE Y FOTOS AÉREAS.	42
CUADRO 7.	VALORES, RANGOS, PESOS Y PONDERACIONES USADOS PARA LA CREACIÓN DE LAS REDES DE CONECTIVIDAD	50
CUADRO 8.	VALORES DE FRICCIÓN UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DE MAPA DE COSTO - DISTANCIA	52
CUADRO 9.	DISTRIBUCIÓN RELATIVA Y ABSOLUTA DEL USO DEL SUELO EN EL CBVCT, ENTRE 1986 - 2008	53
CUADRO 10.	TASAS DE CRECIMIENTO ANUAL, TASA CAMBIO PROMEDIO, DIFERENCIA NETA Y PORCENTAJE DE CAMBIO EL CBVCT ENTRE 1986-2008	54
CUADRO 11.	MATRIZ DE CAMBIO DE USO EL SUELO EN EL CBVCT PARA EL PERIODO 1986-1996.	59
CUADRO 12.	MATRIZ DE CAMBIO DE USO EL SUELO EN EL CBVCT PARA EL PERIODO 1996-2001	61
CUADRO 13.	MATRIZ DE CAMBIO DE USO EL SUELO EN EL CBVCT ENTRE 2001-2008.....	64
CUADRO 14.	PÉRDIDA, GANANCIA DEL BOSQUE, Y TASA DE CAMBIO EN EL CBVCT ENTRE 1986-1996 Y 1996 Y 2008	66
CUADRO 15.	CLASES DE CAPACIDAD DE USO EL CBVCT	70
CUADRO 16.	CONFLICTOS DE USO DEL SUELO EN CBVCT ENTRE 1986- 2008	72
CUADRO 17.	CONFLICTOS DE CAPACIDAD USO POR TIPO DE COBERTURA EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008.....	73
CUADRO 18.	DISTRIBUCIÓN DE LAS FORMAS DE RELIEVE EN EL CBVCT.....	75
CUADRO 19.	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL Y ABSOLUTA DEL BOSQUE SOBRE LAS FORMAS DE RELIEVE EN EL CBVCT EN EL PERIODO 1986-2008.	78
CUADRO 20.	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL Y ABSOLUTA DEL PASTO SOBRE LAS FORMAS DE RELIEVE EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008.	79
CUADRO 21.	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL Y ABSOLUTA DEL CAFÉ SOBRE LAS FORMAS DE RELIEVE EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008.	81
CUADRO 22.	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL Y ABSOLUTA DE LOS CHARRALES SOBRE LAS FORMAS DEL RELIEVE EN EL CBVCT PARA EL PERIODO 1986-2008.	82
CUADRO 23.	CUADRO 31. MÉTRICAS A NIVEL DE PAISAJE EN EL CBVCT PARA EL PERIODO 1986-2008	83
CUADRO 24.	MÉTRICAS A NIVEL DE CLASE EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008	86
CUADRO 25.	DISTANCIA, CANTIDAD DE NODOS Y LARGO PROMEDIO DE LOS TRAMOS DE LAS REDES DE CONECTIVIDAD MODELADAS EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008.....	90
CUADRO 26.	RECORRIDO DE RED, CANTIDAD DE NODOS, ÍNDICE DE ENN, NODOS DESCONECTADOS, Y RECORRIDO DE RED EN BAJA CONECTIVIDAD EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008	91
CUADRO 27.	AREA DE LOS BUFFERS.....	94
CUADRO 28.	DISTRIBUCIÓN DE LOS USOS DE SUELO EN UN BUFFER DE 100 M SOBRE EL TRAZADO DE LAS REDES DE CONECTIVIDAD EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008.....	94
CUADRO 29.	DISTRIBUCIÓN DE REDES DE CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL EN UN BUFFER DE 100 METROS SOBRE LAS FORMAS DEL RELIEVE EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008	96

CUADRO 30.	DISTRIBUCIÓN RELATIVA Y ABSOLUTA DEL USO DEL SUELO EN EL CBVCT EN EL ESCENARIO 2015	98
CUADRO 31.	DISTRIBUCIÓN RELATIVA Y ABSOLUTA DE LOS USOS DEL SUELO PROYECTADOS AL 2015 SOBRE BUFFER DE 100 METROS DE RED DE CONECTIVIDAD.....	100
CUADRO 32.	DISTRIBUCIÓN DE LAS FORMAS DEL RELIEVE SOBRE BUFFER DE 100 METROS DE RED DE CONECTIVIDAD PROYECTADA AL 2015.....	101
CUADRO 33.	MÉTRICAS A NIVEL DE PAISAJE EN EL CBVCT PROYECTADAS AL 2015	103
CUADRO 34.	MÉTRICAS A NIVEL DE CLASE EN EL CBVCT PROYECTADAS AL 2015	104

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	LOS CUATRO ESTADOS DE ALTERACIÓN DEL PAISAJE. McINTYRE & HOBBS (1999)24	
FIGURA 2.	DIFERENTES CONFIGURACIONES DEL PAISAJE PRODUCTO DE LA PÉRDIDA DE HÁBITATS	25
FIGURA 3.	MAPA DE USO DEL SUELO DEL CBVCT	36
FIGURA 4.	MODELO PARA CREACIÓN DE REDES DE CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL	49
FIGURA 5.	DISTRIBUCIÓN ABSOLUTA DEL USO DEL SUELO EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008 .	56
FIGURA 6.	CAMBIOS PORCENTUALES POR CATEGORÍA DE USO EN EL CBVCT ENTRE 1986-1996	57
FIGURA 7.	RELACIÓN PÉRDIDAS Y GANANCIAS POR USO EN EL CBVCT ENTRE 1986-1996	59
FIGURA 8.	TRANSICIONES DE USO DEL SUELO EN EL CBVCT ENTRE 1986-1996.....	60
FIGURA 9.	RELACIÓN PÉRDIDAS Y GANANCIAS POR USO EN EL CBVCT ENTRE 1996-2001. ...	62
FIGURA 10.	TRANSICIONES DE USO DEL SUELO EN EL CBVCT ENTRE 1996-2001	63
FIGURA 11.	PÉRDIDAS Y GANANCIAS POR USO EN EL CBVCT ENTRE 2001-2008.....	65
FIGURA 12.	MAPA DE TRANSICIONES EN EL CBVCT ENTRE 2001-2008	65
FIGURA 13.	PÉRDIDA, GANANCIA DEL BOSQUE, Y TASA DE CAMBIO EN EL CBVCT ENTRE 1986-1996 Y 1996 Y 2008	67
FIGURA 14.	CONTEXTO DEL CBCVT DENTRO DEL SISTEMA DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN, PARQUES NACIONALES, RESERVAS INDÍGENAS Y RESERVAS PRIVADAS	69
FIGURA 15.	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS CLASES DE CAPACIDAD DE USO EN EL CBVCT	70
FIGURA 16.	MAPA DE CAPACIDAD DE USO DEL CBVCT	71
FIGURA 17.	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LOS CONFLICTOS DE USO EN EL CBVCT ENTRE 1986 - 2008	72
FIGURA 18.	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LOS CONFLICTOS DE USO POR TIPO DE COBERTURA EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008.....	74
FIGURA 19.	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS FORMAS DEL RELIEVE EN EL CBVCT	76
FIGURA 20.	MAPA DE FORMAS DEL RELIEVE EN EL CVBCT	77
FIGURA 21.	DISTRIBUCIÓN RELATIVA DEL BOSQUE SOBRE LAS FORMAS DEL RELIEVE EN EL CBVCT PARA EL PERIODO 1986-2008	78
FIGURA 22.	DISTRIBUCIÓN RELATIVA DEL PASTO SOBRE LAS FORMAS DEL RELIEVE EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008	80
FIGURA 23.	DISTRIBUCIÓN RELATIVA DEL CAFÉ SOBRE LAS FORMAS DEL RELIEVE EN EL CBVCT PARA EL PERIODO 1986-2008.....	81
FIGURA 24.	DISTRIBUCIÓN RELATIVA DE LOS CHARRALES SOBRE LAS FORMAS DEL RELIEVE EN EL CBVCT PARA EL PERIODO 1986-2008.....	82
FIGURA 25.	NÚMERO DE PARCHES CONTRA DISTANCIA AL VECINO MÁS PRÓXIMO EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008.....	84
FIGURA 26.	NUMERO DE PARCHES, ÍNDICE DE CONTAGIO E ÍNDICE DE ESPARCIMIENTO Y JUXTAPOSICIÓN EN EL CBVCT PARA EL PERIODO 1986-2008	84
FIGURA 27.	NUMERO Y ÁREA PROMEDIO DE PARCHES EN EL CBVCT PARA EL PERIODO 1986-2008	85
FIGURA 28.	NUMERO DE PARCHES DE BOSQUE Y ÁREA DE LA CLASE BOSQUE EN EL CBVCT ENTRE 1986 -2008.....	87
FIGURA 29.	NUMERO DE PARCHES DE BOSQUE E ÍNDICE DE INTERSPECCIÓN EN EL CBVCT ENTRE 1996-2008.....	88
FIGURA 30.	NUMERO DE PARCHES DE BOSQUE Y DISTANCIA PROMEDIO AL VECINO MÁS PRÓXIMO EN EL CBVCT ENTRE 1996-2008.....	88
FIGURA 31.	RELACIÓN ÁREA PROMEDIO – NUMERO DE PARCHES DE LOS USOS BOSQUE, PASTO Y CHARRALES EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008	89

FIGURA 32.	MAPA DE REDES DE CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008	92
FIGURA 33.	MAPA DE REDES DE CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL Y COSTO – DISTANCIA EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008.....	93
FIGURA 34.	DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LOS USOS DE SUELO EN UN BUFFER DE 100 M SOBRE EL TRAZADO DE LAS REDES DE CONECTIVIDAD EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008. .	95
FIGURA 35.	DISTRIBUCIÓN RELATIVA DE LAS REDES DE CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL EN UN BUFFER DE 100 METROS SOBRE LAS FORMAS DEL RELIEVE EN EL CBVCT ENTRE 1986-2008.....	97
FIGURA 36.	DISTRIBUCIÓN RELATIVA DE USO DEL SUELO EN EL CBVCT PARA EL ESCENARIO DEL 2015.....	98
FIGURA 37.	MAPA DE USO DEL SUELO DEL CBVCT PROYECTADO AL AÑO 2015	99
FIGURA 38.	DISTRIBUCIÓN RELATIVA DEL USO DE SUELO PROYECTADO AL 2015 SOBRE UN BUFFER DE 100 METROS DE RED DE CONECTIVIDAD.....	101
FIGURA 39.	DISTRIBUCIÓN RELATIVA DE LAS FORMAS DEL RELIEVE SOBRE BUFFER DE 100 METROS DE RED DE CONECTIVIDAD PROYECTADA AL 2015	102
FIGURA 40.	MAPA DE RED DE CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL MODELADA SOBRE MAPA DE USO DEL SUELO	103

ABREVIATURAS

CBM: Corredor Biológico Mesoamericano

CBVCT: Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca

SIG: Sistemas de Información Geográfica

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

IDA: Instituto de Desarrollo Agrario

UMCRE: Unidad Manejo de la Cuenca del Río Reventazón

TPI: Topographic Position Index (Índice de Posición Topográfica)

IJI: Índice de esparcimiento

ENN MN: Índice del vecino más próximo

PD: Densidad de parches

D.E: Desviación estándar

CONTAG: Índice de contagio

NP: Numero de parches

ED: Densidad de borde

1 INTRODUCCIÓN

América Central constituye un puente geográfico entre Norte y Sur América con una mezcla única de flora y fauna donde convergen especies del Neoártico y el Neotrópico; la variabilidad de los patrones topográficos, geomorfológicos y florísticos resultan en un rico arreglo espacial de tipos de vegetación y comunidades animales. De esta forma, esta zona ha sido señalada como una de las regiones con mayor diversidad de especies en el mundo, muchas de los cuales son endémicas (Harvey *et al*, 2005).

Sin embargo, esta biodiversidad y variabilidad de patrones geográficos se extienden sobre paisajes agrícolas cuya naturaleza es altamente dinámica; Dichos paisajes están generalmente compuestos de mosaicos de parches de diferentes tipos, tamaños, formas, y arreglos espaciales, y éstos patrones pueden cambiar en el tiempo debido a procesos antrópicos y / o naturales; de tal forma que los paisajes se someten a cambios de estructura y composición, las áreas de bosque son convertidas en espacios agrícolas, y en muchos casos las tierras degradadas son abandonadas y sobre- explotadas con sistemas productivos poco sostenibles. Así, la transformación y la degradación de los bosques tropicales conjuntamente representan la fuerza impulsora primaria de la pérdida de diversidad biológica en el mundo; estos impactos y consecuencias de la deforestación se sienten más allá de los límites de la tierras transformadas (Sánchez *et al*. 2001).

Los cambios en los patrones del uso del suelo pueden ocurrir muy rápido, la cobertura arbórea a nivel de fincas puede disminuir debido a la extracción de madera y leña, así como debido a la muerte natural de los árboles remanentes y a la limitada capacidad de regeneración natural de los mismos, Harvey *et al* (2005). Según Arroyo *et al*. (2004), entender las causas y las consecuencias del cambio del uso del suelo y sus efectos sobre muchos componentes de los ecosistemas son claves para identificar los efectos negativos sobre recursos biológicos y el desarrollo humano. Así pues, según los mismos autores, la información sobre la localización, extensión, y el estado de las áreas forestadas se utiliza constantemente para identificar amenazas a la biodiversidad y el avance de la deforestación, lo cual permite plantear soluciones a estos problemas.

Según Bonilla *et al.* (2004), bosque y población son una dualidad aparentemente irreconciliable; además existe una conexión inversa entre la población y el bosque, en especial, cómo el rápido crecimiento de la población está asociado con la deforestación masiva de los trópicos, la cual tuvo lugar especialmente durante la segunda mitad del siglo XX. Costa Rica es una nación que ha experimentado tasas de crecimiento poblacional y deforestación entre las más altas del mundo. En un plazo de cincuenta años, la población se quintuplicó y al mismo tiempo se talaron unos 11 mil kilómetros cuadrados de bosque, la quinta parte del territorio continental. Varios estudios postulan una relación causal entre estos dos fenómenos (Pérez & Protti 1978; Hartshorn 1983; Bonilla 1985) (citados por Bonilla *et al* 2004).

Se ha cuantificado el impacto del aumento de la población sobre el riesgo de deforestación en Costa Rica, para el periodo 1973-83 se estimó que un aumento de 1% en la población, incrementa en 0,3% el riesgo de tala de una parcela de bosque (Bonilla *et al.* 2004). Además, la historia de Costa Rica ejemplifica la tensión entre desarrollo económico y conservación ambiental, el país tuvo uno de los índices de deforestación más altos en el mundo tropical con un promedio de 3.7% a principios de los años 1970 hasta comienzos de los años 1990, hasta caer a 1.2% a finales del siglo XX (Sánchez *et al.* 2002).

Esta investigación va orientada a presentar un análisis integral para el cambio de uso del suelo y análisis de paisaje en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca (CBVCT), se abarcan tres ejes temáticos: cambio de uso del suelo, análisis de estructura y composición del paisaje, y redes de conectividad estructural ecológica. Estos tres ejes tienen un carácter multitemporal y prospectivo, con lo que se pretende tener una cronosecuencia del uso del suelo, sus posibles causas y consecuencias, además de proyectar estas tendencias hacia el futuro, esto con el fin de brindar herramientas, indicadores y lineamientos para la toma de decisiones en cuando al manejo del espacio y los recursos naturales en el CBVCT.

1.1 Objetivo general

Analizar la dinámica de las transiciones de cambio de uso del suelo en el Corredor Biológico Volcánica Central – Talamanca, su incidencia sobre la estructura, composición, y conectividad estructural del mismo, en el pasado, presente y futuro.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar la dinámica de cambio de uso del suelo en el CBVCT a través de análisis multitemporales desde 1986 hasta el 2008, y sus posibles causas.
- Crear escenarios de cambio de uso del suelo a futuro, tomando como base variables explicativas del cambio y las tendencias observadas en el pasado.
- Determinar la evolución histórica de la fragmentación en el CBVCT a través de análisis de paisajes multitemporales, además de proyectar la estructura y composición del paisaje en los escenarios de cambio futuros.
- Determinar la evolución histórica de las rutas de conectividad estructural a través de su reconstrucción en escenarios pasados de uso del suelo.
- Generar rutas de conectividad estructural en el futuro partiendo de los modelos de cambio de uso y análisis de paisaje con el fin de utilizarlas como herramientas para la toma de decisiones.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Corredores Biológicos

Dentro de las primeras recomendaciones prácticas para el manejo del uso de la tierra que surgen de los estudios de fragmentación de hábitats, fue la propuesta de que los fragmentos que están enlazados por un corredor o un hábitat adecuado, es probable que tengan un mayor valor de conservación que los fragmentos aislados de tamaño parecido. Esta propuesta se basó en su totalidad en consideraciones teóricas, procedentes principalmente de la teoría sobre la biogeografía de islas de Mc Arthur & Wilson, (Bennett 2004); por esta razón Poiani *et al*, (2000) expone la necesidad de planificar la conservación a nivel de paisaje involucrando no sólo los sitios prioritarios protegidos legalmente, sino también los paisajes culturales donde están inmersos, creando redes funcionales para la conservación.

El concepto de corredores como medida de conservación ha tenido mucho éxito en atraer la atención de planificadores, gestores de tierras y comunidades, y como consecuencia de ello, se ha propuesto incorporar esta figura a planes de manejo. De acuerdo con Beier & Noss (1998), en su concepto más puro, un corredor es un hábitat lineal encajado en una matriz disímil a la del paisaje circundante, la cual conecta dos o más fragmentos del mismo hábitat, y su propósito es la conservación basada en mantener la viabilidad de poblaciones de vida silvestre específicas en los fragmentos de hábitat, facilitando el paso de individuos de un fragmento a otro.

Otra concepto de corredor aplicado a la práctica es el del CBVCT, cuyo objetivo es restablecer y mantener la conectividad biológica entre las reservas de biósfera Cordillera Volcánica Central y La Amistad, mejorando la calidad ambiental del entorno y contribuyendo así, a elevar la calidad de vida de las personas que se encuentran en este corredor biológico (Canet, 2008).

2.1.1 *El Corredor Biológico Mesoamericano*

Lo que se conoce hoy como el Corredor Biológico Mesoamericano (CBM), nació a la luz del proyecto *Paseo Pantera* en el año 1994 como un esfuerzo regional de conservación de tierras silvestres conducido por un consorcio de organizaciones conservacionistas internacionales, su propósito era la conservación de la biodiversidad mediante la protección de áreas desde el sur de México hasta Panamá utilizando corredores de hábitats naturales y restaurados (Miller *et al*, 2001).

Actualmente el CBM es una iniciativa a nivel regional direccionada a la conservación de la diversidad biológica y de ecosistemas de manera tal que se fomente un desarrollo social y económico sostenible, para lo cual se establecieron como objetivos específicos: proteger sitios claves de biodiversidad, conectar esos sitios mediante corredores manejados de manera tal que se permita el movimiento y dispersión de plantas y animales, y promover formas de desarrollo económico y social dentro y alrededor de estas áreas que conserven la biodiversidad y a la vez sean socialmente equitativas y culturalmente sensibles (Miller *et al*, 2001).

El funcionamiento del CBM está basado en un enfoque de ordenamiento territorial y de manejo de uso del suelo para las áreas naturales que están inmersas dentro la matriz agrícola del paisaje; dicho paradigma de ordenamiento territorial está compuesto de cuatro categorías de manejo: las *zonas núcleo* cuyo propósito es mantener la biodiversidad y la generación de servicios ambientales de los bosques, humedales y otros hábitats silvestres; por otra parte las *zonas de amortiguamiento* crean un espacio físico entre aquellas zonas protegidas que contienen principalmente áreas naturales y los espacios adyacentes que exhiben fincas o otros usos del suelo; un tercer tipo son las *zonas corredor* cuyo propósito es proporcionar senderos (o redes) de tierra o agua que unan las zonas núcleo, permitiendo la dispersión de plantas y animales; finalmente las *zonas de usos múltiples* se usan para distinguir aquellas áreas que presentan tierras silvestres de las dedicadas a actividades agrícolas, aprovechamiento forestal manejado y asentamientos humanos (Miller *et al*, 2001).

2.2 Conectividad

El concepto de conectividad se utiliza para describir cómo los arreglos espaciales y la calidad de los elementos en el paisaje afectan el desplazamiento de organismos entre parcelas de hábitats. A escala de paisaje, se ha definido la conectividad como “hasta qué punto el paisaje facilita o impide el desplazamiento entre parcelas con recursos” (Bennett 2004), además ha sido reconocido como un factor determinante en la distribución de especies (Moilanen *et al.* 2002). Es fundamental señalar que al paisaje lo reconocen de manera diferente especies distintas y por tanto el nivel de conectividad varía entre especies y entre comunidades.

Un paisaje con alta conectividad es aquel en el los individuos de una especie determinada pueden desplazarse con libertad entre hábitats adecuados, como clases preferidas de vegetación para alimentarse, o hábitats diferentes que se requieren para alimentarse y protegerse. Por otro lado, un paisaje con baja conectividad es aquel en que los individuos se ven muy limitados en su desplazamiento entre hábitats escogidos (Bennett 2004), es por ello que en paisajes con usos de suelo muy intensivos es importante mantener el intercambio entre subpoblaciones para minimizar el riesgo de la reducción de la abundancia y la eventual extinción, (Kramer *et al.* 2004). Un paisaje o región concreta puede al mismo tiempo, ofrecer elevada conectividad para algunos organismos, como aves con movilidad de largo alcance, y baja conectividad a otros, como caracoles o pequeños reptiles sedentarios (Bennett 2004).

Hay dos componentes principales que influyen en la conectividad potencial para una especie, comunidad o proceso ecológico concretos: el estructural y otro conductual. El componente estructural de la conectividad lo determina la distribución espacial de tipos diferentes de hábitats en el paisaje; en el influyen factores como la continuidad de los hábitats adecuados, la dimensión de las brechas, la distancia que se debe atravesar y la presencia de senderos alternativos o característicos de las redes. El componente conductual se refiere a la respuesta de los individuos a la estructura del paisaje (Bennett 2004).

2.3 Fragmentación del paisaje

La transformación de los bosques húmedos tropicales como resultado del impacto de las actividades humanas es una de las principales causas de que la diversidad biológica se está perdiendo en el mundo. Los bosques tropicales cubren solo el 7% de la superficie del planeta, pero albergan más de la mitad de la riqueza mundial de especies (Kattan, 2002). Modelos de deforestación y causas subyacentes del cambio de uso del suelo han sido ampliamente estudiados, Kaimowitz *et al* (1998) encontraron un total de 150 diferentes modelos que tratan de explicar las causas del comportamiento de los propietarios de la tierra y la relación de sus decisiones con el resto de la economía, todo esto con el fin de buscar nuevas formas de estudiar el fenómeno de la deforestación.

Una de las principales consecuencias de la deforestación es la creación de paisajes fragmentados, en los que algunos remanentes del bosque original, de tamaños y formas variables, quedan inmersos en una matriz de hábitats transformados. La fragmentación de los ecosistemas del bosque tropical puede entre otros alterar radicalmente el ambiente físico y el clima; al reemplazar la cobertura boscosa por potreros o cultivos, se puede provocar un aumento en la temperatura superficial del suelo y una disminución en la evapotranspiración y en la precipitación (Kattan 2002).

Aparte de los efectos físicos, la fragmentación del hábitat producto de la deforestación puede provocar la extinción de muchas especies, tanto a nivel local como regional. La extinción de especies es fundamentalmente el resultado de dos fenómenos que ocurren a dos escalas espaciales. Primero al reducirse la cobertura boscosa, se reduce no solo la diversidad de hábitat a nivel regional, sino el área total de hábitat remanente (Kattan 2002), así mismo, el número de individuos de una especie que un paisaje puede soportar debe ser una función positiva de la cantidad de hábitat disponible para esas especies en el paisaje (Fahrig, 2003). Por otro lado, la fragmentación deja a las poblaciones aisladas en los parches remanentes; precisamente por el aislamiento, estas poblaciones tienden a ser pequeñas, lo cual incrementa su riesgo de extinción, dicho riesgo puede verse exacerbado

además por la vulnerabilidad que adquieren estas poblaciones a otras intervenciones humanas, como la cacería (Kattan 2002).

2.3.1 Mecanismos de extinción de especies a escala de fragmento

La transformación del paisaje implica por lo general, la aparición de pequeños parches de bosque con bordes abruptos, inmersos en una matriz de hábitats muy simplificados. Las especies típicas del bosque quedan entonces aisladas y su supervivencia depende de la dinámica poblacional a nivel de fragmento. Dependiendo del tipo de matriz, de la distancia entre fragmentos y de la forma en que las especies utilizan el hábitat, podrá o no existir el flujo de individuos entre fragmentos. Los mecanismos de extinción a escala de fragmento se relacionan básicamente, con tres tipos de efecto: efecto de área, efecto de aislamiento y efecto de borde (Kattan 2002).

Efectos de área: Al quedar confinada en un fragmento, la probabilidad de persistencia de una especie dependerá del tamaño y la dinámica de la población. Mientras más pequeña sea la población, mayor será la probabilidad de extinguirse.

Efectos de aislamiento: Una subpoblación de una especie puede ser rescatada de la extinción por la inmigración de individuos procedentes de otras subpoblaciones. Por otra parte el grado de aislamiento de un fragmento es también una medida relativa y se da en función de la movilidad de los organismos, de su comportamiento de dispersión y de su capacidad de utilizar los hábitats de la matriz.

Efectos de borde: Una consecuencia inevitable de la fragmentación es la creación de bordes o transiciones abruptas entre el bosque y la matriz adyacente. La presencia del borde origina cambios en las condiciones bióticas y abióticas de sus inmediaciones, además de permitir el flujo de materia y energía a través de él.

2.3.2 Procesos de fragmentación

De acuerdo con Fahrig (2003), la fragmentación es definida como el proceso durante el cual “una gran extensión de hábitats son trasformados en un número menor de parches de una menor área total, aislados unos de otros por una matriz de hábitats diferente a la original”. McIntyre & Hobbs (1999), definen cuatro categorías de estado de alteración del paisaje basadas en el grado de destrucción del hábitat (Cuadro 1) (Figura 1).

Cuadro 1. Tipos y grados de alteración de los paisajes. McIntyre & Hobbs (1999)

Tipo de alteración	Grado de destrucción del hábitat (% de remanencia)	Conectividad del hábitat remanente	Grado de modificación del hábitat remanente	Patrón de modificación del hábitat remanente
Intacto	Poco o ninguno (>90)	Alto	Generalmente bajo	Mosaico con gradientes
Variegado	Moderado (60-90)	Generalmente alto, pero bajo para especies sensitivas a la modificación del hábitat	De bajo a alto	Mosaicos que pueden tener gradientes y límites abruptos
Fragmentado	Alto (10-60)	Generalmente bajo, pero varia con la movilidad de las especies y el arreglo espacial del paisaje	De bajo a alto	Gradientes con fragmentos menos evidentes
Relictual	Extremo (<10)	Ninguno	Generalmente altamente modificado	Generalmente uniforme

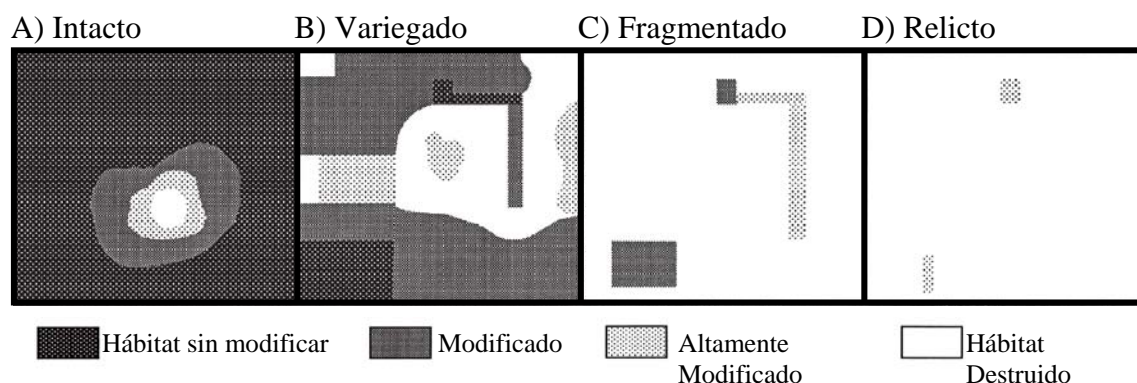
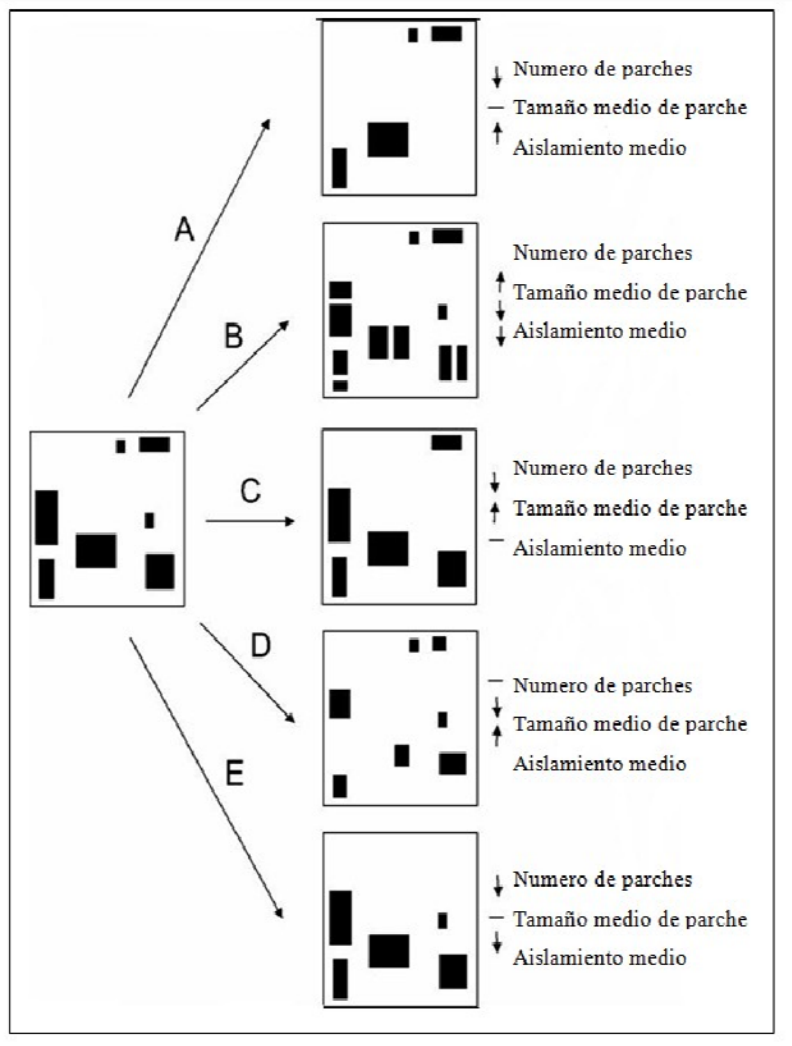


Figura 1. Los cuatro estados de alteración del paisaje. McIntyre & Hobbs (1999)

El más obvio de los efectos del proceso de fragmentación es la remoción de los hábitats, dichos hábitats pueden ser removidos del paisaje de muy diversas maneras, resultando este proceso en muy diferentes patrones espaciales; algunos de estos patrones presentan un mayor grado de fragmentación que otros; entre los efectos esperados producto de esta dinámica están: el incremento del número de parches, decrecimiento del tamaño medio de los parches, y un incremento medio del aislamiento de los parches (Figura 2).



Fuente: Fahrig, 2003

Figura 2. Diferentes configuraciones del paisaje producto de la pérdida de hábitats

2.3.3 *Análisis de paisaje*

Las métricas de paisaje han sido ampliamente usadas en tanto en estudios ecológicos como geográficos y proveen una invaluable perspectiva de las características estructurales de los paisajes. Sin embargo la falta de un entendimiento comprensivo de la sensibilidad al factor de la escala de estas métricas, muchas veces limita e indetermina seriamente su interpretación y uso (Wu 2003).

La fragmentación es un concepto intuitivo que involucra dividir algo en un número mayor de piezas más pequeñas. La fragmentación está caracterizada por el número, tamaño y distribución de las partes resultantes. En un sentido ecológico, la fragmentación implica dividir ecosistemas contiguos en áreas más pequeñas llamadas *parches*. Un parche es un área que tiene condiciones relativamente homogéneas respecto a otros parches. El término “clase” típicamente representa las diferentes categorías de posibles parches, por ejemplo usos del suelo, clases de hábitats, o clases de vegetación; más aun, la fragmentación implica la división de ecosistemas naturales en parches más pequeños como resultado de las actividades humanas, tal como el desarrollo de agricultura o áreas urbanas en lugares que alguna vez fueron bosque, humedales, o pantanos (Rutledge 2003).

Se debe enfatizar que la medida de la fragmentación depende de la definición y escala de los parches, los cuales pueden representar ecosistemas, definidos también como áreas que contienen una particular combinación de componentes bióticos y abióticos, tales como el bosque, humedales y los charrales.

La escala de los parches se refiere a la resolución espacial del estudio o de los datos utilizados. Incrementar la resolución puede resultar en un aumento de la cantidad de parches, el área de los mismos, y la cantidad de bordes presentes en el paisaje, además de afectar directamente algunos índices de paisaje, particularmente aquellos relacionados con la forma (Rutledge 2003).

Los índices de paisaje generalmente caen en una de dos categorías: *No espaciales* y *espaciales*. Los índices no espaciales describen la composición del paisaje e incluyen medidas del número de parches por clase o proporciones del área total. Los índices espaciales describen los atributos del parche y contienen información relevante de la medida de la fragmentación. Los índices espaciales posteriormente pueden ser divididos en los que describen la composición de los parches, forma y configuración.

Los índices que describen la fragmentación pueden ser ubicados en 3 categorías: composición, forma y configuración (Rutledge 2003).

1-Composición: Los índices de composición describen las características básicas de la fragmentación. Los dos índices básicos usados para cuantificar la fragmentación son el número de parches, y el área de los mismos, usualmente medidos como promedio.

2-Forma: Los índices de forma intentan cuantificar la complejidad de los parches, y cuáles pueden ser importantes para los diferentes procesos ecológicos, por ejemplo parches de forma circular o cuadrada, tienen menos borde y potencialmente mayor área núcleo. Otras formas más alargadas como árboles en línea, formas sinuosas como bosques ribereños, pueden tener comparativamente poca área núcleo, pero sí una gran área total. Las áreas compactas son menos “visibles” para las especies que se dispersan a través del paisaje, mientras que las formas complicadas o lineales pueden ser interceptadas por las rutas de organismos o propágulos.

3-Configuración: Los índices de configuración de los parches miden el grado de conectividad y aislamiento entre los parches en el paisaje. La noción de aislamiento/conectividad tiene asidero directo en la teoría de biogeografía de Isla expuesta por MacArthur y Wilson en 1967, la cual se refiere a que la persistencia de una o varias especies en una isla está ligada a un equilibrio dinámico entre la extinción (que es función del tamaño de la isla) y de la colonización (que es función de la distancia entre la isla y tierra firme). Estos índices generalmente se dividen en 2 categorías: índices basados en las distancias entre parches, y los índices que comparan los patrones espaciales, y que miden

la “textura” del paisaje. Entre los primeros el más ampliamente conocido es la *distancia al vecino más próximo*, ya sea entre parches de la misma clase o para todo el paisaje; y entre los de textura, encontramos al índice de *contagio*, el cual mide el grado de adyacencia entre celdas en un paisaje en formato matricial.

Remmel *et al.* (2003) concluye que las *métricas* en análisis de paisaje ya sean estas multitemporales y /o espaciales deben ser comparadas con mucho cuidado entre paisajes y escalas diferentes, ya que la composición y estructura de los paisajes pueden tener efectos drásticos sobre los valores individuales de las mismas. Por ello es muy importante conocer el rango esperado de variación de los valores de las métricas en las comparaciones estadísticas, para así poder hacer inferencias libres de sesgos; ya que paisajes con diferencias significativas en patrones espaciales aun pueden exhibir “similaridad funcional” en un sentido ecológico. Así, simplemente porque dos conjuntos de métricas de paisaje difieran significativamente, no quiere decir que el comportamiento de las diferentes especies en esos paisajes será también significativamente diferente.

La heterogeneidad espacial está presente en todas las escalas y formas, y es la base fundamental de la estructura y funcionamiento de los paisajes, ya sean esto naturales o antrópicos, además sirve para entender como los paisajes afectan y son afectados por las actividades biofísicas y socioeconómicas (Wu 2003).

Además Wu (2003), muestra como cambiando la resolución espacial de los datos y la extensión del análisis, se afectan significativamente las métricas a nivel de clase y paisaje, además, más son las métricas que muestran relaciones de escala consistente cuando se cambia la resolución del análisis que cuando se varía la extensión del mismo a nivel de clase y paisaje; lo anterior indica que la variabilidad en las métricas de clase y paisaje es más fácil de predecir cuándo se cambia la resolución espacial que cuando se aumenta o disminuye el área de estudio.

2.4 Cambio de uso del suelo

Lambin *et al* (2003), resalta la diferencia entre cobertura y uso del suelo, la primera está dada por los atributos biofísicos o antrópicos de la superficie terrestre y lo segundo está basado en la utilización que el hombre da a esos atributos; así pues un área específica puede estar cubierta de pasto (cobertura), pero puede estar siendo usada para ganadería o una cancha de fútbol (recreación). También se hace referencia a la magnitud de los cambios, la *conversión* indica el reemplazo total de una cobertura por otra (café a caña) y la *modificación*, la cual implica sutiles cambios en la estructura de la cobertura, por ejemplo la extracción selectiva de especies maderables de un bosque causa perturbaciones.

2.4.1 Análisis multitemporales de cambio de uso del suelo

Los estudios multitemporales son llevados a cabo con el objeto de detectar cambios entre dos o más fechas de referencia, deduciendo de ahí la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre el medio. Además, son útiles para planificar las medidas adecuadas para evitar su deterioro o asegurar su mejor conservación. “El objetivo de los estudios multitemporales es encontrar una forma de combinar o integrar en el proceso varias imágenes correspondientes a diferentes fechas” (Chuvieco, 1990). En general, los esfuerzos de analizar y modelar los procesos de cambio de uso del suelo se orientan a responder las siguientes interrogantes: ¿cómo y por qué ocurre el cambio en el uso del suelo?, ¿dónde?. Estas tres interrogantes fundamentales son abordadas a través de metodologías apoyadas en el uso de sensores remotos y análisis estadístico espacial (Sandoval *et al*, 2005).

Otro aprovechamiento del análisis multitemporal es que implica el estudio del dinamismo de una determinada zona: espacios urbanos, forestales, áreas de agricultura, entre otros; también permite evaluar fenómenos como inundaciones, incendios forestales, deforestación, así como seguir la evolución de sus efectos (Chuvieco 1990). Además, las series de tiempo derivadas de los estudios con sensores remotos revelan que los cambios de

uso del suelo no siempre ocurren de manera progresiva, a veces se pueden presentar periodos episódicos de cambios rápidos y abruptos (Lambin, 2003).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una herramienta fundamental para el análisis multitemporal del uso del suelo. Los SIG, constituyen bases informatizadas de datos con algún componente espacial. La información que almacenan está referenciada geográficamente, ya que se trata de mapas, estadísticas o datos climáticos sobre un territorio concreto, por lo que todas estas variables pueden relacionarse mutuamente de formas muy diversas (ESRI 1998).

2.4.2 Modelos de cambio de uso del suelo

Para responder a la demanda de información sobre los ecosistemas terrestres a diversas escalas, se necesita entender el cambio en el uso de la tierra y cómo estos cambios influyen en la cobertura forestal en el tiempo. Los modelos forman una conexión entre factores antrópicos y físicos que determinan el uso del suelo y la cobertura forestal, estos a su vez proveen un entendimiento y sientan las bases teóricas para simulaciones y predicción de cambios. Los modelos explican el problema teóricamente, pero no duplican cada detalle del mundo real (Lambin 1994). De esta forma los modelos de dinámica espacial en un paisaje pueden ser utilizados para:

- Describir fenómenos espaciales cuantitativamente
- Predecir estos fenómenos a escala temporal
- Integrar lo espacial y lo temporal

En temas relacionados con procesos de deforestación se integran las escalas espaciales y temporales, ya que por ejemplo el cambio de bosque a otro tipo de cobertura se da en ecosistemas que ocupan unidades territoriales específicas (paisajes), y surge de la comparación entre dos tiempo concretos (tiempo 0 y tiempo 1), (Bocco 2001); de esta forma los modelos pueden responder a preguntas de “por qué?”, “cuando?” y “donde?” ocurren estos cambios.

Uno de los principales objetivos de los modelos relacionados con procesos de deforestación y cambio de uso es contribuir al entendimiento de los factores que intervienen y explican estos fenómenos. Es imposible identificar una única combinación de causas que provocan el cambio de uso y deforestación para todas las regiones del mundo, sin embargo se pueden definir factores aplicables a escala regional y local (Lambin 1994).

Los modelos de cambio de uso del suelo pueden ser vistos como una aproximación a una modelización paisajística de tipo retrospectivo (para trazar la historia de los paisajes) y prospectivos (como ayuda a la toma de decisiones), (Paegelow *et al*, 2001). Un ejemplo de análisis de este tipo fue llevado a cabo en Costa Rica por Pontius *et al* (2001), para ello se utilizó el modelo GEOMOD2, el cual cuantifica los factores asociados con el uso del suelo y simula sus patrones hacia adelante y atrás en el tiempo; así pues, se modeló la pérdida de cobertura de bosque en Costa Rica en los años 1940, 1961 y 1983, además se proyectó un mapa al 2010.

Entre otros tipos de modelos para proyectar el cambio de uso del suelo se destacan: el método estadístico de los datos funcionales o modelo paramétrico de tipo logístico, el cual utiliza funciones polinomiales, considerando no solamente la ocupación de suelo sino también las variables ambientales explicativas; los algoritmos de redes neuronales que agregan también variables explicativas suplementarias y las correlaciona en el espacio y tiempo (Paegelow *et al*, 2001). Por último, las cadenas de Markov permiten analizar la estabilidad del ecosistema en función de los cambios ocurridos en un periodo dado, además de proporcionar información sobre la tendencia de cada categoría de uso o cobertura establecida, en función de las probabilidades de transición entre categorías de uso (Lambin, 1994); esta metodología simula la predicción del estado de un sistema en un tiempo determinado a partir de dos estados precedentes, lo cual significa que la modelización no tiene en cuenta las variables explicativas y descriptivas (Paegelow *et al*, 2001).

2.5 Efecto de las formas del relieve sobre los patrones y procesos en el paisaje

De acuerdo con Swanson *et al* (1988), concebir la forma, el comportamiento y el contexto histórico de los paisajes es crucial para entender los ecosistemas desde un punto de vista temporal y sus diferentes escalas. En el largo plazo los procesos geomorfológicos crean las formas del relieve, pero a su vez en el corto periodo dichas formas controlan el arreglo espacial del paisaje y la magnitud de los mismos procesos geomorfológicos; los ecosistemas responden tanto a la configuración del relieve como a la geomorfología.

Turner *et al* (2001), resumió de Swanson (1988) los 4 efectos generales de las formas del relieve sobre los patrones y procesos de los ecosistemas.

1.- La elevación, aspecto, materiales parentales y la pendiente de las formas del relieve afectan el aire y temperatura del suelo, la cantidad de humedad, nutrientes y otros materiales disponibles dentro del paisaje. Estos patrones topográficos están fuertemente asociados a la distribución de la vegetación a través del paisaje.

2.- Las formas del relieve afectan a los organismos, propágulos, energía y materia a través del paisaje, por ejemplo canalización de los vientos en un cañón de un río puede guiar los patrones de distribución de semillas por el aire y afectar la dispersión de las mismas.

3.- Las formas del relieve afectan la frecuencia y patrones espaciales de las perturbaciones tales como el fuego, viento, o el pastoreo.

4.- Las formas del relieve condicionan los patrones espaciales y las tasas o frecuencias de los procesos geomorfológicos, el transporte de material orgánico e inorgánico.

2.6 Marco histórico del manejo del recurso forestal en Costa Rica

Para entender la dinámica del CBVCT es necesario reseñar el contexto histórico del cambio de uso del suelo en Costa Rica. De acuerdo con Pfaff *et al* (2004), desde la llegada de los españoles y hasta finales de la década de los cincuentas y principios de los sesentas, Costa Rica removió miles de hectáreas de bosque para dedicarlas a agricultura y a la producción ganadera. Este proceso fue el resultado de políticas de gobierno, así como del crecimiento de la población y la explotación agrícola. Al iniciar el intensivamente el

comercio entre Costa Rica y el resto del mundo se dio un gran impulso a la ganadería sobre todo en el norte del país, así como al café y a la caña en el centro del territorio, además grandes áreas de bosque fueron paulatinamente deforestadas para la extracción de madera; dado este panorama, Costa Rica estuvo por mucho tiempo entre los países con las mayores tasas de deforestación del mundo con alrededor de 3.9% anual entre 1950 y 1984 (Kleinn *et al*, 2005).

En las últimas dos décadas se ha visto una baja en la tasas de deforestación debido en parte a caídas en el precio de la carne, el café y la caña, además de incentivos y desincentivos en materia forestal. Además desde principios de los noventas se dio un vuelco hacia el turismo ecológico y se implementaron los pagos por servicios ambientales (PSA) (Pfaff *et al*, 2004). Hoy en día Costa Rica posee un sistema de conservación, en donde el 25% del territorio se encuentra protegido y en su mayor parte está cubierto de bosque (Kleinn *et al*, 2005).

2.6.1 *Las leyes forestales en Costa Rica*

La historia de la legislación forestal en Costa Rica se remonta al año 1969 con la creación de la Ley Forestal 4465 la cual establece como *“función esencial y prioridad del Estado, velar por la protección, la conservación, el aprovechamiento, la industrialización, la administración y el fomento de los recursos forestales del país, de acuerdo con el principio de uso racional de los recursos naturales renovables”*(Ley 4465); además se define el bosque *“como todas las asociaciones vegetales compuestas, predominantemente de árboles y otra vegetación leñosa”*. Se crean las figuras del Régimen Forestal, el Plan de Manejo Forestal, y los Certificados de Abono Forestal para todas aquellas personas que reforesten. En materia de protección se incluyen dentro de esta ley las zonas protectoras, reservas forestales, los parques nacionales, los refugios de vida silvestre y las reservas biológicas, y por último se establecen los rangos de protección para márgenes de los ríos, lagos, y manantiales (Ley 4465).

En el año 1986 se crea la Ley 7032 como parte de una reforma y ratificación al mismo tiempo de la Ley de 1969, entre los cambios más importantes se destaca que la presentación del plan de manejo forestal es de carácter obligatorio ante la Dirección General Forestal para la corta o explotación de los bosques; además se ratifican las figuras del Certificado de Abono Forestal (CAF), Certificado de Abono Forestal por Adelantado (CAFA), Certificado de Manejo de Bosque Natural (CAFMA), y el Certificado para la Protección de Bosque (CPB), (Ley 7032).

En el año 1996 se derogó la Ley 7032 y se creó la 7575, la cual *“establece como función esencial y prioritaria del Estado, velar por la conservación, protección y administración de los bosques naturales para la producción, el aprovechamiento, la industrialización y el fomento de los recursos forestales del país destinados a ese fin, de acuerdo con el principio de uso adecuado y sostenible de los recursos naturales renovables. Además, velará por la generación de empleo y el incremento del nivel de vida de la población rural, mediante su efectiva incorporación a las actividades silviculturales”* (Ley 7575); se observa un concepto más holístico e integral del manejo del recurso forestal según la ley, así mismo el concepto de bosque se redefinió como: *“Ecosistema nativo o autóctono, intervenido o no, regenerado por sucesión natural u otras técnicas forestales, que ocupa una superficie de dos o más hectáreas, caracterizada por la presencia de árboles maduros de diferentes edades, especies y porte variado, con uno o más doseles que cubran más del setenta por ciento (70%) de esa superficie y donde existan más de sesenta árboles por hectárea de quince o más centímetros de diámetro medido a la altura del pecho (DAP)”*(Ley 7575).

Esta ley introduce la figura, de los servicios ambientales, la certificación forestal y el pago por servicios ambientales; como parte de un mecanismo de desincentivos en los terrenos cubiertos de bosque, no se permitirá cambiar el uso del suelo, ni establecer plantaciones forestales, además se prohíbe la corta o el aprovechamiento de los bosques en parques nacionales, reservas biológicas, manglares, zonas protectoras, refugios de vida silvestre y reservas forestales propiedad del Estado (Ley 7575).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Antecedentes del área de estudio

El Corredor Biológico Volcánica Central – Talamanca se creó en el 2003 dentro del marco del Corredor Biológico Mesoamericano como una propuesta participativa entre la comunidad de Turrialba-Jiménez. En el 2008 se hizo una modificación de los límites del Corredor Biológico Volcánica Central – Talamanca (como es conocido a partir del 2006), los cambios consistieron en agregar el sector de Barbilla y la totalidad del distrito de Turrialba. Así mismo, se incluyeron dentro del corredor las áreas correspondientes al Parque Nacional Volcán Turrialba, el Monumento Nacional Guayabo, la Zona Protectora de la cuenca del Río Tuis y la Reserva Privada de Vida Silvestre La Marta (Canet, 2008).

Desde el punto de vista político-administrativo el 75% del corredor se encuentra en la provincia de Cartago y el 25% en la de Limón. En Cartago, el corredor abarca de manera parcial cuatro cantones: Turrialba, Jiménez, Alvarado y Paraíso; en la provincia de Limón el corredor se extiende parcialmente en los cantones de Siquirres, Guácimo y Matina.

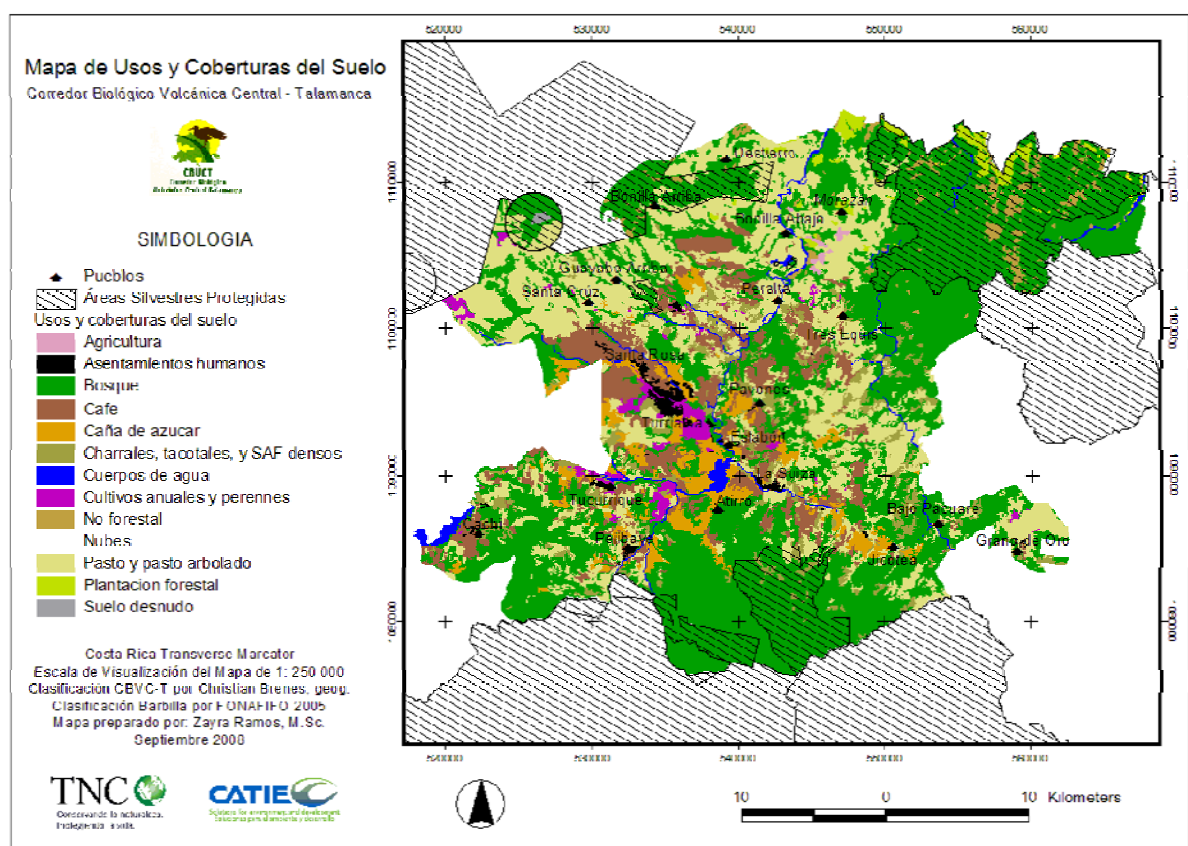
Las condiciones climáticas que imperan en el CBVCT están influenciadas por el sistema de vientos alisios que incursionan por la vertiente del Caribe y que aportan el total de la humedad que se distribuye en toda la Cordillera Volcánica Central. El sistema montañoso de la zona proporciona la formación de masas nubosas, por lo que la distribución de las lluvias es uniforme a lo largo del año, la precipitación anual es de 2650 mm en la zona norte y central del corredor y en la zona sur es de 6000 mm, (Murrieta, 2006). En cuanto a los suelos, el CBVCT está compuesto en un 55% de ultisoles y un 45% de inceptisoles; además el rango elevaciones del corredor va de los 400 msnm a los 3340 msnm.

De acuerdo con Murrieta (2006), y según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1978) y el Atlas de Costa Rica del Instituto Tecnológico de Costa Rica (2004), el CBVCT presenta siete zonas de vida y tres transiciones (Cuadro 2).

Cuadro 2. Zonas de vida presentes en el CBVCT

Código	Zona de Vida	Piso	Hectáreas	%
bh-T12	Bosque húmedo Tropical transición a Premontano	Basal	2471,27	2
bmh-T	Bosque muy húmedo Tropical	Basal	4636,52	3
bmh-T12	Bosque muy húmedo Tropical transición a Premontano	Basal	12887,82	8
bh-P	Bosque húmedo Premontano	Premontano	930,91	1
bmh-P6	Bosque muy húmedo Premontano transición a Basal	Premontano	1310,15	1
bmh-P	Bosque muy húmedo Premontano	Premontano	48581,07	30
bmh-P4	Bosque muy húmedo Premontano transición a pluvial	Premontano	8217,54	5
bp-P	Bosque pluvial Premontano	Premontano	22442,53	14
bmh-MB	Bosque muy húmedo Montano bajo	Montano bajo	48581,07	30
bp-MB	Bosque pluvial Montano bajo	Montano bajo	7257,28	5
bp-M	Bosque Pluvial Montano	Montano	2795,41	2
Total			160111,58	100

Fuente: Canet (2008).



Fuente: Canet, 2008.

Figura 3. Mapa de uso del suelo del CBVCT

De acuerdo con la nueva delimitación del CBVCT y la última actualización del uso del corredor (2008), el bosque domina el 50% del espacio, seguido por los pastos con 25%, y en menor grado por el café (8.5%), los charrales (4.5%) y la caña (4.2%). (Canet, 2008), (Figura 3), (Cuadro 3). Cabe señalar que esta nueva versión del mapa es la unión de la clasificación del uso del suelo del 2008 presentada como área de estudio en esta investigación, así como el uso del suelo del Corredor Biológico Barbilla (Fonafifo, 2005).

Cuadro 3. Estadísticas de uso del suelo en el CBVCT de acuerdo con la Ficha Técnica del CBVCT.

Tipo de Uso	Extensión (ha)	%
Agricultura	191,31	0,17
Asentamientos humanos	864,21	0,76
Bosque	59338,53	51,85
Bosque secundario	80,83	0,07
Caña de azúcar	4801,77	4,20
Café	9695,67	8,47
Cuerpos de agua	1894,71	1,66
Cultivos anuales y perennes	1515,97	1,32
Charrales, tacotales, y SAF densos	5083,00	4,44
No forestal	1977,91	1,73
Nubes	45,88	0,04
Pasto y pasto arbolado	27645,27	24,15
Plantaciones forestales	1316,40	1,15
Total	114451,46	100

Fuente: Canet, 2008

3.2 Fases metodológicas

Esta investigación se enfocó en analizar la dinámica del cambio de uso del suelo en el CBVCT y en determinar cómo dichos cambios han incidido en la estructura, composición y conectividad del paisaje, además de ofrecer un escenario de uso del suelo al año 2015 del cual también se derivaron métricas de paisaje y redes de conectividad estructural. Es preciso indicar que la escogencia de los años mapeados obedeció a la disponibilidad de las imágenes de satélite y fotos aéreas adquiridas, es por ello que los intervalos son disimiles. Las fases metodológicas se describen a continuación (Cuadro 4):

Cuadro 4. Fases metodológicas del estudio

FASE METODOLOGICA	PROPOSITO	PRODUCTOS
Fase 1. Recopilación de información cartográfica de base	Obtención de información de fuentes primarias y secundarias para realización de análisis	Fotos aéreas, imágenes de satélite, cartografía de ríos, caminos, curvas de nivel, capacidad de uso y poblados
Fase 2. Ortorectificación de fotografías aéreas y corrección de imágenes satelitales	Corrección geométrica y radiométrica de las imágenes de satelitales y fotos aéreas utilizadas	Mosaicos de ortofotos e imágenes de satélite corregidas
Fase 3. Elaboración de mapas de uso del suelo para cada periodo a evaluar	Clasificación semiautomática de imágenes de satélite los diferentes años e interpretación visual de las imágenes evaluadas	Mapa de uso del suelo de los años 1986, 1996, 2001 y 2008.
Fase 4. Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo	Análisis de la dinámica de cambio de uso del suelo en el CBVCT	Matrices de cambio de uso del suelo entre periodos, estadísticas de magnitud y dirección de los cambios y sus respectivos mapas.
Fase 5. Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo en unidades de capacidad de uso.	Determinar históricamente los conflictos de uso en el CBVCT. (Uso a capacidad, subuso, sobreuso)	Estadísticas y mapas del uso del suelo de acuerdo a la capacidad de uso y sus cambios a través del tiempo
Fase 6. Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo respecto a unidades fisiográficas	Determinar la relación histórica del uso del suelo con las formas de relieve en el CBVCT	Estadísticas y mapas del uso del suelo de acuerdo a la formas del relieve y sus cambios a través del tiempo
Fase 7. Análisis de paisaje por cada periodo cartografiado	Estimación de la estructura y composición del paisaje en cada periodo	Base de datos y cuadros estadísticos comparativos de estructura y composición del área de estudio a nivel de paisaje y clase
Fase 8. Diseño de rutas de conectividad estructural	Creación de rutas de conectividad en cada uno de los mapas de uso del suelo, con el fin de observar y comparar su evolución histórica	Mapas vectoriales de rutas para hacer análisis comparativos de distancias recorridas, usos de suelo, y valores de fricción atravesados.
Fase 9. Creación de escenario de cambio de uso del suelo a futuro.	Creación escenario de cambio de uso del suelo a futuro a partir de las tendencias observadas en el tiempo, más la introducción de variables explicativas.	Mapa de uso del suelo del área de estudio proyectado al 2015, como una herramienta a la toma de decisiones.

3.3 Ortorectificación de fotografías aéreas y corrección de imágenes de Satélite

3.3.1 Creación del modelo de elevación digital

Para la elaboración del modelo de elevación digital (MED) se utilizaron las hojas cartográficas digitales del Proyecto Terra (1998) escala 1:25 000 del área de estudio, para ello se requirió de las curvas de nivel (separadas cada 25 metros de altitud) y de la red de

drenaje. Para la construcción del DEM se usó el programa ARCVIEW (ESRI, 2002); para dicha tarea primero se creó la Red de Triángulos Irregulares (*TIN* por sus siglas en inglés), ello se logra con la función Create TIN from Features de la extensión 3D Analysis (ESRI 2002), una vez obtenido el TIN se procedió a crear el DEM con la función Convert to Grid de la extensión Spatial Analyst (ESRI, 2002); el DEM resultante tiene una resolución espacial de 10 metros

3.3.2 *Generación de Ortofotos y corrección de imágenes de satélite*

Para la creación de las ortofotos se emplearon los siguientes insumos: fotografías aéreas crudas (previamente escaneadas) de los años 2005, 1998, 1984, 1978, 1968 y 1956, el DEM, archivo vectorial de carreteras y ríos escala 1: 25 000 (Terra, 1998), así como un mosaico de ortofotos del año 2003 escala 1: 40 000 con resolución espacial de 1.2 metros (Proyecto Carta 2003).

El proceso de ortorrectificación supone la corrección de varios tipos de errores inherentes a las fotografías aéreas convencionales y digitales, entre los cuales se destacan:

- La distorsión radial
- El desplazamiento
- Distorsión del terreno

La distorsión radial es la primer fuente de error, la cual es introducida por el lente de la cámara y es debida a la curvatura del mismo, este error decrece del centro de la foto hacia los bordes de la misma (PCI Geomatics, 2000). Esta falla se enmienda conociendo los parámetros de orientación interior de la cámara fotogramétrica. El desplazamiento es un tipo de error que se crea a consecuencia de los movimientos del avión tanto verticales como horizontales (PCI Geomatics, 2000), este error se corrige con la captura de puntos de control de campo ya sea de GPS, vectores o imágenes previamente georeferenciadas. La distorsión del terreno es la tercer tipo de distorsión y se debe a la variación de las alturas del la superficie terrestre, es decir por los cambio en la elevación del terreno, dicha distorsión se compensa con el DEM (PCI Geomatics, 2000).

Para crear las ortofotos se utilizó el programa Leica Photogrametric Suite (LEICA-ERDAS, 2004), en el cual se corrigieron los errores anteriormente mencionados para todas y cada una de las fotos aéreas crudas en formato digital, por lo que se emplearon los parámetros de las cámaras fotogramétricas, el DEM como referencia vertical (coordinada Z), los vectores de calles, ríos y mosaicos de ortofotos del año 2003 de donde se obtuvo referencia horizontal (coordenadas X, Y).

3.3.3 Corrección de imágenes de satélite

En este estudio se utilizaron 5 imágenes de satélite: Una imagen Aster de 15 metros de resolución del 2008, una imagen Landsat ETM (Enhanced Thematic Mapper) del 2001 (28.5 m), una imagen Landsat TM (Thematic Mapper) de 1996 (28.5 m), una imagen Landsat TM de 1986 (28.5 m) y por último una imagen Landsat MSS (Multispectral Scanner) de 1979 (57.5 m). El componente espectral de las imágenes fue restablecido mediante el uso de la herramienta *Calibration Utilities* del programa ENVI 4.5; la parte espacial fue corregida mediante la herramienta *Geometric Correction* del programa ERDAS 9.1, para este caso todas las imágenes se volvieron a georeferenciar respecto a la imagen ASTER del 2008, ello para evitar problemas de desplazamiento entre las mismas.

3.4 Elaboración de mapas de uso del suelo para cada periodo a evaluar

3.4.1 Clasificación de imagen de satélite y digitalización de uso del suelo

En esta fase se elaboraron los 4 mapas de uso del suelo (1986, 1996, 2001, 2008) utilizados para los análisis. Primero se creó el año 2008, para ello se usó el programa SPRING 4.3.3 (INPE, 2007), con la ayuda de la herramienta llamada *Segmentación*, se clasificó la imagen, siendo 2 ha la unidad mínima de mapeo y 10 números digitales la similitud espectral; en total se mapearon 11 usos del suelo (Cuadro 5).

El resultado preliminar de este proceso fue un mapa de polígonos creados a partir de la textura de la imagen, dichos polígonos no quedaron asociados a algún uso del suelo determinado; la asignación de los usos de suelo se hizo sobreponiendo la capa resultante sobre la imagen Aster 2008, de manera visual con una escala de 1: 25 000 en pantalla y usando el programa ARCVIEW 3.3 se interpretó el mapa, este proceso fue acompañado por la toma de puntos de control en campo con GPS y el uso de fotos aéreas de 2005 y 2003 como verificación. Una vez se etiquetó el mapa del 2008, este se sobrepuso a la imagen del 2001, se editaron los cambios tanto de forma de polígonos, como de aparición o desaparición de los mismos; este proceso se hizo de manera sucesiva hasta llegar a la imagen de 1986. La topología de los mapas fue corregida usando el programa ARCINFO WORSTATION 9.0 (ESRI, 2004), utilizándose los comandos CLEAN, BUILD y ELIMINATE.

Las fotos aéreas de 1978, 1984, 1998, así como la imagen Landsat de 1979 fueron utilizadas como complemento de la fase de interpretación del periodo 1986-2008. La información básica de las imágenes y fotos usadas se resume en el cuadro 6 (Cuadro 6)

Cuadro 5. Usos de suelo cartografiados según el año.

Uso	Año			
	1986	1996	2001	2008
Bosque	0	0	0	0
Charrales y SAF	0	0	0	0
Caña de azúcar	0	0	0	0
Café	0	0	0	0
Asentamientos Humanos	0	0	0	0
Cultivos anuales y perennes	0	0	0	0
Cuerpos de agua	0	0	0	0
Suelo Desnudo	x	x	0	0
Sarán	x	x	0	0
Lotificación	x	x	x	0
Plantación forestal	x	0	0	0

O = Se encontró, X= No se encontró

Cuadro 6. Información de imágenes de satélite y fotos aéreas.

Año	Escala	Resolución (m)	Comentario
2008	ND	15	Imagen Aster
2001	ND	28.5	Imagen Landsat ETM
1996	ND	28.5	Imagen Landsat TM
1986	ND	28.5	Imagen Landsat TM
2005	1: 40 000	1.2	Ortofotos Misión CARTA
2003	1: 40 000	1.2	Ortofotos Misión CARTA
1998	1 :40 000	1	Ortofotos Proyecto Terra
1984	1: 20 000	2	Ortofotos
1979	ND	57.5	Imagen Landsat MSS
1978	1: 30 000	2	Ortofotos

3.4.2 *Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo*

Para medir los cambios de uso del suelo tanto en magnitud (hectáreas) como en su dirección (por ejemplo charral - bosque), se derivaron las matrices y mapas de transición de los periodos 1986-1996, 1996-2001 y 2001-2008. Este proceso se llevó a cabo con el programa IDRISI Andes (Clark University, 2006) mediante el modulo CROSSTAB.

Para calcular la tasa de crecimiento natural se usó la siguiente fórmula (Peña-Cortés *et al*, 2006):

$$TCC_i = \frac{[\ln(A_{i1}) - \ln(A_{i0})] * 100}{(t_1 - t_0)}$$

En donde:

TCC_i = la tasa de cambio promedio anual, para la clase i en el periodo evaluado.

A_{i1} = Superficie total de la clase i en el paisaje en el tiempo 1.

A_{i0} = Superficie total de la clase i en el paisaje en el tiempo 0.

$(t_1 - t_0)$ = Delta de tiempo entre dos periodos de tiempo evaluados.

3.4.3 Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo en unidades de capacidad de uso

Siguiendo la metodología de Arroyo *et al.* (2004), se hizo un análisis comparativo de usos del suelo por periodo contra el Mapa de Capacidad de Uso de las Tierras Forestales 1: 50 000 (Fundación Neotrópica, 1994), esta sobreposición permite observar como a través del tiempo han evolucionado las diferentes ocupaciones del suelo en las unidades de capacidad de uso. También se elaboró un mapa de conflictos de uso del suelo por cada periodo evaluado. La leyenda del mapa de capacidad de uso de la Fundación Neotrópica está compuesta de las siguientes clases:

A-Tierras Agropecuarias

VI- Tierras para plantaciones forestales o cultivos permanentes

VF y VII – Tierras para el manejo del bosque o regeneración natural

VIII- Tierras para protección

Los mapas de conflictos de uso resultantes están compuestos por las siguientes categorías:

-Subuso

-Uso a capacidad

-Sobreuso

-No aplica

3.4.4 Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo por formas de relieve derivadas del Índice de Posición Topográfica.

Utilizando la extensión TOPOGRAPHIC POSITION INDEX (TPI) (Jenness, 2006) para ARCVIEW 3.3 (ESRI, 2002) primero se calculó el TPI, a 100 m y 500 m, luego se generó el mapa de clasificación de formas del relieve a partir de la unión de los mapas de estos 2 índices.

El mapa de formas de relieve contiene 10 categorías:

- Cañones y corrientes profundamente disectadas
- Drenajes de tierras altas, cabeceras de río
- Drenajes de pendientes medias, valles poco profundos
- Valles en U
- Planicies
- Pendientes abiertas
- Pendientes altas, mesetas
- Crestas locales, colinas en valles
- Crestas intermedias, pequeñas colinas en planicies
- Cimas de montaña, crestas altas

El mapa de uso del suelo de cada año evaluado se sobrepuso al de formas del relieve, de allí se extrajo la estadística de la proporción de espacio que ocupa cada uso según la forma del relieve. El propósito de este análisis es observar la relación histórica de los cambios del uso del suelo y las diferentes formas de relieve.

3.4.5 Creación de escenario de cambio de uso del suelo al 2015

En esta fase se creó un escenario de cambio de uso del suelo para el año 2015, para ello se usó el modulo Land Change Modeler de IDRISI Andes (Clark University, 2006), el cual utiliza las funciones Change Analysis, Transitions Potenciales, y Change Prediction. El algoritmo usado para la modelación es el MULTILAYER PERCEPTRON, el cual trabaja a partir de la creación de *redes neuronales*. El escenario se creó a partir de las transiciones de uso del suelo observadas en el periodo 2001-2008, así como de la introducción de variables explicativas del cambio (*driving forces*), en este caso se hizo uso de la pendiente, distancia a centros poblados, distancia a carreteras y una capa de la *evidencia de probabilidad* de los usos del 2001, la cual se crea al determinar la frecuencia de cambio de un uso determinado sólo sobre las áreas en transición en el periodo 2001-2008 y la probabilidad de cambio de éste sobre el resto de mapa como si fuera sujeto de transición en su totalidad.

Para crear los escenarios se consideraron las siguientes transiciones:

- Bosque a pasto
- Bosque a charral
- Pasto a charral
- Charral a bosque
- Charral a pasto
- Pasto a asentamientos humanos
- Café a Asentamientos humanos
- Caña a asentamientos humanos
- Café a otros (Lotificación, sarán, suelo desnudo)

Por limitaciones del software utilizado, no se pudieron modelar todas las transiciones encontradas entre el 2001 y 2008, por ello se escogieron las de mayor magnitud.

3.5 Análisis de paisaje

Haciendo uso del programa Fragstats 3.0 (Mcgarigal 2002), se realizó un análisis de paisaje para cada uno de los años evaluados, dicho análisis se llevó a cabo tanto a nivel de paisaje como de clase.

Se utilizaron las siguientes métricas a nivel de paisaje y clase (Mcgarigal 2002), (Badii *et al*, 2006):

Área Total (TA): Donde A= área total del paisaje en metros cuadrados dividido entre 10000 para obtener hectáreas (clase y paisaje)

$$TA = A \left(\frac{1}{10,000} \right)$$

Numero de parches (NP): Cantidad de parches presentes en el paisaje (clase y paisaje)

Densidad de parches (PD): Número total de parches dividido entre el área total del paisaje, multiplicado por 10000 y por 100. (Unidades: numero de parches por cada 100 ha), (clase y paisaje)

$$PD = \frac{N}{A} (10,000)(100)$$

Tamaño promedio de parches (Área MN): Suma de las áreas de todos parches presentes en el paisaje dividido entre la cantidad de parches (Unidades: hectáreas), (clase y paisaje).

$$MN = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij}}{N}$$

Densidad de borde (ED): Es la suma total de los metros de borde incluidos en el paisaje dividido entre el total del paisaje (metros cuadrados) multiplicado por 10000. (Unidades: m borde por hectárea), (clase y paisaje).

$$ED = \frac{E}{A} (10,000)$$

Distancia promedio mínima al vecino más próximo (ENN MN): Es la suma de los promedios de las distancias mínimas de los de vecinos más cercanos de cada clase, dividido entre la cantidad de clases presentes en el paisaje. (Unidades: metros), (clase y paisaje).

$$MN = \frac{\sum_{j=1}^n X_{ij}}{n_i}$$

Índice de contagio (CONTAG): Este índice expresa la forma de agregación de los elementos que conforman el paisaje. El cálculo del índice del contagio está basado en las adyacencias de las celdas. Valores altos del índice se relacionan con paisajes formados con elementos extensos y con pocas superficies de contacto entre ellos; por el contrario, valores bajos reflejan que el paisaje se encuentra fragmentado en un mosaico de pequeños elementos, con un alto número de superficies de contacto entre ellos. (Unidades: %), (paisaje).

$$Contag = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[\left(P_i \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right) \left[\ln \left(P_i \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right) \right] \right]}{2 \ln(m)} \right] \quad (100)$$

$m = n^\circ$ de clases

g_{ik} = número de adyacencias entre celdas de la clase i y k

P_i = Proporción del paisaje ocupada por la clase i

Unidad: %, Intervalo: $0 < CONTAG \leq 100\%$

Índice de esparcimiento y juxtaposición (IJI): analiza las relaciones de vecindad o adyacencia entre elementos. Expresa el grado de entremezcla en la que se encuentran los elementos que conforman un paisaje.

El índice obtiene valores pequeños cuando sus elementos están entremezclados o distribuidos desproporcionalmente. Valores altos dibujan un mosaico con poca agregación de elementos y muchas clases mantienen vecindad con muchas otras clases. El valor más alto ocurriría si todas las clases delimitan mediante sus elementos con todas las otras clases con la misma magnitud. El IJI, sin embargo, es indiferente a cambios en número, tamaño o dispersión de elementos. Es además un índice relativo, su valor es un porcentaje que expresa el nivel de entremezcla de cada paisaje (clase y paisaje).

$$IJI = \frac{-\sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m [(E_{ik}) * \ln(E_{ik})]}{\ln\left(\frac{m(m-1)}{2}\right)}$$

m = n° de clases

E_{ik} = longitud de bordes entre clase i y clase k

Unidad: %, Intervalo: 0 < IJI ≤ 100%

3.6 Evolución y creación de escenarios de redes de conectividad ecológica en el Corredor

Se diseñaron de redes de conectividad estructural en el corredor para cada año evaluado y además se simuló una red en el escenario de uso del suelo al 2015. Para la selección de capas, distancias, tamaños, intervalos, pesos, y ponderaciones, se tomaron como base los trabajos realizados por Hctor *et al* (2000), Ramos *et al* (2005), Sánchez *et al* (2007), Céspedes (2008), Murrieta *et al* (2007), Useche (2006), Ortega (2008), y Jiménez (2009). Para la construcción de las redes se utilizó el siguiente modelo (Figura 4):



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Modelo para creación de redes de conectividad estructural

Para la creación de las redes se extrajo la capa de bosques de cada mapa de uso del suelo, a dichas capas se les calculó el área núcleo y el índice de forma utilizando la extensión PATCH ANALYST de ARCGIS 9.2 (ESRI, 2006), en el caso de las áreas núcleo se restaron los primeros 100 m de borde a cada parche y se dejaron por fuera del análisis todos aquellos en los cuales su área interior fue menor a 2 ha; tanto las capas de índice de forma como área interior fueron reclasificadas en tres rangos; además se utilizó la cartografía de ríos y caminos a las que se les generó un buffer a tres distancias diferentes, por último se utilizó un mapa de pendientes en porcentaje que también se reagrupó en cinco rangos.

Estos temas fueron superpuestos en un análisis multicriterio del cual se seleccionaron los núcleos de los bosques prioritarios que sirven de nodos de conexión de la red; dicha sobreposición se realizó mediante la herramienta WEIGHTED OVERLAY de ARCGIS 9.2 (ESRI, 2006), (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores, rangos, pesos y ponderaciones usados para la creación de las redes de conectividad

Rangos de área núcleo e índice de forma			
Área núcleo 86 (ha)	Valor del Rango	Índice forma 86	Valor del Rango
2.035-1045.2	1	1.078-3.396	1
1045.2-2088.5	2	3.396-5.713	2
2088-3131.7	3	5.713-8.031	3
Área núcleo 96 (ha)		Índice forma 96	Valor del Rango
2.007-1034.49	1	1.07-3.6	1
1034.49-2066.972	2	3.6-6.13	2
2066.972-3099.455	3	6.13-8.66	3
Área núcleo 01 (ha)		Índice forma 01	Valor del Rango
2.007-1041.207	1	1.081-3.607	1
1041.207-2080.407	2	3.607-6.133	2
2080.407-3119	3	6.133-8.66	3
Área núcleo 08 (ha)		Índice forma 08	Valor del Rango
2.005-1035.72	1	1.081-3.708	1
1035.72-2071.23	2	3.708-6.336	2
2071.238-3106.756	3	6.336-8.963	3
Rangos de pendientes, distancia a ríos y calles			
Distancia calles (m)	Distancia ríos (m)	Pendientes %	
0-100	0-100	0-15	
100-300	100-300	15-30	
300 y +	300 y +	30 y +	
Ponderaciones para análisis multicriterio			
Variable	Escala de Valor	Ponderación	
Pendiente			
1	Vulnerabilidad alta	40	
2	Vulnerabilidad media		
3	Vulnerabilidad baja		
Distancia ríos			
3	Conveniencia alta	35	
2	Conveniencia media		
1	Conveniencia baja		
Distancia calles			
1	Vulnerabilidad alta	10	
2	vulnerabilidad media		
3	Vulnerabilidad baja		
Área núcleo			
1	Conveniencia baja	5	
2	Conveniencia media		
3	Conveniencia alta		
Índice forma			
3	Conveniencia alta	10	
2	Conveniencia media		
1	Conveniencia baja		

El mapa resultante es un raster que expresa la prioridad de los parches de bosque a partir de la combinación de las variables y pesos usados, de dicha cobertura se extrajeron todos los bosques con alta conveniencia y baja vulnerabilidad (valor 3), estos bosques fueron convertidos a formato vectorial (polígonos), se eliminaron todos aquellos polígonos menores a 2 hectáreas, a los parches remanentes se le extrajo el centro geométrico; dichos puntos son los que se utilizan como nodos de conexión de la red.

Los mapas de fricción son creados a partir de la reclasificación del uso del suelo, en donde a cada categoría de uso se le asigna un valor de resistencia al tránsito (Cuadro 8), estos valores fueron constantes a lo largo de los años, exceptuando del caso de la plantación para la cual su fricción fue disminuyendo conforme esta aumenta su grado de cobertura al suelo.

Para el trazo de la red se escoge el centro de uno de los parches prioritarios a manera de nodo de salida (para este análisis se seleccionó el nodo ubicado más al sur de todo el CBVCT), con dicho nodo y la capa de fricción se crea el mapa de *costo de distancia* (función COST DISTANCE, ARCGIS 9.2, ESRI, 2006), por último con la capa de costo distancia y el resto de los nodos prioritarios se crea el mapa de *costo de paso* (función COST PATH, ARCGIS 9.2, ESRI, 2006), la cual es un conjunto de líneas que une el nodo de salida con los nodos de llegada.

Cuadro 8. Valores de fricción utilizados para la elaboración de mapa de costo - distancia

uso	Valor de fricción			
	1986	1996	2001	2008
Bosque	1	1	1	1
Pasto	15	15	15	15
Charral	3	3	3	3
Caña	20	20	20	20
Café	5	5	5	5
Asentamientos	30	30	30	30
c/a	35	35	35	35
Cultivos anuales	10	10	10	10
Suelo desnudo	x	x	9	9
Sarán	x	x	35	35
Plantación	x	10	5	3
Lotificación	x	x	x	7

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo en el CBVCT entre 1986 y 2008

4.1.1 Estadísticas de uso del suelo para cada año evaluado

Se realizaron análisis comparativos entre los años cartografiados con el fin de cotejar y observar el comportamiento del uso del suelo a lo largo de todo el periodo, se calcularon tasas y promedios como un primer acercamiento a un análisis más exhaustivo que será revisado más adelante.

Cuadro 9. Distribución relativa y absoluta del uso del suelo en el CBVCT, entre 1986 - 2008

AÑO	1986		1996		2001		2008	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
BOSQUE	29549.23	39.24	29632.95	39.35	30118.73	40.00	30523.73	40.53
PASTO	21827.23	28.99	21082.75	28.00	21197.50	28.15	20858.83	27.70
CAFÉ	10690.20	14.20	9993.58	13.27	9812.84	13.03	9624.38	12.78
CHARRALES	5782.70	7.68	6279.10	8.34	5621.24	7.46	5563.33	7.39
CAÑA	4706.80	6.25	4931.44	6.55	4877.01	6.48	4843.51	6.43
C/AGUA	1412.91	1.88	1408.16	1.87	1554.55	2.06	1554.55	2.06
CULTIVOS A/P	816.62	1.08	1043.30	1.39	1021.30	1.36	977.60	1.30
ASENTAMIENTOS	518.76	0.69	738.18	0.98	808.97	1.07	859.86	1.14
PLANTACIÓN	0.00	0.00	192.53	0.26	192.53	0.26	192.53	0.26
SARÁN	0.00	0.00	0.00	0.00	90.86	0.12	80.96	0.11
SUELO DESNUDO	0.00	0.00	0.00	0.00	8.93	0.01	8.93	0.01
LOTES	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	216.25	0.29
TOTAL	75304.44	100	75304.44	100	75304.44	100	75304.44	100

Se mapeó el uso del suelo en los años 1986, 1996, 2001, 2008, a partir de la clasificación e interpretación de imágenes de satélite (Cuadro 9), generándose un mapa para cada año evaluado (Anexo 1, 2, 3, 4).

El paisaje del CBVCT es dominado por el bosque durante todos los años analizados con valores que van de 39.2% en 1986 a 40.5% en 2008, lo que significa un aumento del

1.3% en el plazo de 22 años. Estos porcentajes de cobertura convierten al CBVCT en un paisaje *fragmentado* (>10%-60%<) de acuerdo con McIntyre & Hobbs (1999).

El segundo uso con mayor dominancia en el CBCVCT es el pasto, con coberturas que oscilan entre 29.0% en 1986 y 27.7% en 2008, en tercer término se encuentra el café cuyos valores han fluctuado entre 14.2% y 12.8% de 1986 al 2008, los charrales registraron extensiones que van del 7.7% al 7.4% en el periodo de 22 años; los cuerpos de agua vieron incrementada su superficie de 1.9% a 2.1% en el horizonte de tiempo; los asentamientos humanos casi duplicaron su extensión en el periodo analizado pasando de 0.7% en 1986 a 1.1% en 2008.

Calvo (2008) presenta los porcentajes de cobertura forestal para Costa Rica y por provincia, desde 1960 hasta el 2005, así pues para Cartago en 1986 fue de 66.8%, 64.3% en 2000 y 65.0% en 2005, la estabilidad de estos valores concuerdan con los presentados en esta investigación, cabe recordar que el área de estudio está inmersa totalmente en la provincia de Cartago.

Cuadro 10. Tasas de crecimiento anual, tasa cambio promedio, diferencia neta y porcentaje de cambio el CBVCT entre 1986-2008

USO	TC 86-96	TCP 86-96	DIF 96-86	% CAMBIO	TC 96-01	TCP 96-01	DIF 96-01	% CAMBIO	TC 01-08	TCP 01-08	DIF 01-08	% CAMBIO
BOSQUE	0.03	8.37	83.72	0.28	0.33	97.16	485.78	1.61	0.19	57.86	405.00	1.33
PASTO	-0.35	-74.45	-744.48	-3.53	0.11	22.95	114.75	0.54	-0.16	-48.38	-338.67	-1.62
CAFÉ	-0.67	-69.66	-696.62	-6.97	-0.37	-36.15	-180.74	-1.84	-0.19	-26.92	-188.46	-1.96
CHARRALES	0.82	49.64	496.40	7.91	-2.21	-131.57	-657.86	-11.70	-0.10	-8.27	-57.92	-1.04
CAÑA	0.47	22.46	224.64	4.56	-0.22	-10.89	-54.43	-1.12	-0.07	-4.79	-33.50	-0.69
C/AGUA	-0.03	-0.47	-4.75	-0.34	1.98	29.28	146.39	9.42	0.00	0.00	0.00	0.00
CULTIVOS A/P	2.45	22.67	226.69	21.73	-0.43	-4.40	-22.00	-2.15	-0.44	-6.24	-43.70	-4.47
A/H	3.53	21.94	219.42	29.72	1.83	14.16	70.78	8.75	0.61	7.27	50.90	5.92
PLANTACIÓN	ND	ND	ND	ND	-0.25	-0.49	-2.45	-1.27	0.00	0.00	0.00	0.00
SARÁN	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.00	0.00	0.00	0.00
SUELO D.	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.00	0.00	0.00	0.00
LOTES	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

TC: Tasa crecimiento natural; TCP: Tasa cambio promedio (Dif Ha/ Numero años); DIF: Cambio neto en el periodo.

El comportamiento de la cobertura boscosa para cada periodo revela que sí bien es cierto esta ha permanecido constante en términos generales, también se observa una

tendencia hacia a la alza, esto deducido a partir de los porcentajes de cambio los cuales han pasado de 0.28% (1986-1996) a 1.33% (2001-2008), otro es del ritmo de crecimiento, el cual presentó valores de 0.03% 0.3% y 1.3% para cada uno de los intervalos (Cuadro 10) (Figura 6).

El pasto exhibió un comportamiento más errático, durante el primer intervalo presentó un decrecimiento de su superficie (-3.5%), en el siguiente horizonte reportó un aumento (0.5%) y finalmente en el ultimo lapso volvió a decaer (-1.6%), esto también se refleja en la tasas de crecimiento las cuales han fluctuado cronológicamente de -0.35%, 0.54%, y -1.62%. Igualmente la categoría charral ha mostrado una distribución caótica durante los periodos de análisis, presentando valores de crecimiento / decrecimiento temporales del orden de 7.9%, -11.7% y -1.0%, lo anterior se complementa con la variación de la tasas de crecimiento anual, las cuales oscilaron de 0.8% a -2.2% y finalmente se frenó en -0.1% (Cuadro 10) (Figura 6).

Los asentamientos humanos experimentaron una gran expansión, presentando diferenciales de aumento de 29.7%, 8.7% y 5.9% respectivamente entre periodos de análisis, así mismo el café registró pérdidas, siendo estas más fuertes al inicio del horizonte de tiempo (-6.9%) y desacelerándose hacia el final del mismo (-1.9%). La caña de azúcar mostró un aumento de 4.6% durante el primer intervalo, pero de acuerdo con el análisis, esta cobertura decreció durante los 2 últimos periodos (-1.1% y -0.67%), (Cuadro 10) (Figura 6).

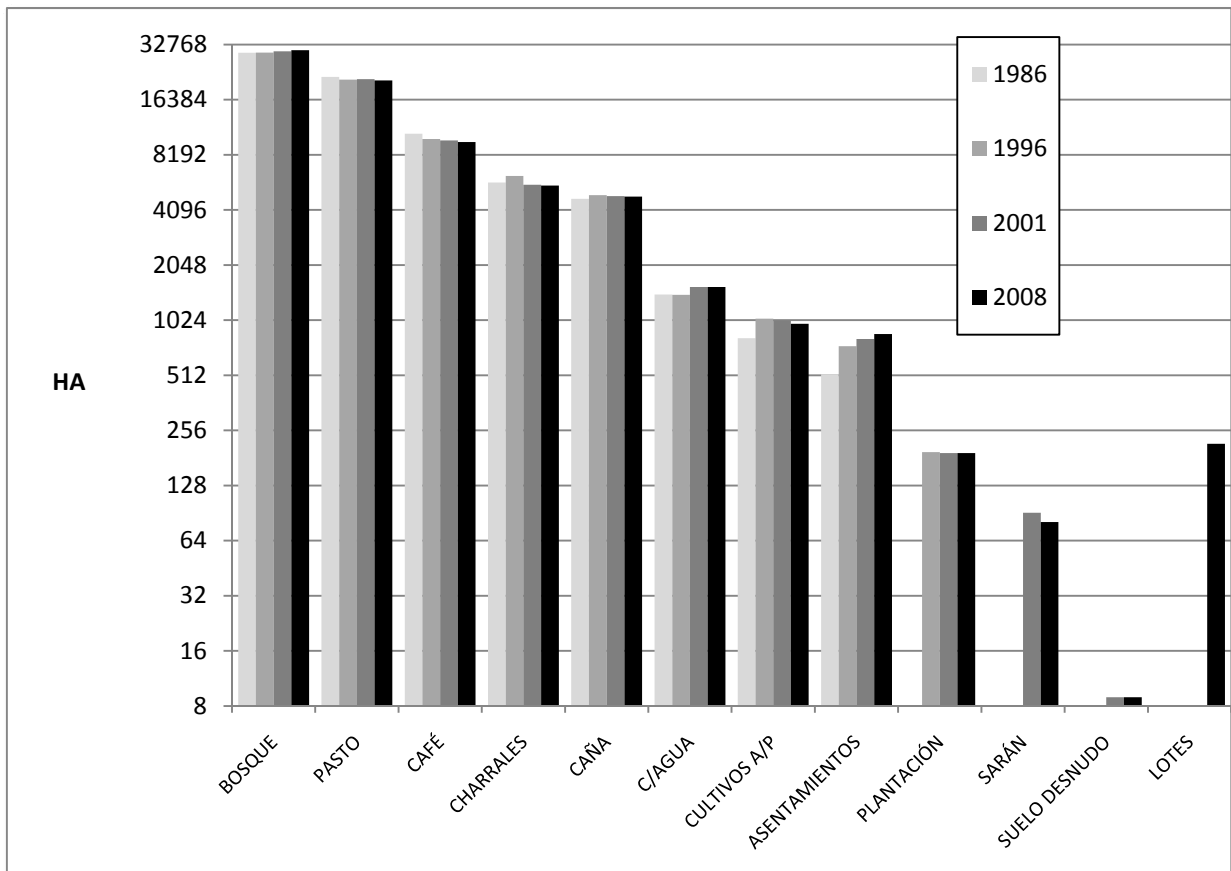


Figura 5. Distribución absoluta del uso del suelo en el CBVCT entre 1986-2008

El análisis comparativo (Figura 5), muestra una estabilidad en la proporción de la mayoría de los usos; otros tales como los asentamientos humanos y la lotificación, así como los cuerpos de agua han visto incrementada su área, todo esto en detrimento de otros usos de suelo.

El bosque es el uso con mayor extensión dentro del corredor y es el hilo conductor dentro de las políticas de creación, manejo y gestión del mismo CBVCT, es por ello que resalta el hecho que su cobertura se haya mantenido estable en los últimos 22 años y de acuerdo con la tendencia observada se puede inferir que aún se pueda reconvertir mas cobertura, esto en el entendido que es imposible que se pueda cubrir la totalidad del espacio con bosque, ya que en el paisaje interactúan elementos abióticos y antrópicos con los elementos bióticos; así que el arreglo espacial, estructura y cantidad de los diferentes usos son los que van a determinar en mayor o menor grado la conectividad y el equilibrio en el paisaje.

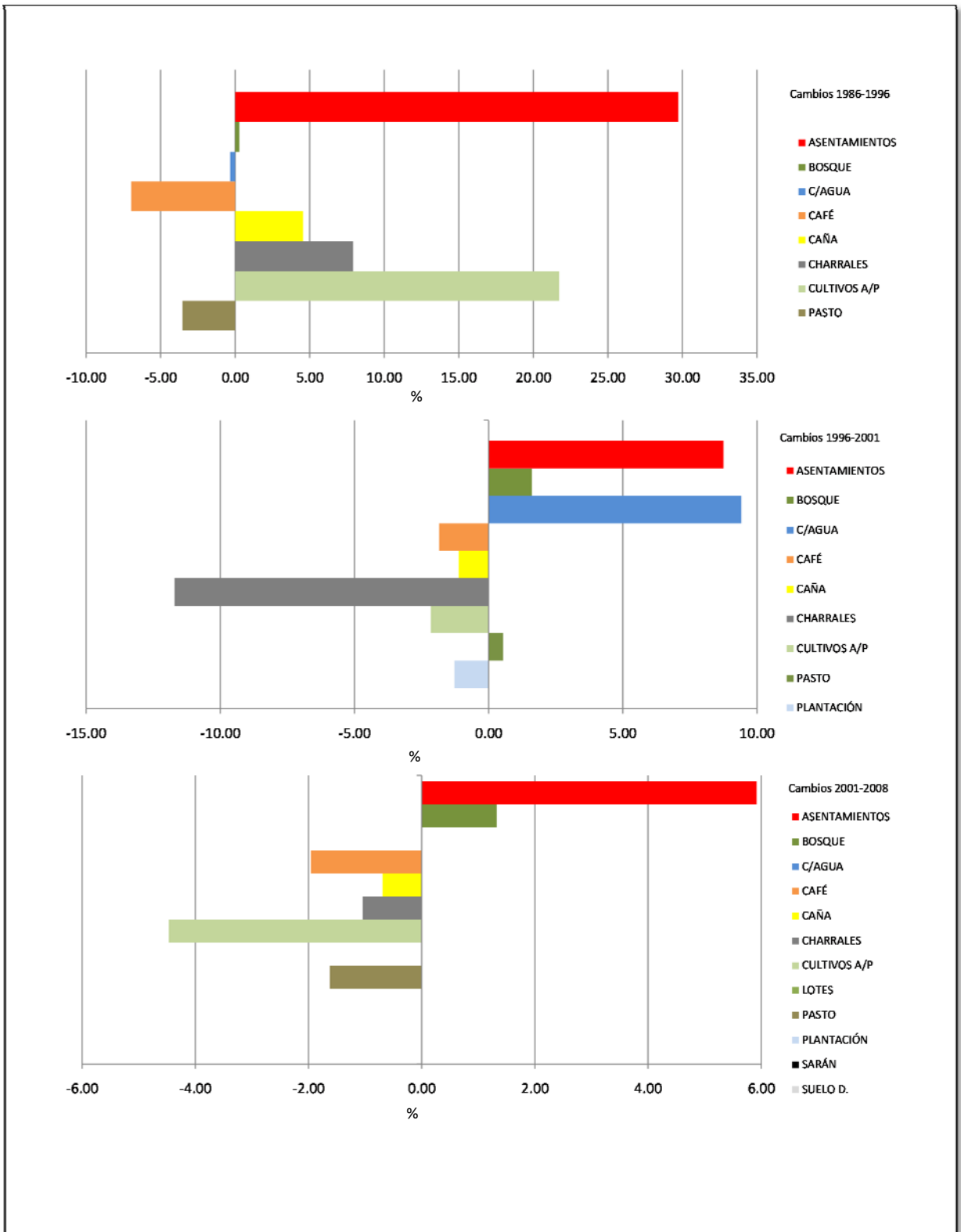


Figura 6. Cambios porcentuales por categoría de uso en el CBVCT entre 1986-1996

4.2 Matrices de cambio de uso del suelo.

El análisis de cambio de uso del suelo consta de 3 matrices, la primera presenta las pérdidas y ganancias de hectáreas de un uso a otro para un periodo determinado; la segunda presenta la persistencia y pérdidas de los diferentes usos del suelo en un horizonte específico en términos relativos, y la tercera presenta las ganancias del segundo año respecto al primero en términos porcentuales.

4.2.1 *Dinámica de cambio de uso del suelo 1986-1996*

Las matrices de cambio de uso de este periodo (Cuadro 11), (Anexo 5, 6), revelan una dinámica de conversión del bosque hacia pastos (1.1%) y charrales (2.5%), así mismo una reconversión de los charrales hacia el bosque del orden del 4.1%. El pasto registró una persistencia del 92.9% y experimentó pérdidas de superficie hacia los charrales (4.0%) y la caña (1.7%), además las pasturas registraron ganancias de área debido a la reconversión del bosque y charrales ambos con 1.7%. Para el caso del charral se determinó una persistencia del 72.5%, y una conversión de 6.0% hacia el bosque, 6.0% a pastos y 4.12% a café, caso inverso los charrales incrementaron su área debido la reconversión del bosque (11.5%), pasto (14.0%) y café (7.1%). Finalmente los asentamientos humanos aumentaron su superficie a expensas de la reconversión de los cafetales (20.0%), caña (5.1%), pasto (1.8%) y charrales (15.5%).

Cuadro 11. Matriz de cambio de uso el suelo en el CBVCT para el periodo 1986-1996.

USO	BOSQUE	PASTO	CHARRAL	CAÑA	CAFÉ	A/H	C/AGUA	CULT A/P	TOTAL 1996
BOSQUE	28409.00	0.00	1223.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29632.95
PASTO	350.80	20275.29	350.93	23.29	82.44	0.00	0.00	0.00	21082.75
CHARRAL	720.05	882.54	4192.36	26.39	444.87	0.00	12.89	0.00	6279.10
CAÑA	2.41	374.04	0.00	4356.43	172.37	0.00	24.59	1.60	4931.44
CAFÉ	23.38	27.23	0.00	196.22	9746.75	0.00	0.00	0.00	9993.58
A/H	0.00	13.50	15.46	42.84	147.62	518.76	0.00	0.00	738.18
C/AGUA	0.00	0.00	0.00	28.10	10.24	0.00	1360.80	9.02	1408.16
CULT A/P	4.77	98.48	0.00	33.53	85.91	0.00	14.63	806.00	1043.30
PLANT	38.84	156.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	194.99
TOTAL	29549.23	21827.23	5782.70	4706.80	10690.20	518.76	1412.91	816.62	75304.44

A/H: Asentamientos humanos, C/Agua: Cuerpos de agua, CULT A/P: Cultivos anuales y perennes, PLANT: Plantación forestal.

En el caso de los bosques, en este periodo la deforestación no se detiene, sino que la ganancia producto de la regeneración sobrepasa por poco a la pérdida de cobertura, así pues los charrales son los que alimentan al bosque, pero los charrales son alimentados por el abandono de pastos. Se observa también que en el caso del café, pierde más área de la que recupera, mientras que en la caña existe un equilibrio, caso contrario a los asentamientos humanos que ganan área a expensas del café, la caña y los pastos; en resumen el total de área en transición en este periodo fue de 5637 ha, lo que equivale al 7.5% del paisaje (Figura 7).

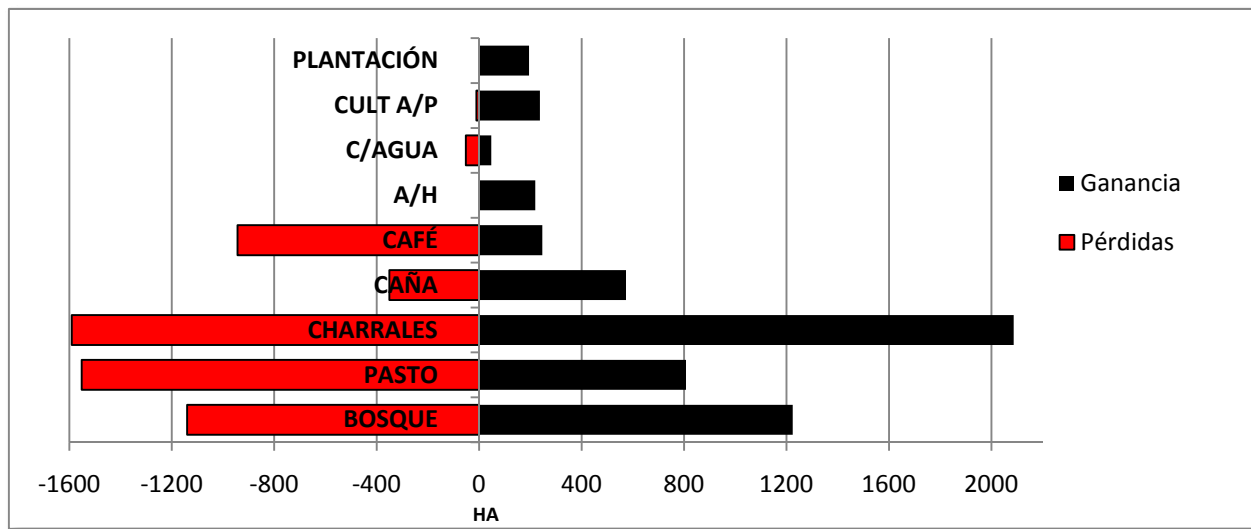


Figura 7. Relación pérdidas y ganancias por uso en el CBVCT entre 1986-1996

De acuerdo con el mapa de cambios 1986-1996 (Figura 8), se observa un área de grandes transiciones en magnitud en el sector de Grano de Oro (pasto a charral, y bosque a charral), hacia el centro (ciudad de Turrialba) se denota la conversión de café, caña y pastos a asentamientos, así como el establecimiento de una plantación, y un área de transición de pasto a charral hacia el este de Turrialba. Otro sector de gran dinámica es el suroeste (Cachí, Tausito, Taus), donde se presentan transiciones de charral a bosque, bosque a pasto, bosque a charral, y pasto a charral.

Hacia el noroeste en los sectores de la Pastora y Santa Cruz se encuentran cambios de charral a bosque, charral a pasto y bosque a pasto. Hacia las localidades de Tres Equis, Chitaria, Peralta y Mollejones se observa un área bastante dinámica, con transiciones de pasto a charral, bosque a pasto, bosque a charral y charrales a bosque.

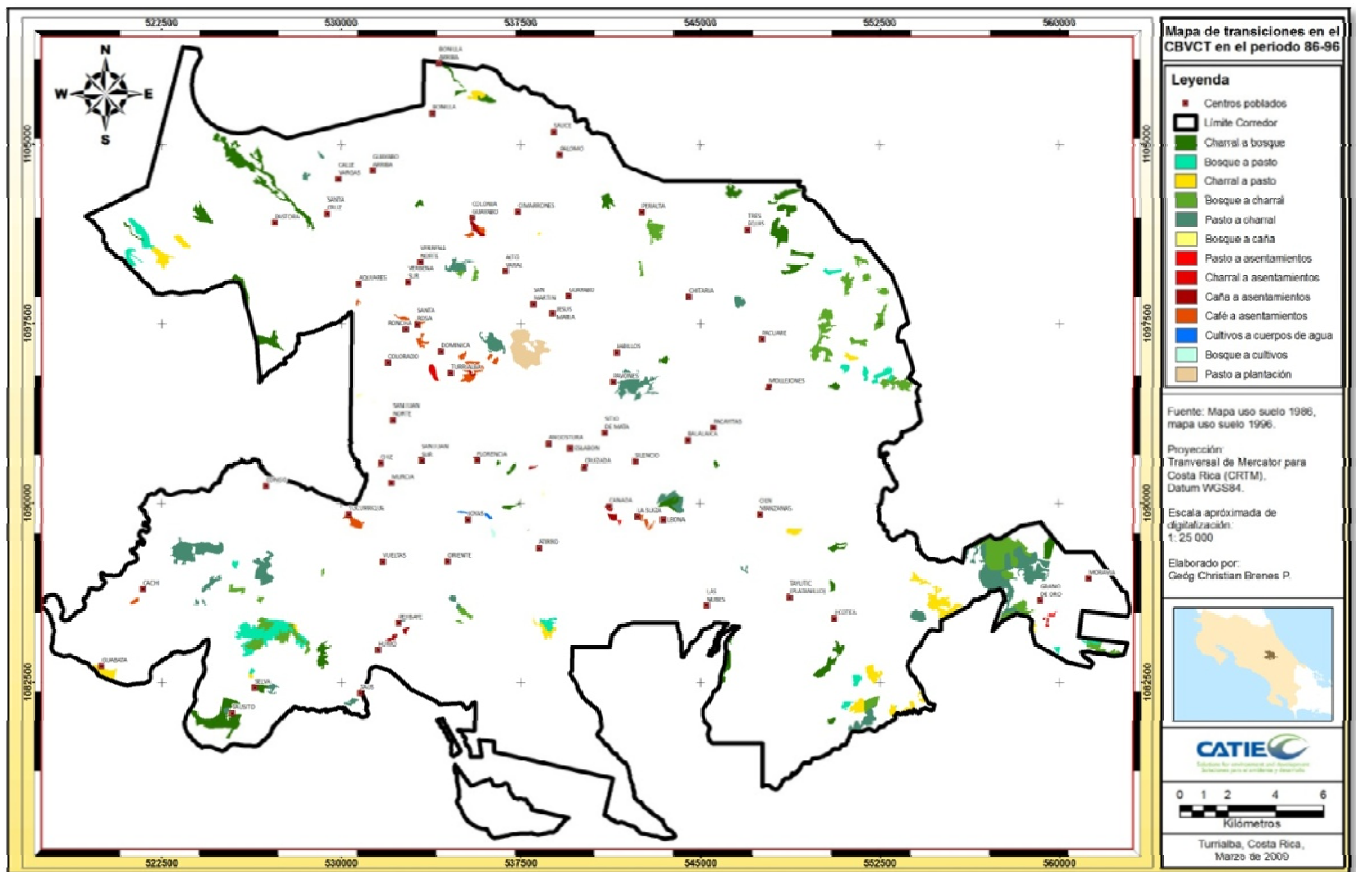


Figura 8. Transiciones de uso del suelo en el CBVCT entre 1986-1996

4.2.2 Dinámica de cambio de uso del suelo 1996-2001

Este periodo se mantiene la dinámica de las transiciones del bosque (Cuadro 12), (anexo 7, 8), el cual mostró una persistencia del 99.1%, las pérdidas de cobertura se concentraron hacia el cambio al pasto (0.5%), 0.2% a charrales, y 0.1% que se inundó con la construcción del embalse; en el caso inverso, la cobertura boscosa registró un aumento del 2.5% proveniente de la reconversión de los charrales.

El pasto persistió en un 98.1%, sus pérdidas se concentraron en un 1,4% a charrales, 0.2% a caña y 0.2% a sarán; los usos reconvertidos al pasto son 0.7% de bosque, el charral en 1.2%, 0.3% de caña y en café en 0.1%. Por otra parte la persistencia del charral se registró en 83.0%, además este obtuvo pérdidas del orden de 12.0% a bosque, hacia pastos en 4.0%, 0.4% y 0.6% a caña y cuerpos de agua respectivamente; los usos reconvertidos mayoritariamente a charral fueron el bosque 1.0%, y el pasto con 5.1%, en última instancia los asentamientos humanos registraron ganancias producto de la reconversión del café, caña y pasto.

Cuadro 12. Matriz de cambio de uso el suelo en el CBVCT para el periodo 1996-2001

USO	BOSQUE	PASTO	CHARRAL	CAÑA	CAFÉ	A/H	C/AGUA	CULT A/P	PLANT	TOTAL 2001
BOSQUE	29366.93	0.00	751.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30118.73
PASTO	159.19	20683.10	252.74	59.18	30.35	0.00	0.00	12.94	0.00	21197.50
CHARRAL	59.20	287.03	5205.13	27.79	42.10	0.00	0.00	0.00	0.00	5621.24
CAÑA	0.00	37.26	25.92	4675.01	94.03	0.00	44.80	0.00	0.00	4877.01
CAFÉ	6.70	0.00	0.00	42.86	9760.73	0.00	0.00	2.54	0.00	9812.84
A/H	0.00	14.49	0.00	9.45	46.85	738.18	0.00	0.00	0.00	808.97
C/AGUA	40.93	0.00	37.04	108.20	19.53	0.00	1338.39	10.46	0.00	1554.55
CULT A/P	0.00	7.45	0.00	8.96	0.00	0.00	24.98	979.92	0.00	1021.30
SD	0.00	0.00	6.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.45	8.93
SARAN	0.00	53.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.44	0.00	90.86
PLANT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	192.53	192.53
TOTAL	29632.95	21082.75	6279.10	4931.44	9993.58	738.18	1408.16	1043.30	194.99	75304.44
				1996						

En este periodo (Figura 9), el área total en transición fue de 2344 ha (3.1% del paisaje), el charral fue el uso que reportó mas pérdidas con casi 1100 ha en relación con una ganancia de alrededor de 400 ha. Además se mantiene la constante en el aumento del bosque, pero igual este siempre registra pérdidas. El pasto en este periodo también observó un crecimiento de 500 ha, y reportó una disminución cercana a 400 ha. Se denota también el aumento en los cuerpos de agua producto de la construcción del embalse de Angostura, así mismo como el aumento sistemático en los asentamientos humanos.

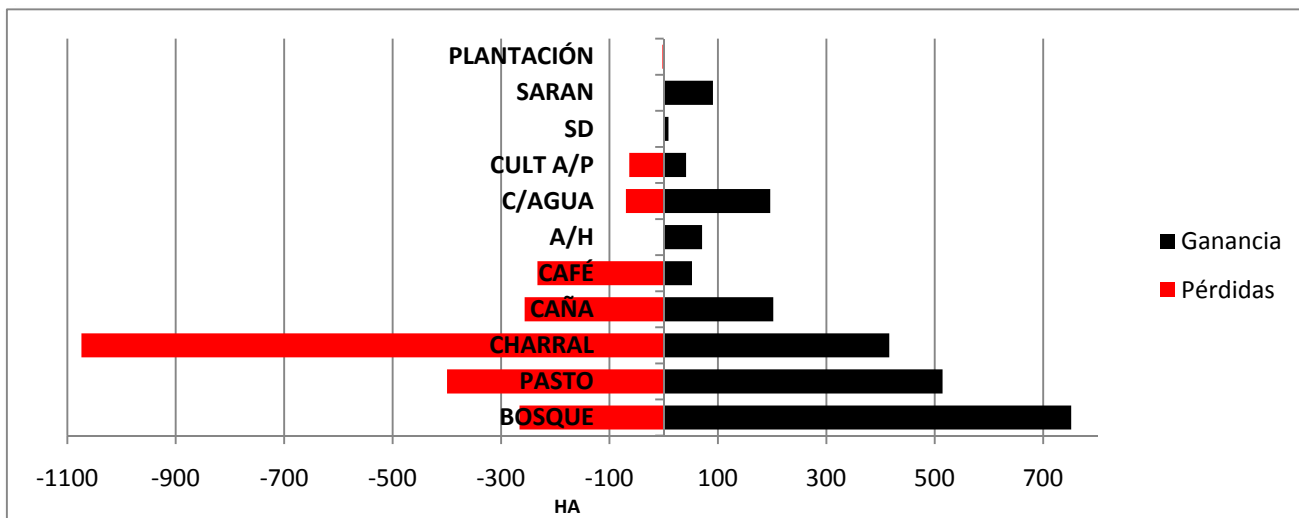


Figura 9. Relación pérdidas y ganancias por uso en el CBVCT entre 1996-2001.

Al igual que en el horizonte de tiempo anterior la zona de Grano de Oro y Moravia presenta una dinámica mayor respecto a la totalidad de área, las transiciones se dan de bosque a pasto, pasto a charral y charral a bosque, también cerca de las localidades de Jicotea y Platanillo se registró una transición de pasto a charral.. Hacia la ciudad de Turrialba se observan cambios de pasto a asentamientos, café a asentamientos, y caña a asentamientos, continuando con la tendencia observada también en el periodo 1986-1996. Entre el sector de Atirro, Angostura y Eslabón se encuentra un área de regeneración de charral a bosque, y además se observa uno de los cambios más radicales en todo el periodo lo cual es la inundación de áreas de café, caña, y bosque para la construcción de la represa. Los sectores oeste y suroeste del corredor no presentan grandes cambios; hacia el sector de Peralta, Chitaría y Tres Equis se observan cambios de charral a bosques y pasto a charral. En el sector norte y noroeste no se observan transiciones (Figura 10).

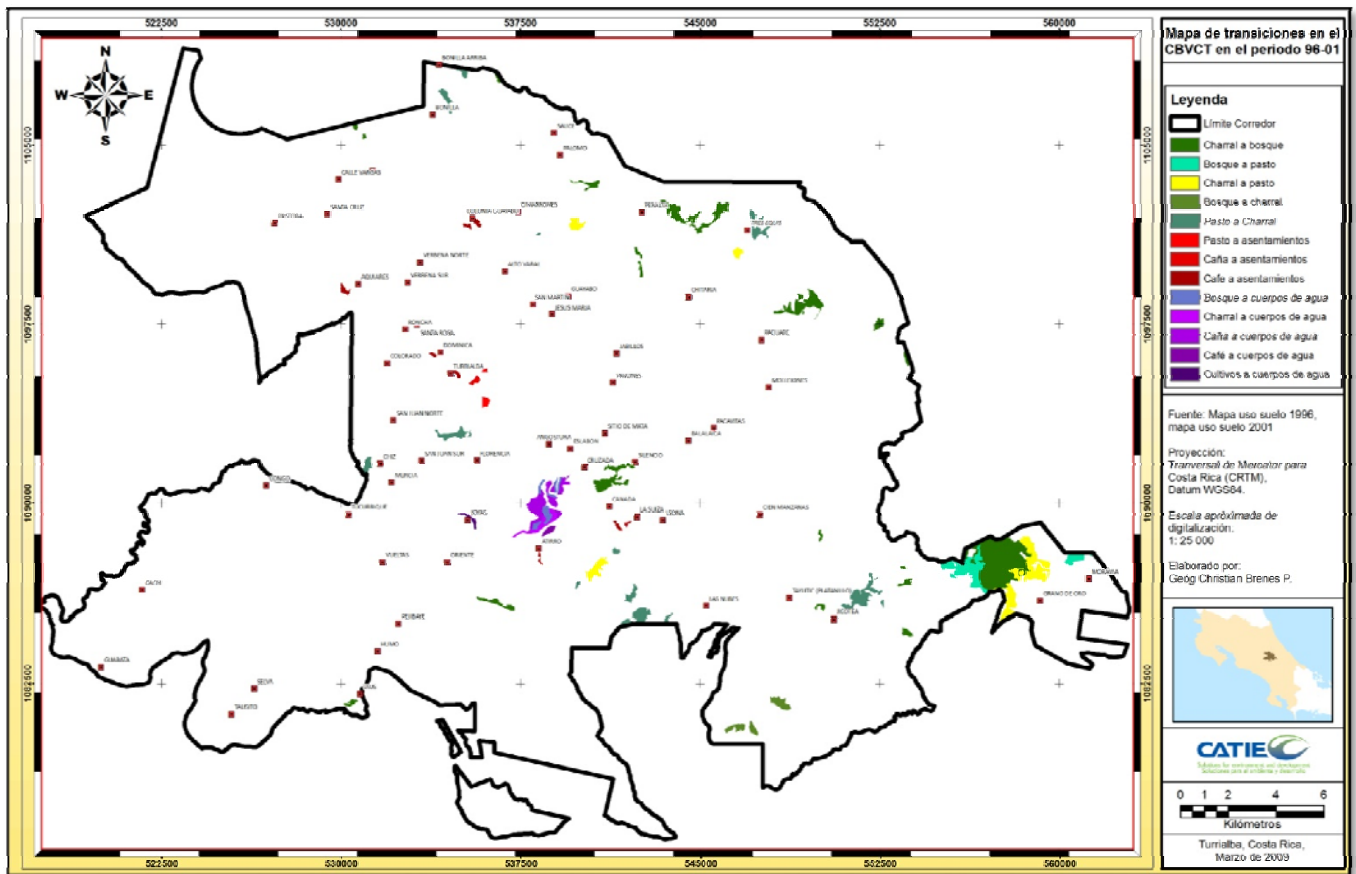


Figura 10. Transiciones de uso del suelo en el CBVCT entre 1996-2001

4.2.3 Dinámica de cambio de uso del suelo 2001-2008

El análisis de la dinámica de este periodo (Cuadro 13), (anexo 9, 10) indica que se conservó el 99.6% del bosque, focalizándose la pérdidas de este uso en el pasto (0.3%), y 0.1% en charrales; así mismo, se estimó una ganancia del 1.7% provenientes de la reconversión de los charrales.

Los pastos persistieron en un 97.0%, la dirección de los cambios indica que se convirtió el 2.3% a charral, y 0.6% a caña; las ganancias observadas se derivan de la transición del bosque (0.3%), 3.3% de la caña, y los charrales en 0.4%. En el caso de los charrales, estos se mantuvieron en un 88.2%, registrando pérdidas en su área producto de la conversión a bosque (9.5%), 0.4% a pastos, 0.5% a caña y finalmente al café con 1.5%; las ganancias observadas se originan de la transición del bosque (0.6%), del pasto en 8.7%, y

1.6% de cultivos. Por último los asentamientos humanos tuvieron contribuciones del pastos en 1.6%, así mismo de la caña en 4.5% y del café con un aporte del 0.3%.

Cuadro 13. Matriz de cambio de uso el suelo en el CBVCT entre 2001-2008

USO	BOSQUE	PASTO	CHARRAL	CAÑA	CAFÉ	A/H	C/AGUA	CULT A/P	SD	SARAN	PLANT	TOTAL 2008
BOSQUE	29989.87	0.00	533.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30523.73
PASTO	97.79	20564.96	24.71	159.66	0.00	0.00	0.00	11.72	0.00	0.00	0.00	20858.83
CHARRAL	31.07	484.94	4960.37	0.00	0.00	0.00	0.00	86.94	0.00	0.00	0.00	5563.33
CAÑA	0.00	131.36	25.45	4627.80	58.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4843.51
CAFÉ	0.00	6.32	76.86	50.94	9490.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9624.38
A/H	0.00	9.92	0.00	38.61	2.36	808.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	859.86
C/AGUA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1554.55	0.00	0.00	0.00	0.00	1554.55
CULT A/P	0.00	0.00	0.00	0.00	45.07	0.00	0.00	922.64	0.00	9.90	0.00	977.60
SD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.93	0.00	0.00	8.93
LOTES	0.00	0.00	0.00	0.00	216.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	216.25
SARAN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.96	0.00	80.96
PLANT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	192.53	192.53
TOTAL	30118.73	21197.50	5621.24	4877.01	9812.84	808.97	1554.55	1021.30	8.93	90.86	192.53	75304.44
					2001							

Para el periodo 2001-2008 (Figura 11), se observa un equilibrio entre la pérdida y la ganancia de los charrales, con alrededor de 600 ha, el pasto aproximadamente perdió el doble de lo que ganó, (600 y 300 ha), la caña y el café conservan la misma tendencia de reducir sus áreas, además también decrece la extensión de los cultivos; además se observa la aparición de una categoría llamada lotes. Igualmente la ganancia del bosque es mayor que la pérdida; el patrón observado es el mismo que en las matrices anteriores, el pasto alimenta los charrales y estos a su vez, engrosan los bosques. Además la caña y el café le dan paso a la expansión de los asentamientos humanos. En este horizonte entraron en transición un total de 2092 ha, lo que corresponde al 2.8% del paisaje total.

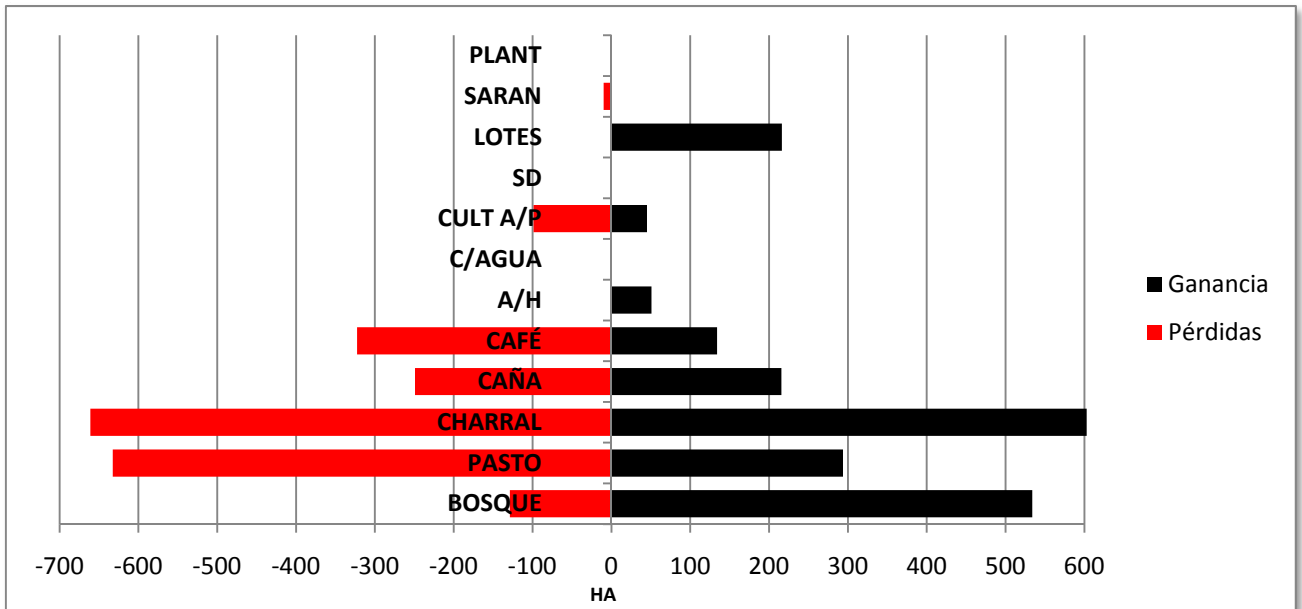


Figura 11. Pérdidas y ganancias por uso en el CBVCT entre 2001-2008.

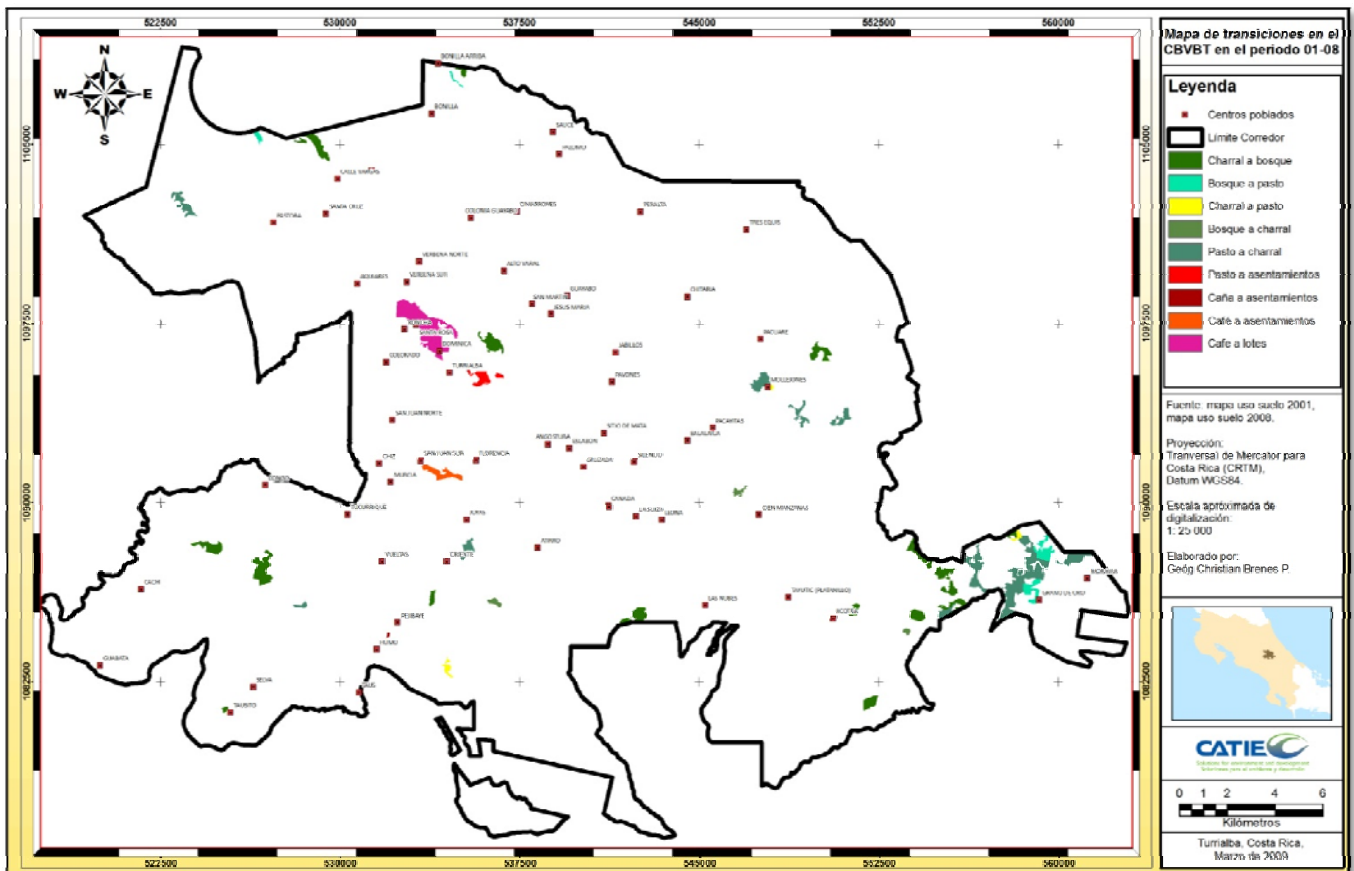


Figura 12. Mapa de transiciones en el CBVCT entre 2001-2008

Al igual que en los escenarios anteriores se observa un área muy dinámica en los sectores de Moravia y Grano de Oro caracterizada por los cambios de bosque a pasto, charral a bosque y pasto a charral. Hacia el sector de Turrialba se observan cambios de café y caña hacia asentamientos, así como de charral a bosque. Cerca de sector de Cachí también se registran áreas de transición de charral a bosque, sobre el sector de Pacuare y Mollejones aparecen cambios de pasto a charral (Figura 12).

4.2.4 Estabilidad de la cobertura boscosa en el CBVCT y su relación con la legislación forestal de Costa Rica

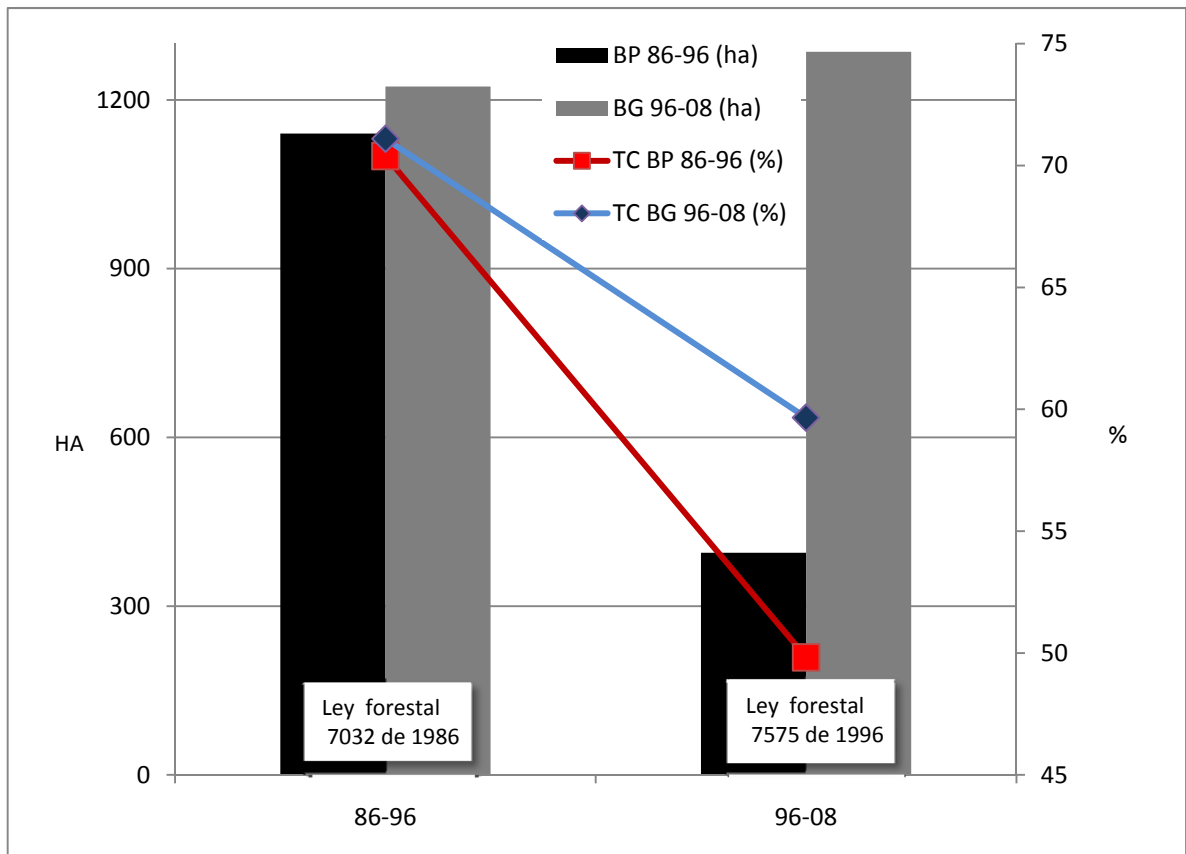
El cambio de uso del suelo es causado por la combinación de variables explicativas o subyacentes, las cuales pueden ser de tipo socio-económicas y / o biofísicas, además esta interacción espacial puede tener varias escalas: a nivel regional, de paisaje, y de unidades de producción (fincas), (IGBP, 1995). En el caso del CBVCT se puede establecer como variable explicativa (pero no la única) para la recuperación del bosque y su estabilidad, el impacto directo de la legislación forestal, la cual es una medida a nivel regional (nacional) pero que tiene injerencia a todas las escalas.

Para la comparación gráfica se dividió el periodo de estudio en dos plazos, de 1986 a 1996, y de 1996 a 2008; estos periodos coinciden con la entrada en vigencia de la Ley Forestal 4465 en 1986 hasta su derogación en 1996 con la creación de la Ley 7575; además se separó la ganancia y pérdida bruta de la cobertura de bosque en el CBVCT.

Cuadro 14. Pérdida, ganancia del bosque, y tasa de cambio en el CBVCT entre 1986-1996 y 1996 y 2008

Uso	1986-1996				1996-2008			
	BP (ha)	TC 86-96 %	BG (ha)	TC 86-96%	BP (ha)	TC 96-08 %	BG (ha)	TC 96-08%
Bosque	1140.2	70.4	1223.9	71.1	394.9	49.8	1285.7	59.7

BP: Bosque perdido; BG: Bosque ganado; TC: Tasa de cambio



BP: Bosque perdido; BG: Bosque ganado; TC: Tasa de cambio

Figura 13. Pérdida, ganancia del bosque, y tasa de cambio en el CBVCT entre 1986-1996 y 1996 y 2008

La relación de pérdida y ganancia del bosque en el periodo 1986-96 está equilibrada, no así en el lapso 1996-2008, en donde se observa una reducción en la pérdida de cobertura, mientras que la recuperación del bosque es similar a la del primer horizonte: En el lapso 86-96 se perdió el bosque a un ritmo de 70.4 ha/ 100 ha al año mientras que la ganancia fue de 71.1 ha/100 ha al año, mientras tanto en el periodo 96-08 las tasas se desaceleran debido en parte a que el plazo es mayor (12 años), pero a lo interno la relación de la ganancia es 10% mayor que la pérdida del bosque.. (Cuadro 14), (Figura 13).

La Ley 7032 que rige en el primer periodo establece el carácter obligatorio del plan de manejo forestal para el aprovechamiento del bosque, aun así se perdió el 3.5% del bosque remanente en 1986, lo cual puede evidenciar una falla o debilidad por parte del estado para aplicar de manera eficaz la ley y reducir las tasas de deforestación; en el caso

contrario, la recuperación del bosque puede deberse igualmente al mecanismo de control del plan de manejo, así como a los incentivos forestales creados en esta ley, como el Certificado de Manejo de Bosque Natural y el Certificado para la protección del Bosque; otra variable explicativa podría ser el abandono de tierras, la cual no pudo ser probada en esta investigación.

En el 1996 se crea la Ley 7575, la cual prohíbe de manera tácita el cambio de uso del suelo en terrenos cubiertos por bosque y cuyo concepto fue redefinido en dicha ley, además, como parte de los incentivos a la conservación se crea el pago por servicios ambientales, estos cambios en la legislación pueden estar vinculados al descenso en la pérdida de bosque la cual se redujo en $\frac{3}{4}$ partes respecto al periodo 96-86, así mismo la recuperación puede estar influenciada por los mecanismos de incentivos y desincentivos.

En términos generales, Calvo (2008) resume de varios autores las causas de la deforestación y la posterior restauración de la cobertura forestal en Costa Rica; en primer lugar la acelerada deforestación entre 1960 y 1986 se asocia al aumento de la población, expansión de la frontera agrícola y sobre todo con la incentivación de la ganadería, por otra parte el periodo de restauración está asociado con la caída internacional de la carne, advenimiento del turismo como la actividad más importante del país, transición de una sociedad rural a una urbana, y el impulso de programas forestales y conservación de los recursos naturales.

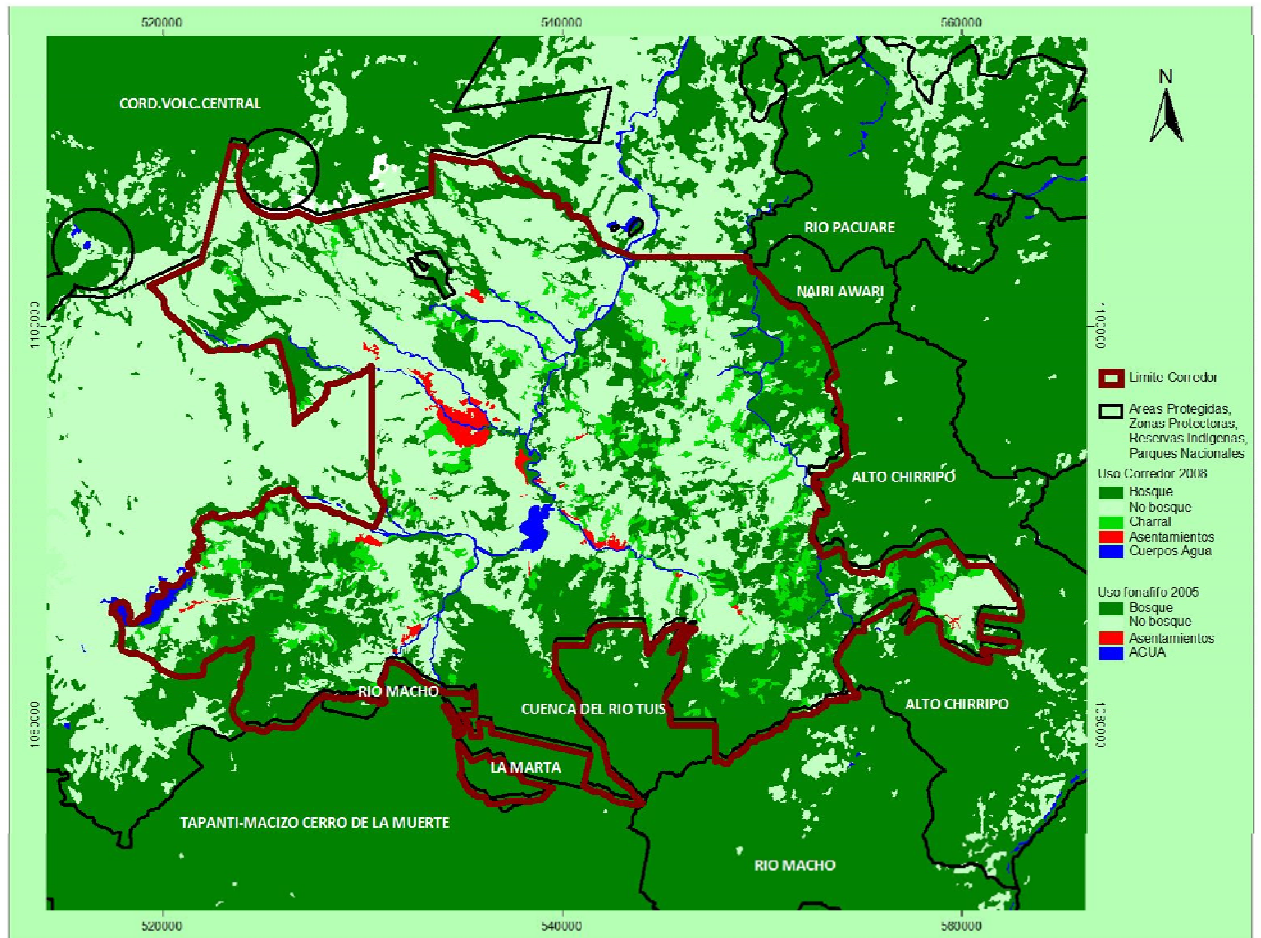


Figura 14. Contexto del CBCVT dentro del sistema de Áreas de Conservación, Parques Nacionales, Reservas Indígenas y Reservas Privadas

Desde el punto de vista histórico – espacial se propone como otra variable explicativa para la estabilidad de la cobertura boscosa, la localización del CBVCT dentro de las figuras de protección establecidas por ley; se observa (Figura 14) que el bosque al sur, suroeste, sureste y este del corredor es parte un mismo parche de gran extensión, el cual está protegido por varias figuras jurídicas y que ejercen algún grado de influencia hacia adentro del corredor; además estas áreas son de difícil acceso, topografía abrupta y la capacidad de uso del suelo no permite el establecimiento de otras actividades.

4.3 Análisis multitemporal de capacidad de uso del suelo.

Las estadísticas derivadas del mapa de capacidad de uso para el CBVCT (Cuadro 15), (Figura 15), muestran una equitatividad de las clases efectivas representadas (excluyendo el No aplica), siendo la Clase A la que más espacio abarca (21.8%), seguida de la Clase VI (22.1%), la Clase VII ocupando el 28.4%, la Clase VIII con el 27.1%, y finalmente la categoría No aplica toma el 0.5% de la superficie.

Cuadro 15. Clases de capacidad de uso el CBVCT

Clase	Ha	%
Clase A	16421.94	21.81
Clase VI	16668.20	22.13
Clase VII	21409.36	28.43
Clase VIII	20420.60	27.12
No Aplica	384.35	0.51
	75304.44	100.00

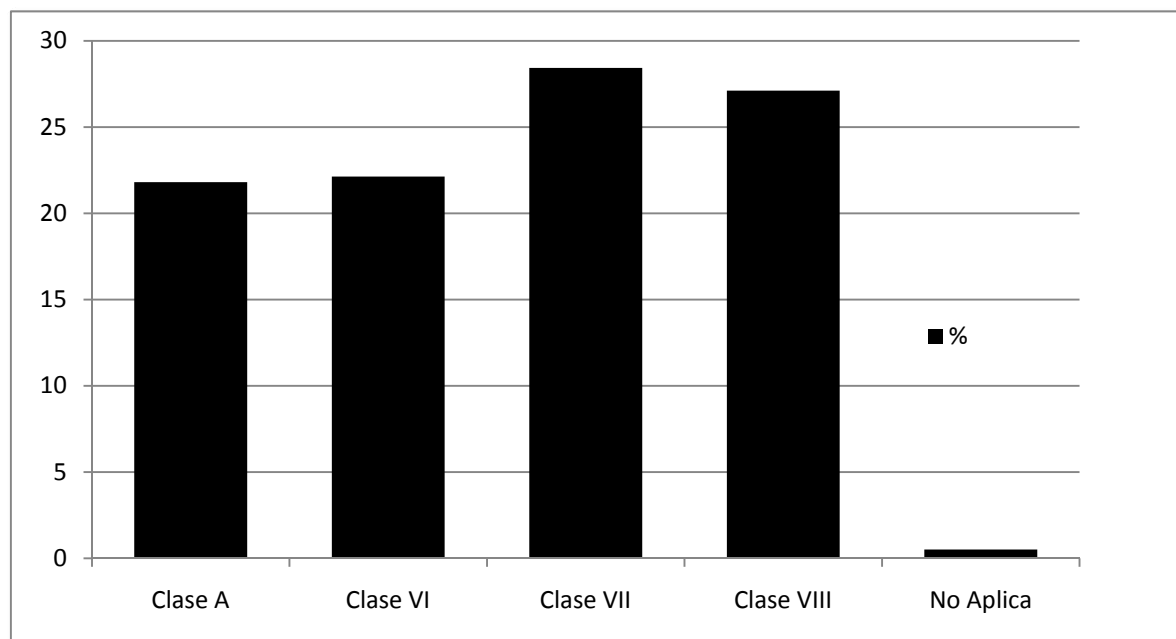


Figura 15. Distribución porcentual de las clases de capacidad de uso en el CBVCT

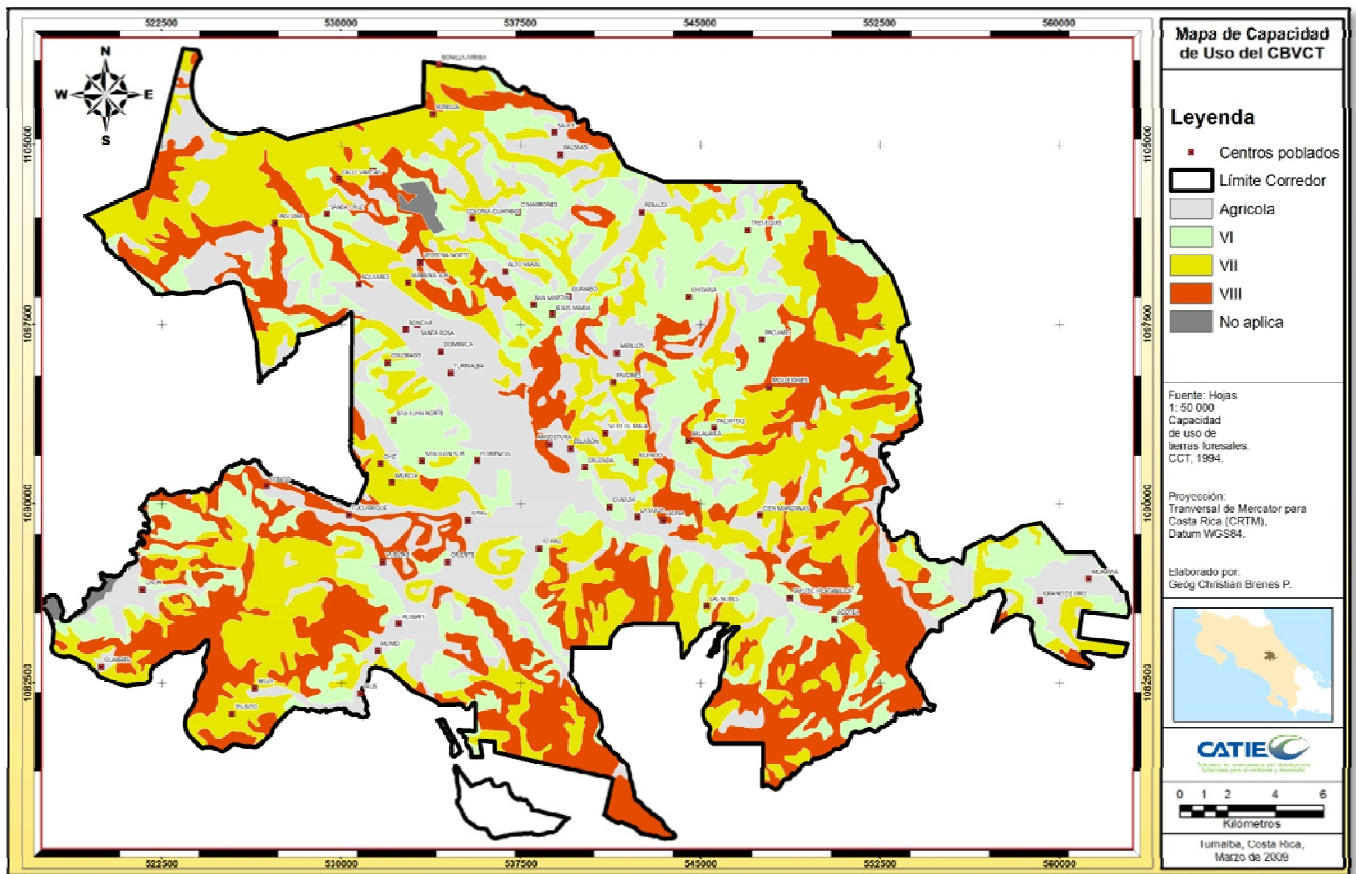


Figura 16. Mapa de Capacidad de Uso del CBVCT

El mapa de capacidad de uso (Figura 16) muestra que la Clase A se distribuye espacialmente sobre todo en el valle de Turrialba, el sector de Grano de Oro, Atirro y Pejibaye; la Clase VI se observa predominantemente en los sectores de San Juan Norte y Sur, Chitaría, Tres Equis y Pacuare, así mismo la Clase VII se observa en las faldas del Volcán Turrialba en sectores como la Pastora y Bonilla, hacia el sur y suroeste del Corredor en sectores como Tausito; finalmente la Clase VIII está asociada por definición a los sectores de Topografía más abrupta como sectores aledaños a Cachi, el Congo y Tucurrique, Tayutic, Platanillo y Mollejonos.

El análisis de sobreposición (Cuadro 16), (Figura 17), muestra que las proporciones entre conflictos y años se mantienen estables en el tiempo, la categoría *uso a capacidad* registró un valor promedio de 67.2%, (D.E = 0.233); por otro lado el *sobreuso* exhibió un promedio de 29.8%, (D.E = 0.453). Lo anterior implica que el aproximadamente el 70% de la superficie del corredor se ha usado en concordancia con lo

que el suelo está en capacidad de soportar, no así el restante 30% que fue y está siendo utilizado por encima de su capacidad.

La categoría no aplica corresponde a las áreas urbanas, parques o monumentos, así como a los cuerpos de agua. También cabe aclarar que debido a la naturaleza de esta investigación, así como a los fines de conservación del CBVCT, la categoría sub uso no se aplicó en este análisis para las categorías bosque y charral.

Cuadro 16. Conflictos de uso del suelo en CBVCT entre 1986- 2008

CONFLICTO	1986		1996		2001		2008	
	HA	%	HA	%	HA	%	HA	%
USO A CAPACIDAD	50367.71	66.89	50816.30	67.48	50534.39	67.11	50729.26	67.37
SOBREUSO	23005.07	30.55	22333.61	29.66	22314.01	29.63	22094.61	29.34
NO APLICA	1931.66	2.57	2154.53	2.86	2456.03	3.26	2480.57	3.29
TOTAL	75304.44	100.00	75304.44	100.00	75304.43	100.00	75304.44	100.00

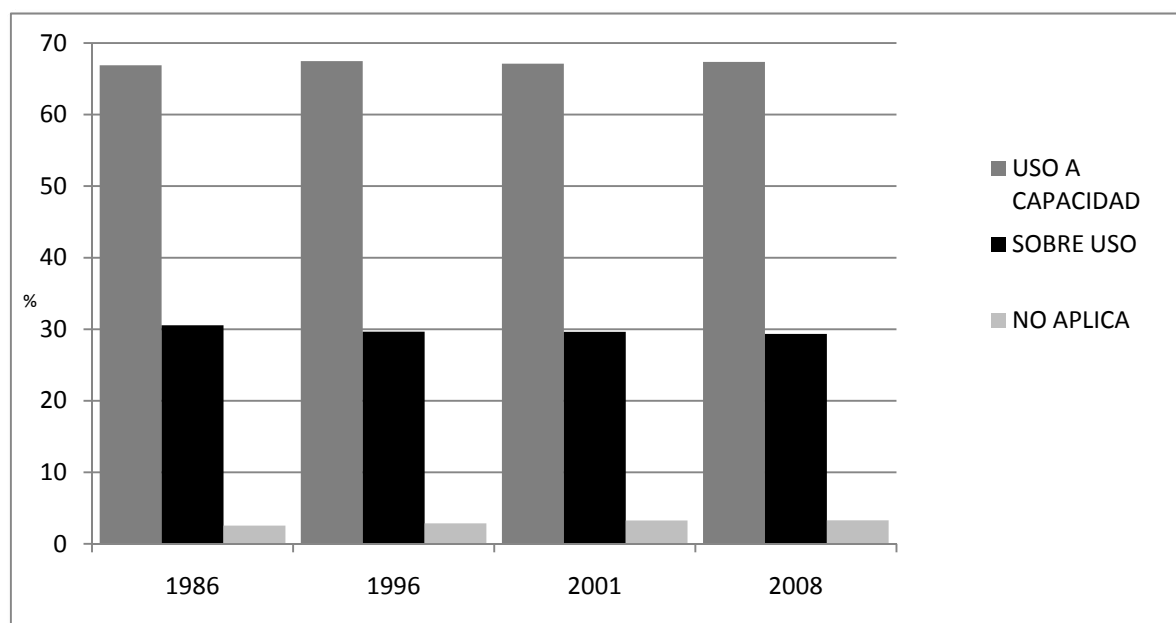


Figura 17. Distribución porcentual de los conflictos de uso en el CBVCT entre 1986 - 2008

4.3.1 Análisis multitemporal de capacidad de uso del suelo por categoría de uso.

El análisis de conflictos por tipo de uso del suelo (Cuadro 17), (Figura 18), muestra al *bosque a capacidad* como la categoría que ha dominado el paisaje durante todo el periodo con un promedio de cobertura de 39.6%, (D.E= 0.52), esto debido a que ha sido y es el uso más representado en el CBVCT, en segunda instancia le sigue el *pasto en sobreuso* con una media para el periodo de 21.7%, (D.E= 0.42), por otro lado el *pasto a capacidad* ha presentado en promedio el 6.5% (D.E=0.26). El *café a capacidad* registró un extensión media de 8.7% (D.E= 0.4), caso contrario el *café en sobre uso* ha mostrado una cobertura promedio de 4.6% (D.E= 0.15). En términos generales las proporciones entre conflictos de uso y años se mantienen constantes en el tiempo, esto debido a la propia dinámica de las transiciones de uso del suelo.

Cuadro 17. Conflictos de capacidad uso por tipo de cobertura en el CBVCT entre 1986-2008

Año	1986		1996		2001		2008	
	HA	%	HA	%	HA	%	HA	%
BOSQUE A CAPACIDAD	29419.08	39.07	29501.71	39.18	30025.06	39.87	30390.88	40.36
PASTO EN SOBREUSO	16838.34	22.36	16301.36	21.65	16279.42	21.62	15940.96	21.17
CAFÉ A CAPACIDAD	7021.60	9.32	6580.64	8.74	6426.14	8.53	6189.46	8.22
CHARRALES A CAPACIDAD	5442.35	7.23	6279.10	8.34	5611.49	7.45	5603.09	7.44
PASTO A CAPACIDAD	5261.42	6.99	4720.14	6.27	4858.69	6.45	4865.76	6.46
CAFÉ EN SOBREUSO	3657.72	4.86	3389.38	4.50	3369.25	4.47	3414.29	4.53
N/A	2140.52	2.84	2363.39	3.14	2565.24	3.41	2599.68	3.45
CAÑA A CAPACIDAD	2575.71	3.42	2715.53	3.61	2603.43	3.46	2518.51	3.34
CAÑA EN SOBREUSO	2131.08	2.83	2215.03	2.94	2253.28	2.99	2310.27	3.07
CULTIVOS A CAPACIDAD	508.86	0.68	685.51	0.91	674.82	0.90	614.09	0.82
CULTIVOS EN SOBREUSO	307.76	0.41	357.67	0.47	341.89	0.45	358.92	0.48
LOTES A CAPACIDAD							216.25	0.29
PLANTACIÓN A CAPACIDAD			194.98	0.26	196.07	0.26	192.53	0.26
SARÁN EN SOBREUSO					64.33	0.09	54.43	0.07
SARÁN A CAPACIDAD					26.39	0.04	26.39	0.04
SUELO DESNUDO EN SOBREUSO					8.94	0.01	8.93	0.01
Total	75304.44	100.00	75304.44	100.00	75304.44	100.00	75304.44	100.00

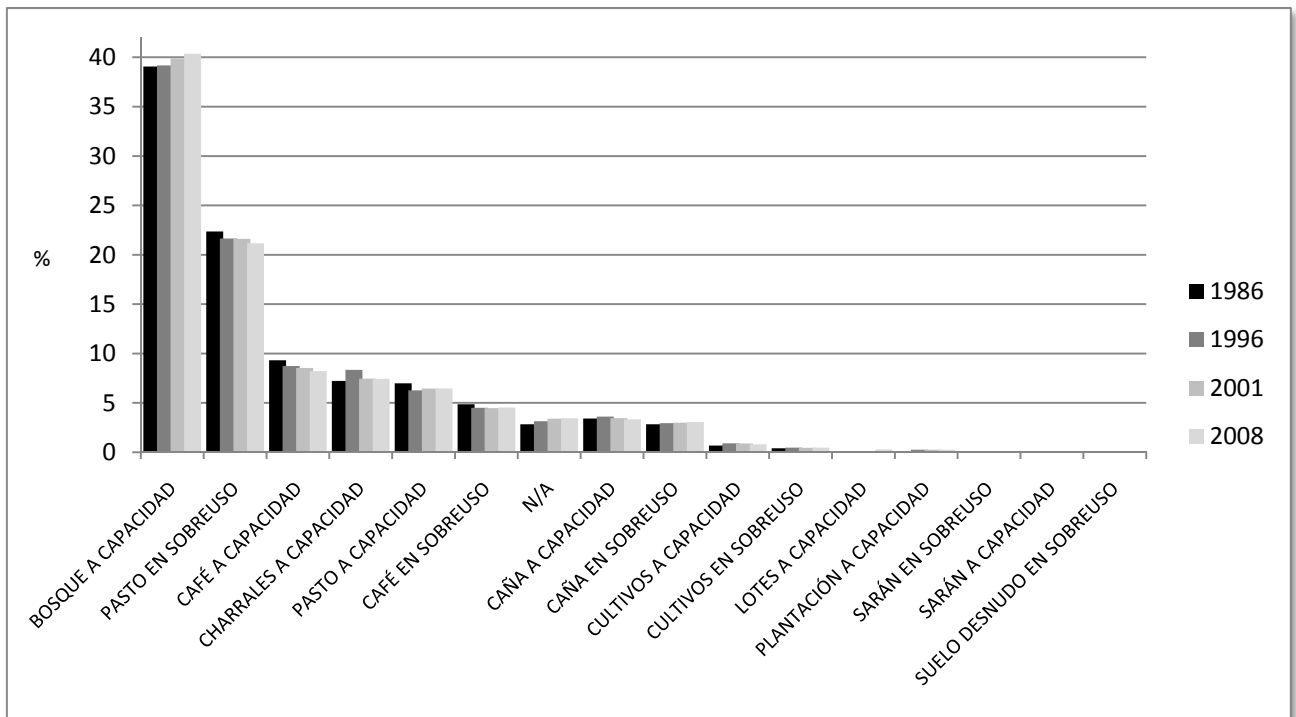


Figura 18. Distribución porcentual de los conflictos de uso por tipo de cobertura en el CBVCT entre 1986-2008

Ramírez (2005), realizó un análisis de capacidad y conflictos con un mapa de uso del suelo a más detalle (1: 15 000) y con un área de CBVCT más reducida; además sistematizó a partir de talleres participativos las posibles causas de estas divergencias entre el uso del suelo y la capacidad, además de otras variables que impulsan el deterioro ambiental dentro del CBVCT, entre estos causales aparecen el cambio de uso del suelo, la deforestación, malas prácticas de conservación de suelos y ampliación de la frontera agrícola y pecuaria, pero también destaca el esfuerzo institucional por parte del ICE, UMCRE, IDA y MAG por restaurar la cobertura forestal en el área.

La dinámica de cambio de uso del suelo en el CBVCT en los últimos 22 años está marcada mayoritariamente por las transiciones de pasto a charral, charral a bosque, y charral a pasto, aun así en términos generales las proporciones de los diferentes usos se han mantenido estables a través del tiempo. Sí se utiliza la capacidad de uso como un indicador del estado de conservación de los recursos naturales dentro del CBVCT, vemos que tanto los porcentajes de *uso a capacidad* y *sobreuso* son constantes a lo largo del tiempo, pero debe hacerse hincapié en aquellos lugares donde el *sobreuso* a persistido en los últimos 22

años y quizás desde mucho más tiempo atrás. Los mapas de conflictos de uso (anexo 11, 12, 13) muestran que toda la parte norte de corredor, en sectores tales como Santa Cruz, Calle Vargas, Bonilla y Bonilla Arriba están en *sobreuso* debido a la cobertura de pasto, también hacia el sector este y sureste en Balalaica, Mollejones y Pacayitas se observan grandes áreas de pastos en sobre uso. Igualmente pero en menor grado se observan áreas de caña y café en *sobreuso*, este último más marcado en la zona de Verbena Sur y al suroeste en el sector de Guabata, mientras que la caña en *sobreuso* se visualiza en sectores de El Humo, Pejibaye, Murcia, Chiz, Platanillo y Jicotea.

4.4 Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo por formas del relieve

Se generó un mapa de formas del relieve del corredor a partir del modelo de elevación digital y el TPI (Índice de Posición Topográfica); a continuación se describe la distribución de las formas en el paisaje (Cuadro 18), (Figura 19).

Cuadro 18. Distribución de las formas de relieve en el CBVCT

Forma	ha	%
Valles en U	21539.13	28.60
Pendientes altas, mesetas	19476.86	25.86
Pendientes abiertas	13631.77	18.10
Cañones y corrientes disectadas profundamente	6921.73	9.19
Cimas de montañas, crestas altas	6644.72	8.82
Planicies	3556.98	4.72
Crestas intermedias, colinas en planicies	1166.02	1.55
Crestas locales, colinas en valles	937.12	1.24
Drenajes de pendientes medias, valles poco profundos	821.72	1.09
Drenajes de tierras altas, cabeceras de ríos	608.39	0.81
	75304.44	100

El relieve del CBVCT está dominado mayoritariamente por 3 formas, valles en U (28.6%), pendientes altas y mesetas (25.9%) y pendientes abiertas (18.1%); luego un segundo grupo de geofomas conformadas por los cañones y corrientes profundamente disectadas (9.2%), cimas de montaña y crestas altas (8.9%) y planicies con 4.7%; con una menor distribución aparecen las crestas intermedias y colinas en planicies, con 1.6%, las

crestas locales y colinas en valles con 1.2%; drenajes de pendientes medias y valles poco profundos con 1.0%, y los drenajes de tierras altas y cabeceras de ríos los cuales ocupan el 0.8% de la superficie

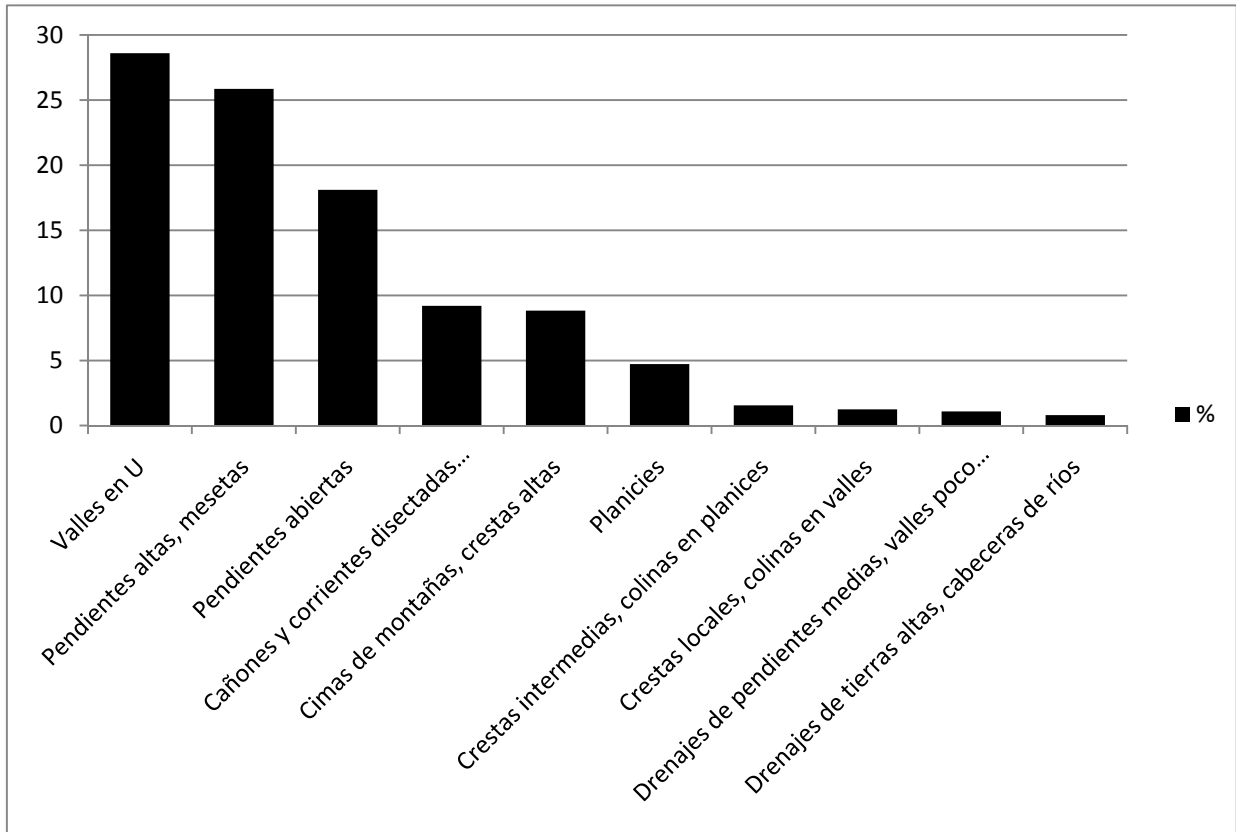


Figura 19. Distribución porcentual de las formas del relieve en el CBVCT

El mapa de formas del CBVCT (Figura 20) muestra que los relieves más abruptos se localizan hacia el sur, este, suroeste y este del mismo; las formas más suavizadas en el centro y este, y relieves intermedios hacia el norte, noreste y noroeste.

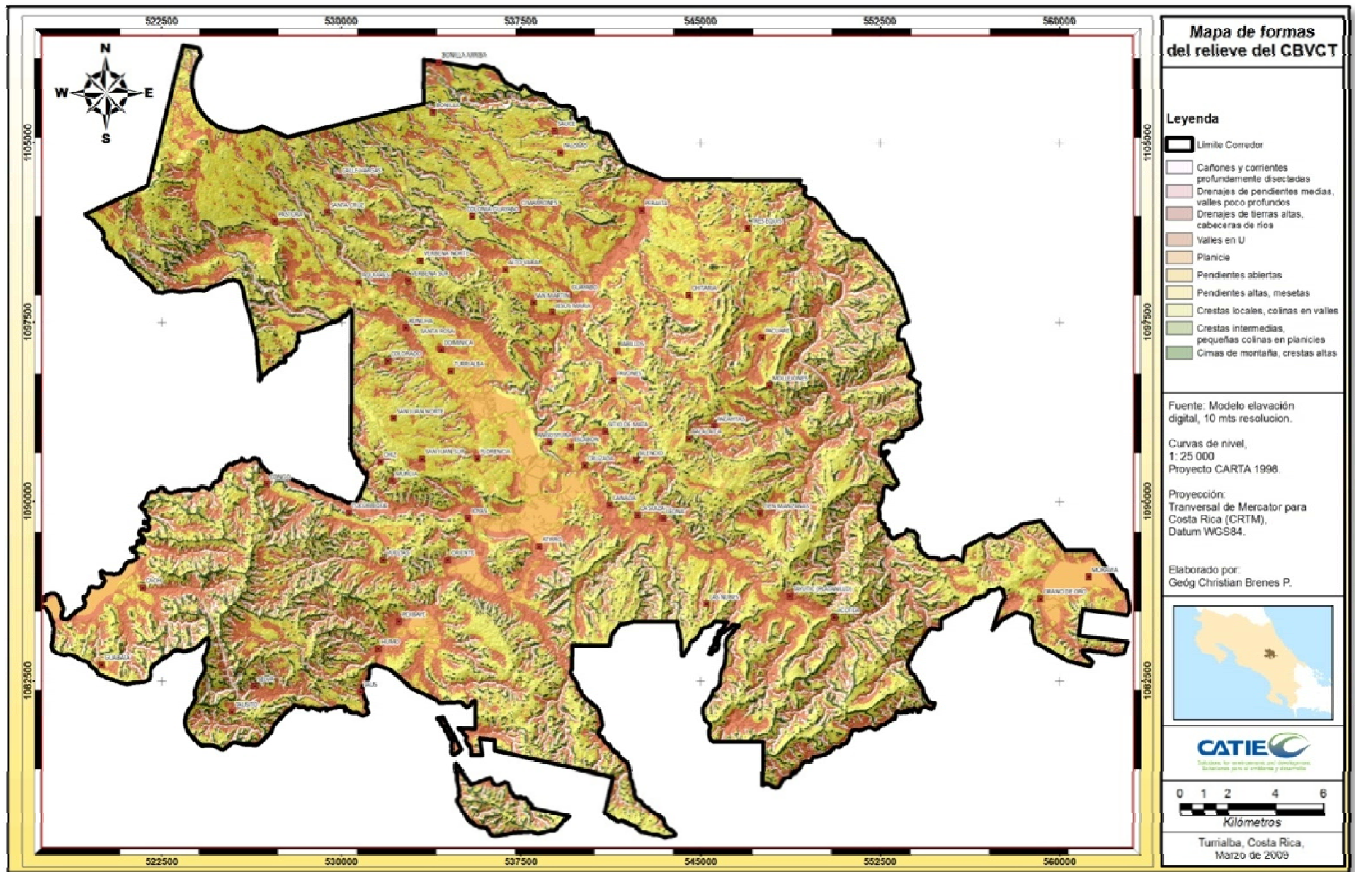


Figura 20. Mapa de formas del relieve en el CVBCT

4.4.1 Distribución del bosque según la forma del relieve

Se realizó un análisis de la distribución del bosque sobre las formas del relieve (Cuadro 19), (Figura 21); esta clase se extiende predominantemente en 2 geoformas, los valles en U con 26.4% (D.E=0.14) de promedio, y las pendientes altas y mesetas con una media de 25.6% (D.E=0.10). Un segundo grupo de formas cubre aproximadamente el 40% del bosque, estos son los cañones y corrientes profundamente disectadas con una media de 15.2% (D.E= 0.03), las pendientes abiertas con un promedio de 12.6% (D.E= 0.07), y por último las cimas de montañas y crestas altas con 12.1% (D.E= 0.04).

Cuadro 19. Distribución porcentual y absoluta del bosque sobre las formas de relieve en el CBVCT en el periodo 1986-2008.

FORMA	1986		1996		2001		2008	
	HA	%	HA	%	HA	%	HA	%
Valles en U	7865.30	26.62	7770.40	26.22	7967.50	26.42	8097.93	26.53
Pendientes altas, mesetas	7538.67	25.51	7643.16	25.79	7729.83	25.63	7843.05	25.69
Cañones y corrientes disectadas profundamente	4505.76	15.25	4508.21	15.21	4583.18	15.20	4621.75	15.14
Pendientes abiertas	3677.94	12.45	3727.03	12.57	3819.42	12.66	3854.07	12.62
Cimas de montañas, crestas altas	3582.76	12.12	3613.14	12.19	3652.94	12.11	3684.69	12.07
Crestas locales, colinas en valles	651.08	2.20	645.23	2.18	656.05	2.18	661.79	2.17
Crestas intermedias, colinas en planicies	628.47	2.13	631.62	2.13	646.04	2.14	652.21	2.14
Drenajes de pendientes medias, valles poco profundos	469.53	1.59	472.70	1.59	481.12	1.60	484.47	1.59
Drenajes de tierras altas, cabeceras de ríos	401.60	1.36	401.69	1.36	405.88	1.35	409.19	1.34
Planicies	228.10	0.77	225.25	0.76	219.82	0.73	218.45	0.72
	29549.21	100.00	29632.95	100.00	30118.63	100.00	30523.73	100.00

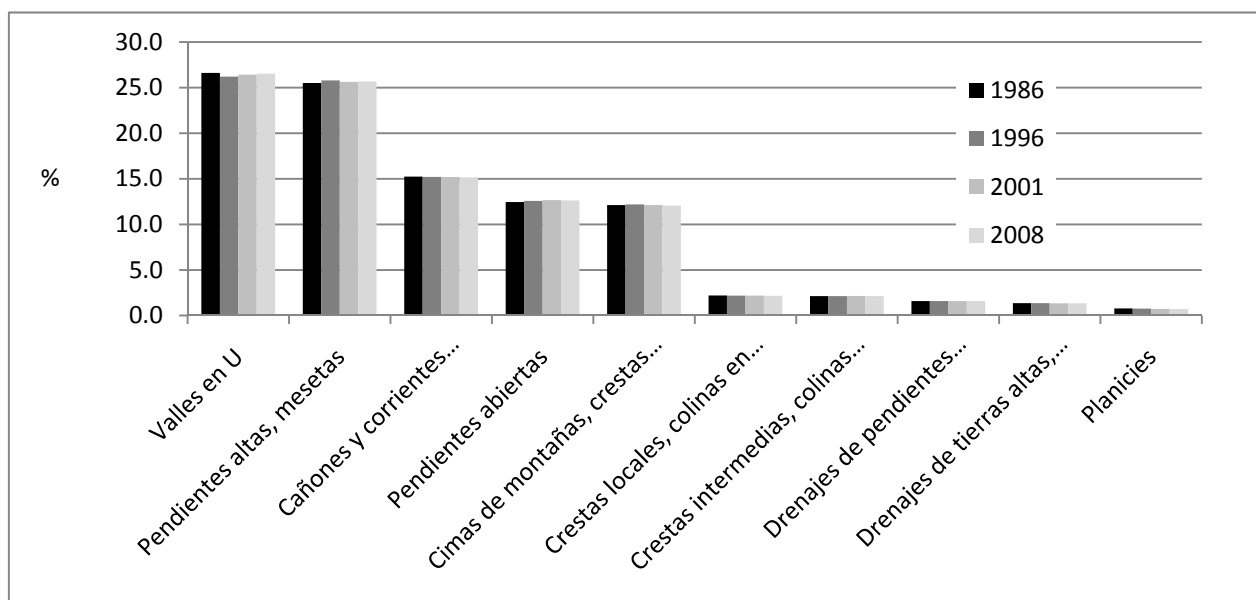


Figura 21. Distribución relativa del bosque sobre las formas del relieve en el CBVCT para el periodo 1986-2008

El bosque remanente en el CBVCT se ha ubicado predominantemente en áreas de topografía abrupta, zonas de difícil acceso y circunscrito a los cañones de los ríos; las formas más planas y regulares han sido ocupadas por los cultivos (café, caña) y los asentamientos humanos, suponiendo aquí una alta accesibilidad y mecanización más eficiente del terreno. Este tipo de análisis se hace útil en estudios como por ejemplo los

llevados a cabo por Murrieta (2005) y Guerrero (2005) para tratar de identificar si un tipo de bosque o una población también responden a una determinada forma de relieve, dados los efectos sobre los patrones y procesos que dichas formas pueden ejercer sobre el paisaje a distintas escalas. Por otro lado en un sentido inverso, el bosque altera los patrones de humedad en las formas del relieve a través de la evapotranspiración, cambiando las características biofísicas del suelo, mejorando la retención de humedad y el drenaje, lo cual ayuda a soportar también una mayor microfauna en el suelo (Harden *et al*, 2003).

4.4.2 Distribución del pasto según la forma del relieve

La categoría pasto históricamente se agrupa mayoritariamente en 3 diferentes formas (Cuadro 20), (Figura 22), las pendientes altas y mesetas con una media de 29.3% (D.E= 0.11), los valles en U con 27.8% de promedio (D.E= 0.11) y en las pendientes abiertas con 23.0% (D.E= 0.08)

Cuadro 20. Distribución porcentual y absoluta del pasto sobre las formas de relieve en el CBVCT entre 1986-2008.

FORMA	1986		1996		2001		2008	
	HA	%	HA	%	HA	%	HA	%
Pendientes altas, mesetas	6398.11	29.31	6212.32	29.47	6235.69	29.42	6086.11	29.17
Valles en U	6121.80	28.05	5852.45	27.76	5920.22	27.93	5780.90	27.70
Pendientes abiertas	5018.11	22.99	4857.46	23.04	4884.66	23.04	4843.17	23.21
Cimas de montañas, crestas altas	1579.25	7.24	1567.51	7.44	1550.47	7.31	1525.14	7.31
Planicies	1015.87	4.65	968.74	4.59	969.84	4.58	1025.26	4.91
Cañones y corrientes disectadas profundamente	988.56	4.53	940.77	4.46	963.34	4.54	939.98	4.50
Crestas locales, colinas en valles	263.03	1.21	250.38	1.19	249.21	1.18	249.05	1.19
Drenajes de pendientes medias, valles poco profundos	176.19	0.81	170.48	0.81	169.97	0.80	165.24	0.79
Crestas intermedias, colinas en planicies	153.23	0.70	149.60	0.71	145.55	0.69	143.80	0.69
Drenajes de tierras altas, cabeceras de ríos	113.09	0.52	113.04	0.54	109.33	0.52	108.22	0.52
	21827.23	100.00	21082.75	100.00	21197.50	100.00	20858.83	100.00

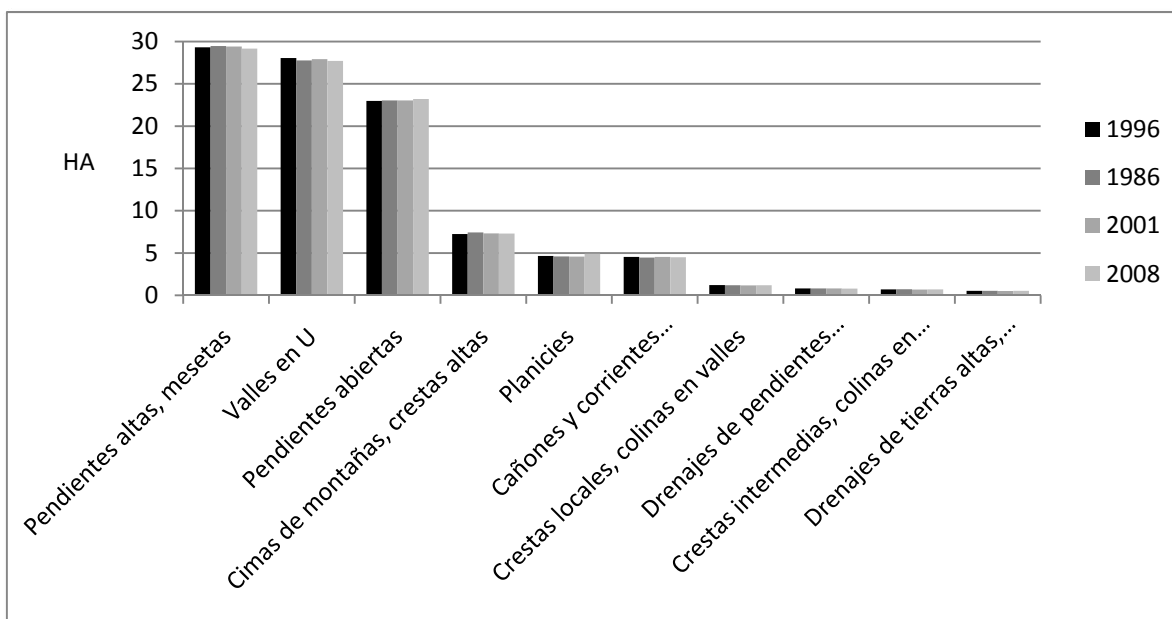


Figura 22. Distribución relativa del pasto sobre las formas del relieve en el CBVCT entre 1986-2008

El pasto también tiene una amplia distribución en relieves abruptos y regulares, esto queda demostrado con el alto porcentaje de pastos en *sobreuso* derivado del análisis de capacidad de usos. Pendientes abiertas y pendientes altas y mesetas como en las faldas del Volcán Turrialba han sido utilizadas históricamente como áreas de pastoreo; así mismo los valles en U están ocupados por pasto debido a la cercanía y disponibilidad de los cursos de agua. Si relacionamos estos datos con la distribución del bosque se puede inferir de manera indirecta que ambos comparten el espacio en los valles en U y en las pendientes altas y mesetas, esto conlleva a cambios abruptos en los límites lo que genera un efecto de borde mayor en el paisaje.

4.4.3 Distribución del café según la forma del relieve

La distribución espacio temporal (Cuadro 21), (Figura 23), muestra que cultivo del café se asienta aproximadamente en un 80.0% sobre 3 formas, los valles en U con un promedio de 29.0%, (D.E= 0.23), las pendientes altas y mesetas con 27.2% (D.E= 0.54) y las pendientes abiertas con una media de 24.9% (D.E= 0.34).

Cuadro 21. Distribución porcentual y absoluta del café sobre las formas de relieve en el CBVCT entre 1986-2008.

FORMA	1986		1996		2001		2008	
	HA	%	HA	%	HA	%	HA	%
Valles en U	3138.21	29.36	2884.88	28.91	2820.98	28.77	2770.47	28.82
Pendientes altas, mesetas	2820.94	26.39	2705.02	27.10	2710.28	27.64	2669.51	27.77
Pendientes abiertas	2688.59	25.15	2525.38	25.30	2441.50	24.90	2345.26	24.39
Cimas de montañas, crestas altas	682.42	6.38	638.84	6.40	638.80	6.51	641.34	6.67
Planicies	571.88	5.35	531.45	5.33	503.51	5.14	491.29	5.11
Cañones y corrientes disectadas profundamente	492.91	4.61	426.94	4.28	424.31	4.33	428.89	4.46
Crestas intermedias, colinas en planicies	134.12	1.25	121.05	1.21	119.70	1.22	120.47	1.25
Drenajes de pendientes medias, valles poco profundos	81.07	0.76	74.81	0.75	74.68	0.76	74.75	0.78
Crestas locales, colinas en valles	49.30	0.46	43.49	0.44	43.47	0.44	43.58	0.45
Drenajes de tierras altas, cabeceras de ríos	30.76	0.29	28.17	0.28	28.17	0.29	28.19	0.29
	10690.20	100.00	9993.58	100.00	9812.84	100.00	9624.38	100.00

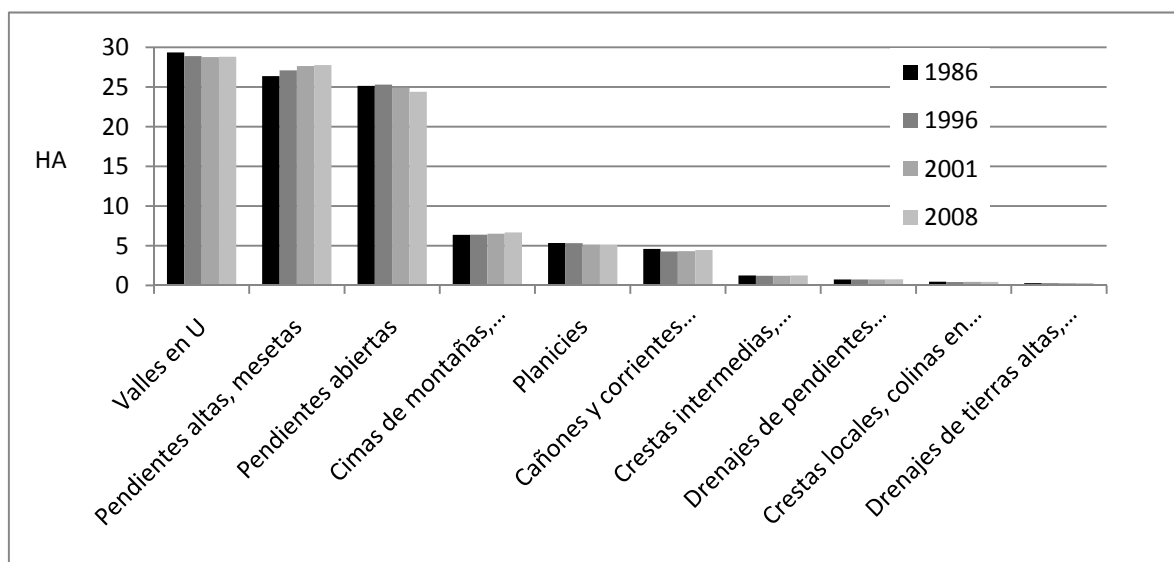


Figura 23. Distribución relativa del café sobre las formas del relieve en el CBVCT para el periodo 1986-2008

El café está asociado a las mismas formas del relieve que el pasto, pero por el arreglo y estructura del cultivo este presenta menor área en sobreuso si se compara en términos de los conflictos de uso; en la forma pendientes altas y mesetas de observa un crecimiento de esta cobertura durante el periodo en estudio, pero en términos generales muestra una estabilidad relativa que se refleja en la proporción en cada forma del relieve.

4.4.4 Distribución de los charrales según la forma del relieve

De acuerdo con los análisis (Cuadro 22), (Figura 24), los charrales se asientan en su mayoría en 3 formas de relieve, valles en U con una media de 33.03% (D.E= 1.28), pendientes altas y mesetas con 23.61% (D.E= 0.65), y las pendientes abiertas con un promedio de 18.75% (D.E= 0.35).

Cuadro 22. Distribución porcentual y absoluta de los charrales sobre las formas del relieve en el CBVCT para el periodo 1986-2008.

FORMA	1986		1996		2001		2008	
	HA	%	HA	%	HA	%	HA	%
Valles en U	1784.83	30.87	2143.93	34.14	1888.63	33.65	1869.23	33.60
Pendientes altas, mesetas	1432.12	24.77	1442.61	22.97	1319.98	23.52	1314.45	23.63
Pendientes abiertas	1109.79	19.19	1161.41	18.50	1029.11	18.34	1057.12	19.00
Cimas de montañas, crestas altas	538.17	9.31	561.33	8.94	492.57	8.78	470.64	8.46
Cañones y corrientes disectadas profundamente	518.64	8.97	513.27	8.17	488.77	8.71	466.45	8.38
Planicies	105.33	1.82	136.71	2.18	103.77	1.85	110.25	1.98
Crestas intermedias, colinas en planices	96.01	1.66	108.63	1.73	93.89	1.67	87.18	1.57
Drenajes de pendientes medias, valles poco profundos	75.57	1.31	80.80	1.29	74.03	1.32	69.74	1.25
Crestas locales, colinas en valles	69.82	1.21	77.85	1.24	69.84	1.24	69.13	1.24
Drenajes de tierras altas, cabeceras de ríos	52.42	0.91	52.56	0.84	52.00	0.93	49.14	0.88
	5782.70	100.00	6279.10	100.00	5621.24	100.00	5563.33	100.00

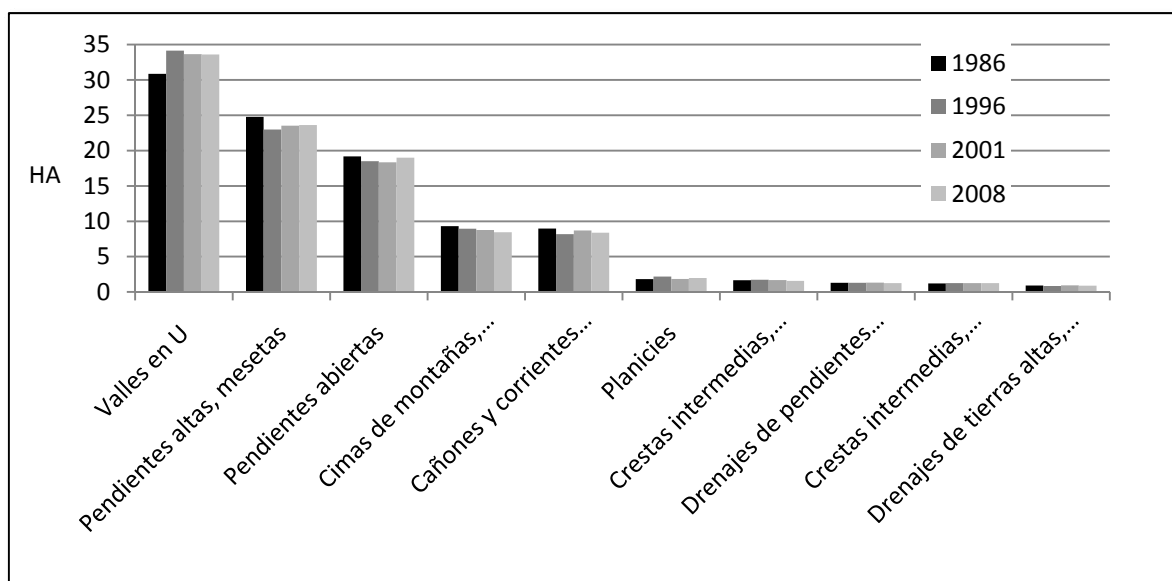


Figura 24. Distribución relativa de los charrales sobre las formas del relieve en el CBVCT para el periodo 1986-2008

4.5 Análisis de paisaje en el CBVCT para el periodo en estudio

Utilizando el programa FRAGSTATS 3.2 (MacGarigal 2002) se calcularon métricas a nivel de paisaje y clase. Para ello se tomó como base el mapa de uso del suelo en formato raster con resolución de 15 metros de cada año evaluado.

4.5.1 Métricas a nivel de paisaje

Se analizó el CBVCT a nivel de paisaje (Cuadro 23), los valores encontrados para cada año se describen a continuación:

Cuadro 23. Cuadro 31. Métricas a nivel de paisaje en el CBVCT para el periodo 1986-2008

Año	TA	NP	PD	ED	AREA MN	ENN MN	CONTAG	IJI
1986	75304,44	1306	1,73	50,66	57,66	267,89	58,19	72,32
1996	75304,44	1360	1,81	51,92	55,37	261,44	59,25	69,15
2001	75304,44	1371	1,82	52,22	54,93	263,10	62,66	62,03
2008	75304,44	1378	1,83	52,33	54,65	265,77	63,75	59,75

TA: Área total (Ha), NP: Numero de parches, ED: Densidad de borde, PD: Densidad de parches (Parches / 100 Ha), Area MN: Tamaño promedio parches (Ha), ENN MN: Distancia promedio mínima vecino más próximo (M), CONTAG: Índice de contagio (%), IJI: Índice de esparcimiento y juxtaposición (%)

La cantidad de parches aumentó un 5.22% en el lapso de 22 años, pero el área promedio de los mismos disminuyó un 5.52% durante todo el horizonte de tiempo; la distancia promedio al vecino más próximo ha oscilado entre 267.69 m en 1986 a 265.77 m en el 2008, manteniendo un promedio de 264.61 m (D.E= 2.27); así mismo, el índice de contagio muestra un aumento de 5.56% para todo el periodo, caso contrario ocurre con el IJI, el cual muestra una contracción del 12.75%. Cabe destacar también que el crecimiento en la cantidad de parches del paisaje tiene como consecuencia el aumento en el PD (0.10 parches/ 100 ha) para el horizonte de tiempo, así como con el ED (1.67m / ha).

La distribución del número de parches (NP) de bosque contra la distancia promedio al vecino más próximo (ENN NM), (Figura 25), muestra un aumento acelerado en la cantidad de parches en el periodo 86-96, así mismo el comportamiento del ENN MN fue inverso, disminuyendo la distancia mínima promedio entre los mismos. De 1996 al 2008 se observa una tendencia a la alza de estos 2 índices, lo que indica que los nuevos parches

que aparecen en el paisaje están en promedio más distanciados de sus vecinos de la misma clase.

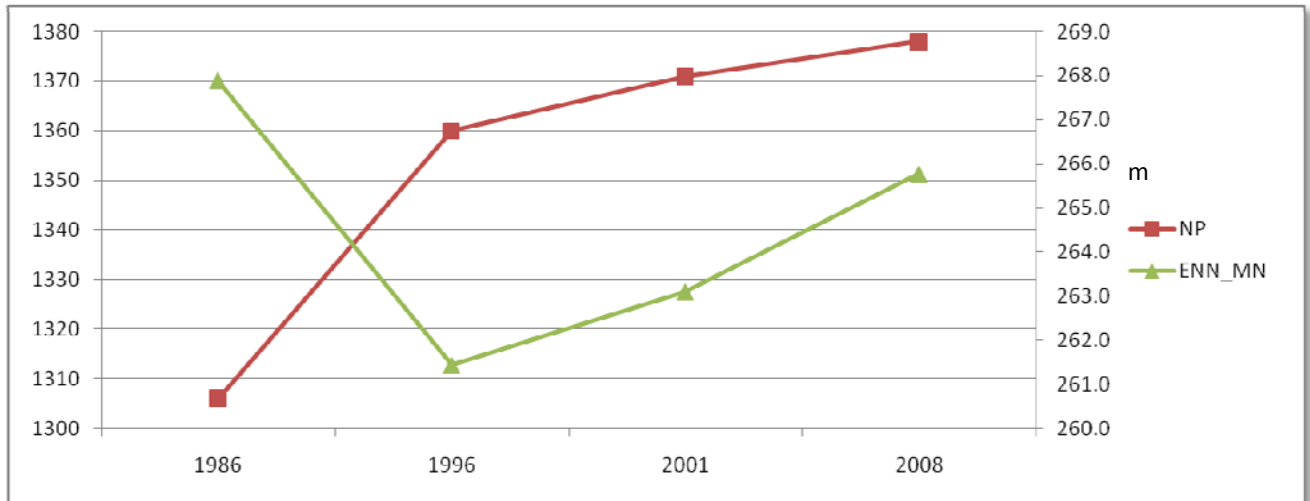


Figura 25. Número de parches contra distancia al vecino más próximo en el CBVCT entre 1986-2008

La conexión entre el NP, el IJI y el CONTAG (Figura 26) muestra una relación directa entre el aumento en la cantidad de parches y el CONTAG debido a que los nuevos parches que se reclutan en el paisaje son extensos y además tienen poca superficie de contacto con sus vecinos, esto se confirma con el valor del IJI el cual muestra una tendencia hacia la baja durante el periodo de estudio, lo que indica una desproporción en la entremezcla de los parches del paisaje.

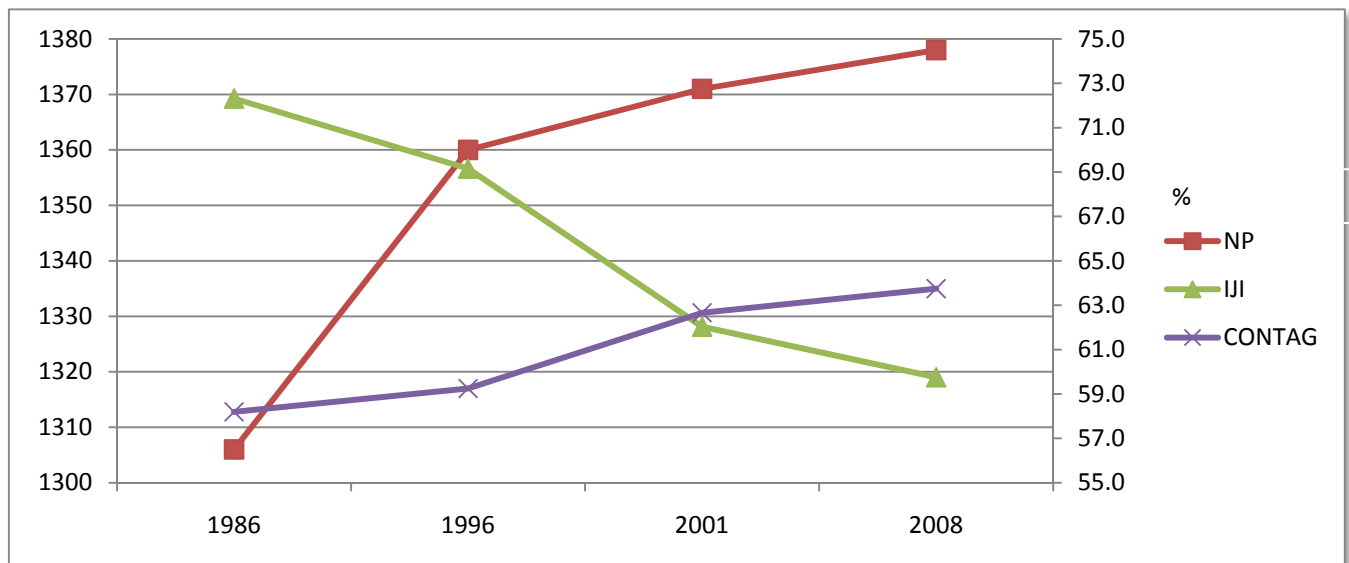


Figura 26. Numero de parches, índice de contagio e índice de esparcimiento y juxtaposición en el CBVCT para el periodo 1986-2008

El vínculo entre el número de parches y el tamaño promedio de los mismos (Figura 27) para el CBVCT durante el periodo de análisis indica que hay una relación inversa, la cantidad de parches aumenta, pero no así su tamaño, lo cual es un indicador que el paisaje como tal está fragmentándose, ya que cada vez se compone de más unidades pero un tamaño menor.

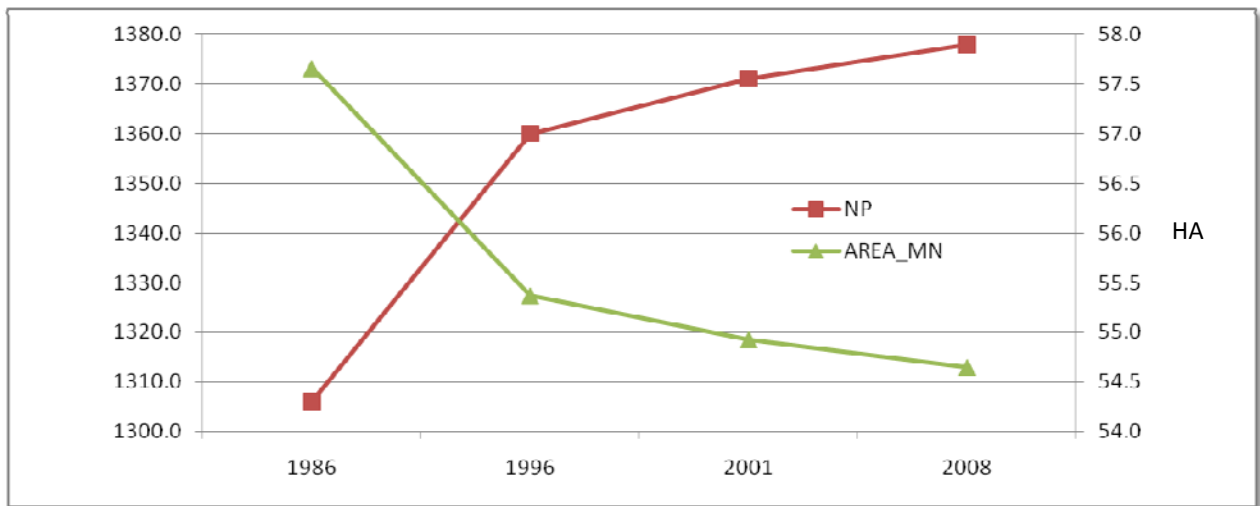


Figura 27. Número y área promedio de parches en el CBVCT para el periodo 1986-2008

4.5.2 Métricas a nivel de clase

Se muestran las salidas a nivel de clase para cada uno de los años analizados (Cuadro 24), se describirán las métricas para 4 usos del suelo, bosque, pasto, charrales y café.

Cuadro 24. Métricas a nivel de clase en el CBVCT entre 1986-2008

CLASES	AÑO	CA	NP	PD	ED	AREA P	ENN MN	IJI
BOSQUE	1986	29549.23	295	0.39	29.88	100.17	133.1	69.34
	1996	29638.44	298	0.4	30.74	99.46	133.98	66.42
	2001	30161.79	301	0.4	31.44	100.21	126.92	60.89
	2008	30527.6	299	0.4	31.49	102.1	127.23	58.68
PASTO	1986	22161.02	326	0.43	29.51	67.98	153.7	67.95
	1996	21082.75	346	0.46	29.23	60.93	154.82	64.17
	2001	21198.29	346	0.46	29.46	61.27	158.35	58.19
	2008	20866.88	351	0.47	29.29	59.45	155.15	56.12
CHARRALES	1986	5448.92	277	0.37	12.45	19.67	329.07	65.11
	1996	6279.1	284	0.38	13.46	22.11	318.64	65.12
	2001	5612.58	292	0.39	13.13	19.22	317.2	57.5
	2008	5604.17	288	0.38	13.21	19.46	308.37	54.71
CAFÉ	1986	10690.2	227	0.3	15.02	47.09	186.6	79.27
	1996	9980.03	235	0.31	14.81	42.47	177.25	76.24
	2001	9805.39	229	0.3	14.62	42.82	183.54	68.6
	2008	9613.76	232	0.31	14.59	41.44	181.55	65.26

TA: Área total (Ha), NP: Numero de parches, ED: Densidad de borde, PD: Densidad de parches (Parches / 100 Ha), Área MN: Tamaño promedio parches (Ha), ENN MN: Distancia promedio minima vecino más próximo (M), IJI: Índice de esparcimiento y juxtaposición (%)

La cantidad de parches de bosque osciló de 295 a 299 entre 1986 y 2008, el área promedio de la clase durante el periodo fue de 100.48 ha (D.E=0.97), además el índice de ENN MN descendió en 5.87 m, así mismo la entremezcla de los parches (IJI) disminuyó en 10.66%, la densidad se mantiene constante en el tiempo con 0.4 parches/100 ha, y la densidad de borde aumentó en 1.61 m/ha.

La comparación del área de bosque contra el número de parches (Figura 28) muestra una tendencia al aumento de la clase al igual que la cantidad de parches, en el año 2001 se registra una disminución de los mismos debido a que se inundaron parches con la construcción de un embalse hidroeléctrico. Los resultados observados en el análisis multitemporal de cambio de uso avalan este comportamiento, la cobertura de bosque de

recupera lentamente, esto se denota en la amplitud del rango de la cantidad de parches, además se observa que se reclutan pocos parches pero con un tamaño promedio de 100.0 ha.

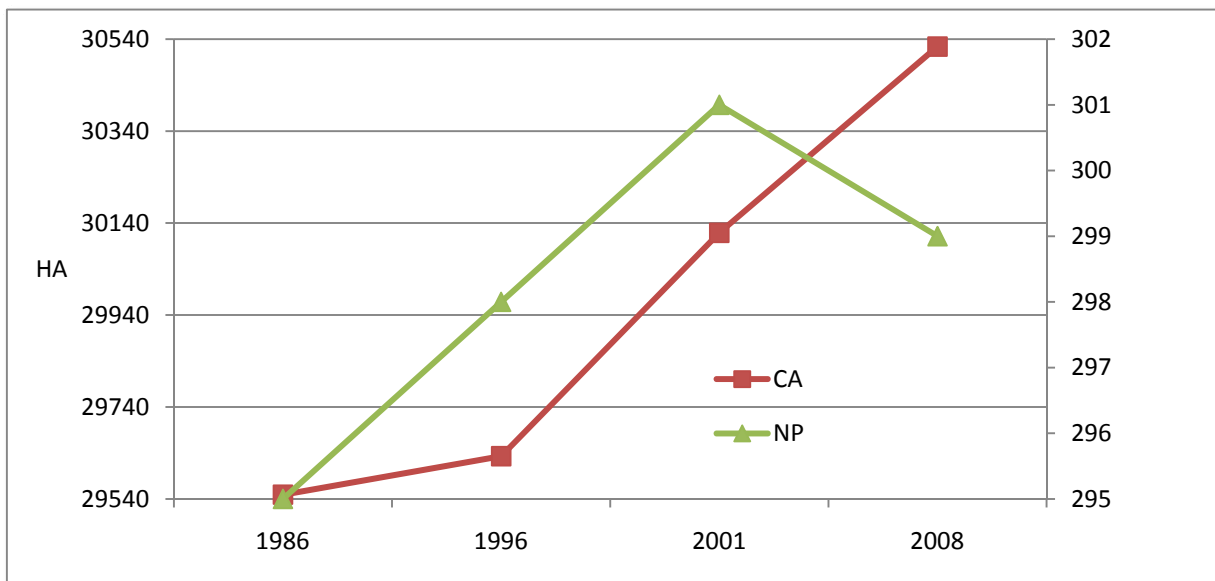


Figura 28. Número de parches de bosque y área de la clase bosque en el CBVCT entre 1986 -2008

La comparación de número de parches contra índice de esparcimiento (Figura 29) muestra una relación inversa, lo que denota que conforme se reclutan nuevos parches de bosque estos cada vez más están rodeados una menor diversidad cantidad de usos, con lo que se infiere que estos parches están apareciendo en zonas homogéneas del corredor, o sea dominados por pocos usos.

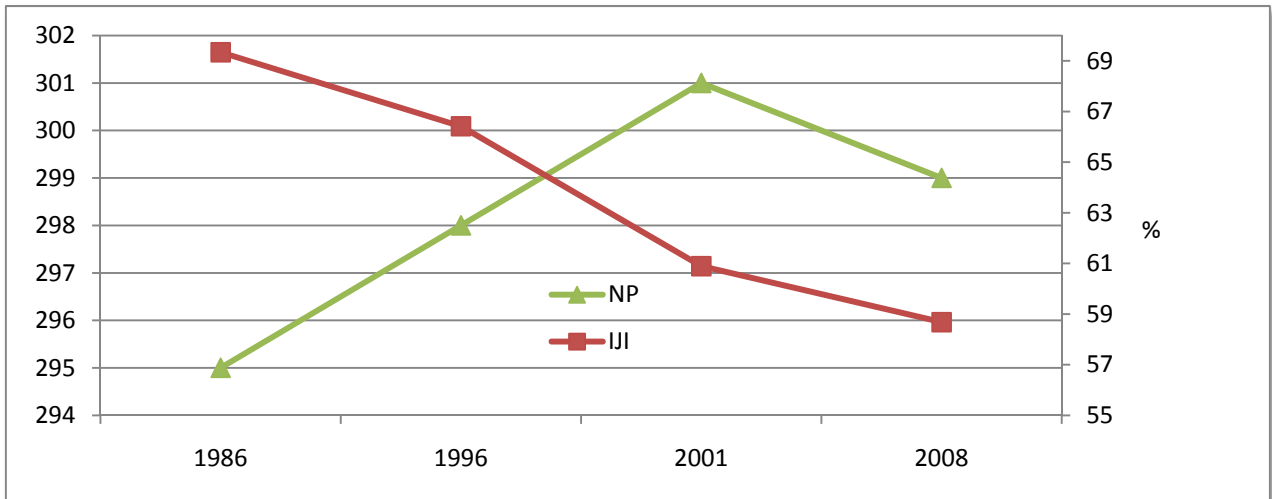


Figura 29. Número de parches de bosque e índice de interspección en el CBVCT entre 1996-2008

La relación número de parches de bosque y distancia promedio del vecino más próximo (Figura 30) muestra que a pesar de la tendencia a la alza del número de parches la distancia mínima promedio entre ellos exhibe un comportamiento más errático, entre 1986 y 1996 los parches tienden a separarse, entre 1996 y 2001 se inclinan a estar más próximos, y finalmente del 2001 al 2008 se observa un leve aumento en la distancia.

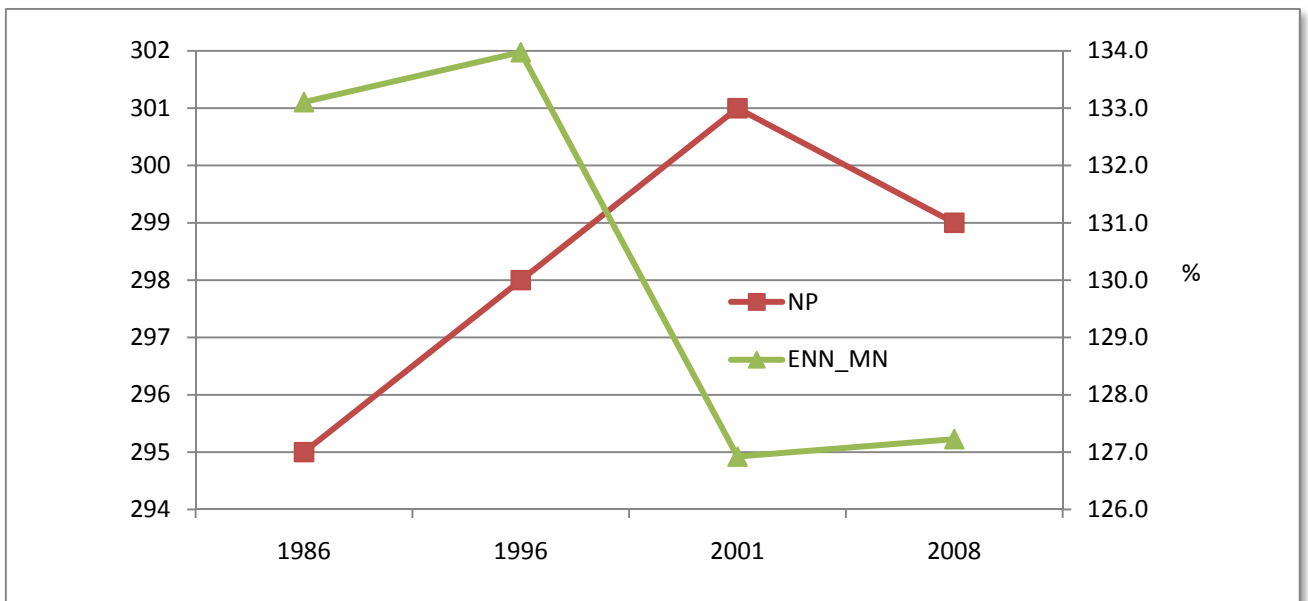


Figura 30. Número de parches de bosque y distancia promedio al vecino más próximo en el CBVCT entre 1996-2008

La mayor dinámica de cambio de uso del suelo en el CBVCT está dada por las transiciones entre bosque, pasto y charral, el análisis comparativo (Figura 31) entre la cantidad de parches y el área promedio de cada clase, muestra que el pasto posee la mayor cantidad de parches y presenta una tendencia al incremento de estos, no así el tamaño promedio el cual ha ido en descenso; comparando este comportamiento respecto a la clase bosque se observa que la cobertura forestal tiene tamaños de parche mayores pero en menor cantidad, esto demuestra que el bosque está desfragmentándose, lo anterior se deriva también de la disminución del índice ENN MN dado que los parches al aumentar de tamaño tienden a estar más cerca unos de otros. La clase charral tiene menor cantidad de parches y área promedio más baja que el bosque y los pastos, pero es el cuarto uso con mayor cobertura histórica en el corredor, el bajo tamaño promedio de los parches está en correspondencia con el alto ENN MN de la clase el cual tiene una media 318.0 m en los 22 años de estudio, lo que significa que hay muchos parches, relativamente pequeños y muy distanciados entre sí, indicando que esta clase está fragmentada.

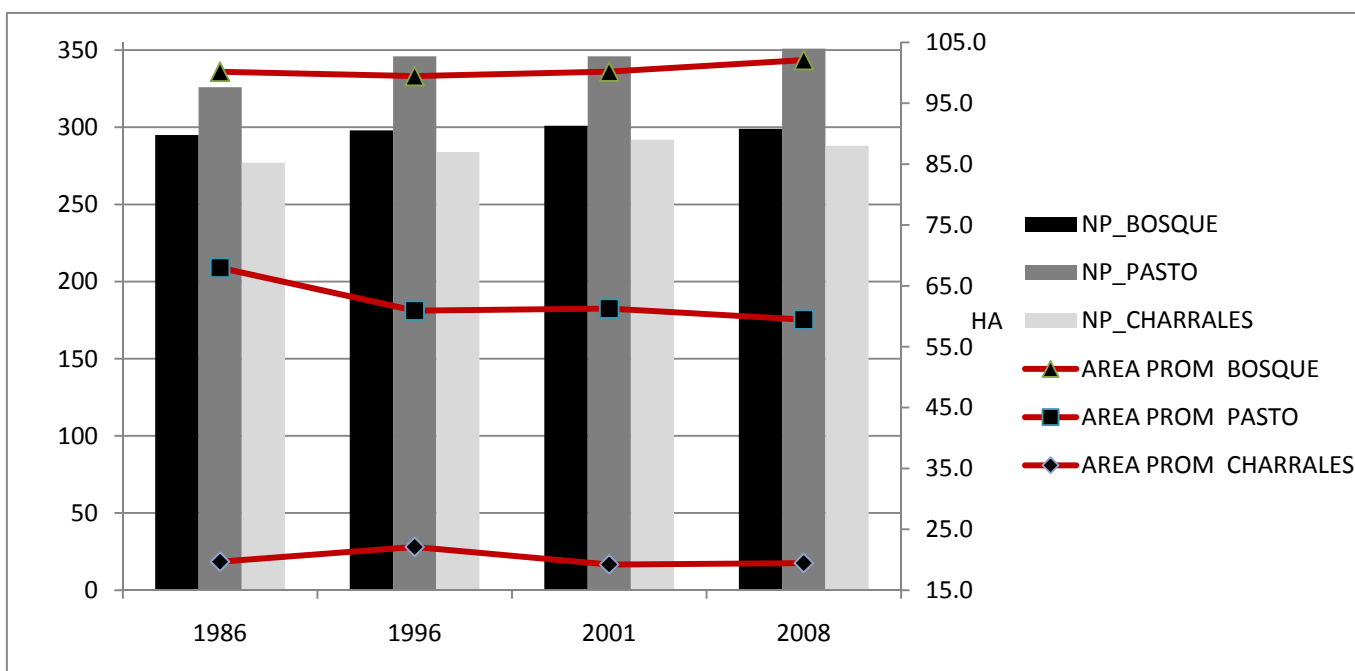


Figura 31. Relación área promedio – número de parches de los usos bosque, pasto y charrales en el CBVCT entre 1986-2008

Murrieta (2006), realizó un análisis de paisaje en el CBVCT utilizando un mapa a escala 1: 15 000 basado en fotografías áreas del 2003, acá se nota la diferencia en el valor métricas al variar la escala, las estadísticas del mapa de escala mayor revelan un total 508 parches de bosque , mientras que los mapas de este estudio son de escala 1: 25 000 y presentan 301 parches en el 2001 y 299 en el 2008, no obstante a esto, el área utilizada por Murrieta tiene aproximadamente 2000 ha menos, pero en ambos casos la proporción de bosque se mantiene en el paisaje; debido que el cambio de escala es un agente fragmentador cuando de modelar procesos ecológicos se trata.

4.6 Creación de redes de conectividad estructural en el CBVCT para el periodo en estudio

Se crearon escenarios de redes de conectividad estructural para cada año evaluado (Anexo 16, 17, 18, 19), las características básicas de cada red se muestran a continuación (Cuadro 25):

Cuadro 25. Distancia, cantidad de nodos y largo promedio de los tramos de las redes de conectividad modeladas en el CBVCT entre 1986-2008

Año	Distancia recorrido (km)	Cantidad Nodos	Largo medio de tramos (Km)
1986	488.4	186	2.62
1996	480.6	181	2.65
2001	483.9	179	2.70
2008	501.5	175	2.86

La estructura de las redes de conectividad a lo largo del tiempo muestran una relación inversamente proporcional entre el largo total de las mismas y la cantidad de nodos que poseen, a mayor distancia recorrida menor cantidad de nodos, el diseño de red del año 1986 tiene un recorrido total de 488.4 km, se seleccionaron 186 nodos, y el largo promedio de cada ramal es de 2.6 km. Para 1996 la red contó con un recorrido total de 480.6 km, constituida por un 181 nodos, y una distancia promedio de cada ramal de 2.6km. En el 2001 se observó un largo total de la red de 483.9 km, con 179 nodos, un promedio de longitud por ramal de 2.7 km. Finalmente para el 2008 la distancia recorrida por la red fue de 501.5 km, con 175 nodos, y un promedio de distancia por ramal de 2.9 km.

Con el fin de comparar el componente estructural de cada una de las redes se tomó como base a Brooks (2003), para ello se calculó la distancia promedio mínima entre nodos de conexión como un indicador de aislamiento, se creó un buffer alrededor de cada nodo a partir de dicha distancia, esto permite observar cuantos nodos quedan desconectados a esa distancia específica, y además qué tramos de la red quedan fuera del área de influencia de esa misma distancia.

Cuadro 26. Recorrido de red, cantidad de nodos, índice de ENN, nodos desconectados, y recorrido de red en baja conectividad en el CBVCT entre 1986-2008

Año	Distancia recorrido (km)	Cantidad Nodos	Distancia mínima promedio (km)	Nodos desconectados	Recorrido de red baja conectividad (km)	%
1986	488.4	186	0.98	7	128.5	26.3
1996	480.6	181	0.99	8	133.6	27.8
2001	483.9	179	0.99	7	133.9	27.6
2008	501.5	175	0.98	7	149.9	29.9

De acuerdo con el análisis realizado (Cuadro 26), en términos generales todos los años presentan porcentajes de recorrido de red de baja conectividad similares, siendo el año 1986 el de menor valor con 26.3%, esto se debe al hecho que este escenario presenta la mayor cantidad de nodos y estos en promedio están más cerca unos de otros en comparación con los años 1996 y 2001. El año 2008 presenta la mayor distancia mínima promedio entre nodos, el mayor recorrido de la red y el más alto grado en baja conectividad (29.9%).

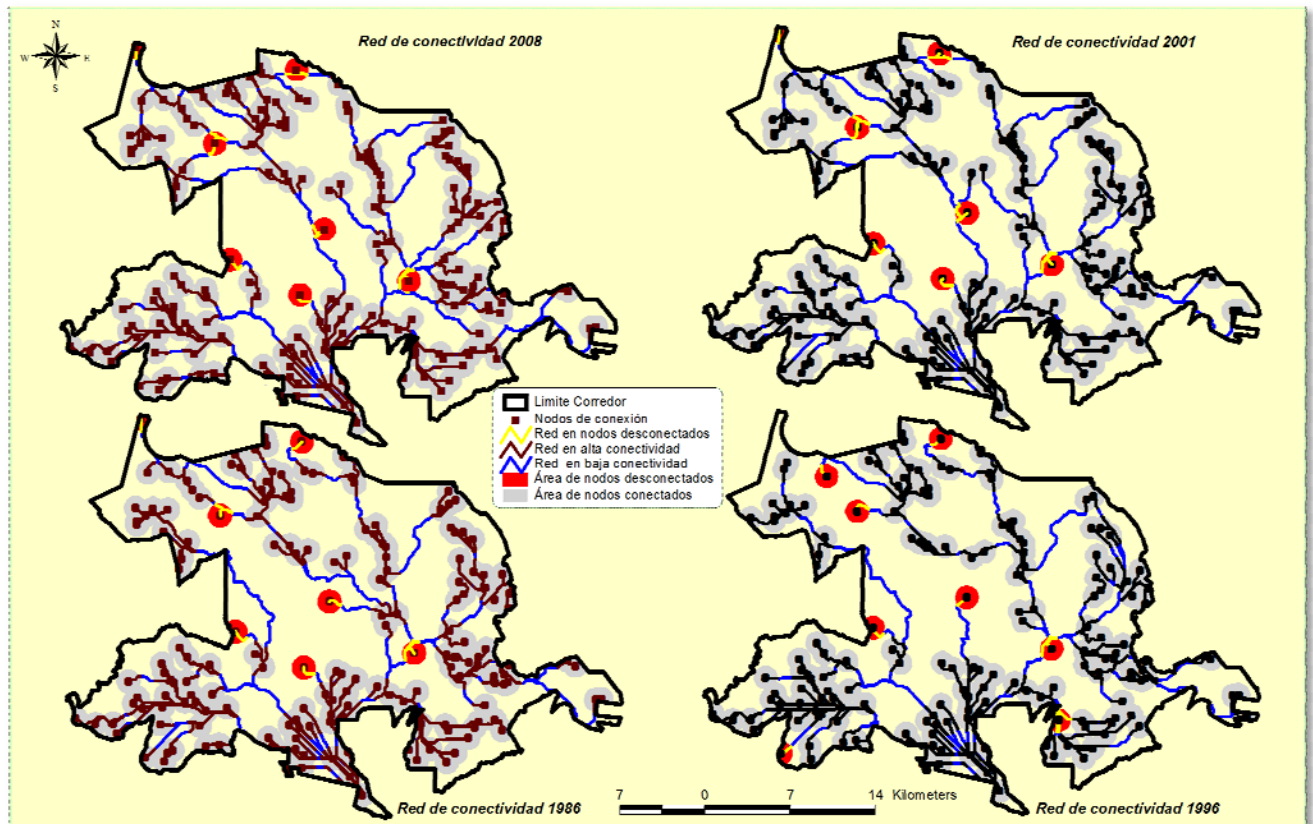


Figura 32. Mapa de redes de conectividad estructural en el CBVCT entre 1986-2008

El emplazamiento de los nodos desconectados (Figura 32) revela que estos históricamente se han localizado mayoritariamente en el centro y norte del CBVCT e igualmente se observa poca conectividad en estos mismos sitios, deducido esto por la ausencia de redes que los atraviesen, así mismo las líneas en color azul en el mapa indican tramos de redes que se encuentran lejos de nodos de conexión, o de algún nodo que está aislado de acuerdo con la distancia mínima promedio de sus vecinos calculada para cada año, caso inverso sucede con las líneas de color negro, las líneas amarillas resaltan los tramos de red que están dentro del área de influencia de los nodos desconectados.

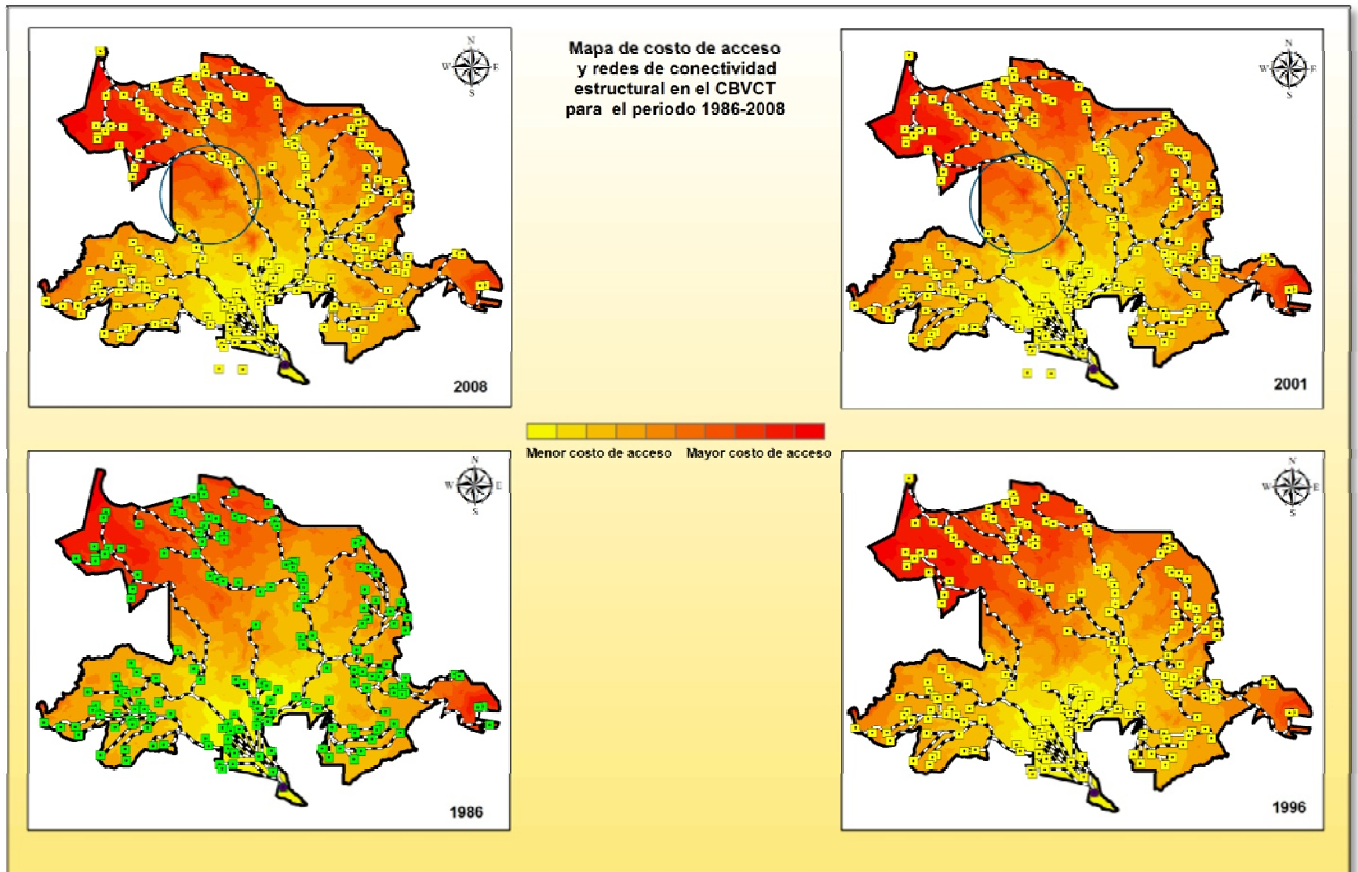


Figura 33. Mapa de redes de conectividad estructural y costo – distancia en el CBVCT entre 1986-2008

El comportamiento histórico de las redes de conectividad (bajo los pesos, ponderaciones y escalas fijadas para este análisis) muestran un vacío sistemático de la conectividad sobre el sector oeste del CBVCT; en los años 1986 y 1996 se observa un tramo de red que atraviesa justo sobre límite de occidental corredor, pero conforme ha aumentado el área de los asentamientos humanos se ha creado una barrera sobre ese sector, esto se puede observar directamente sobre el mapa de costo distancia (Figura 33), los círculos azules resaltan la zona en donde dicho costo se ha acrecentado en los últimos 7 años.

4.6.1 Distribución de las redes de conectividad por uso de suelo

Se realizaron comparaciones entre los trazados de red propuestos para cada año, para ello se trazó un buffer de 100 m a lo ancho de cada red (Cuadro 27) y se extrajo el uso del suelo y la forma del relieve dentro de cada uno.

Cuadro 27. Área de los buffers

Año	Área (ha)
1986	9028.3
1996	8794.7
2001	8883.5
2008	9120.0

A continuación se presenta la distribución de los usos de suelo dentro de la red (Cuadro 28), (Figura 34).

Cuadro 28. Distribución de los usos de suelo en un buffer de 100 m sobre el trazado de las redes de conectividad en el CBVCT entre 1986-2008.

USO	1986		1996		2001		2008	
	HA	%	HA	%	HA	%	HA	%
Bosque	7168.39	78.93	6844.41	77.82	6947.08	78.20	7104.22	77.90
Pasto	823.82	9.07	807.46	9.18	817.74	9.21	807.37	8.85
Café	485.84	5.35	468.27	5.32	464.96	5.23	522.07	5.72
Charral	399.58	4.40	480.17	5.46	438.19	4.93	476.96	5.23
Cuerpos de agua	101.79	1.12	70.45	0.80	84.13	0.95	82.35	0.90
Caña	95.09	1.05	84.58	0.96	88.45	1.00	100.91	1.11
Cultivos	5.87	0.06	21.67	0.25	29.57	0.33	18.90	0.21
Asentamientos	1.98	0.02	2.05	0.02	6.10	0.07	4.32	0.05
Plantación	0.00	0.00	15.68	0.18	7.34	0.08	2.97	0.03
	9082.35	100.00	8794.73	100.00	8883.54	100.00	9120.06	100.00

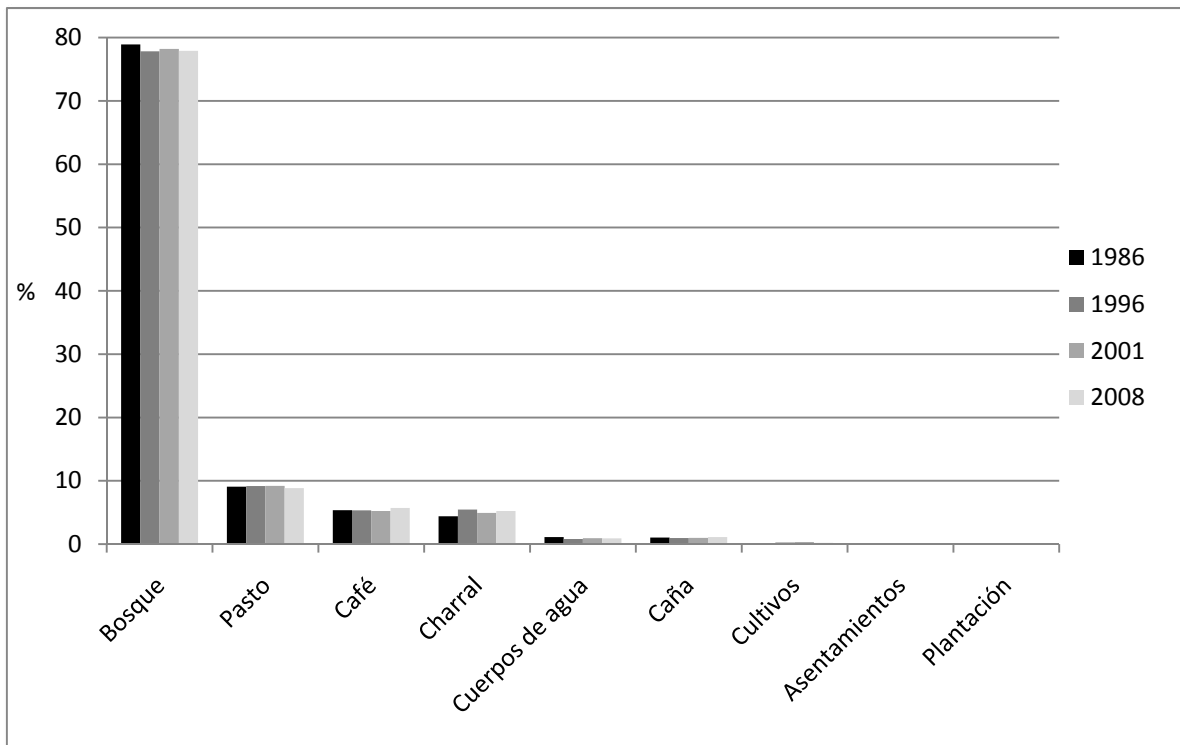


Figura 34. Distribución porcentual de los usos de suelo en un buffer de 100 m sobre el trazado de las redes de conectividad en el CBVCT entre 1986-2008.

Los valores promedio de cobertura en cada buffer para todo el horizonte de tiempo analizado son de 78.2% para el bosque, seguido en menor grado por el pasto con 9.0%, 5.4% para el café, y finalmente los charrales con 5.0%. Las variaciones del porcentaje en cada periodo están dadas por la forma del trazado de la red, el cual a su vez está en función del cambio de uso del suelo; así pues se observa una tendencia espacio – temporal en la predominancia de la cobertura del bosque y en el comportamiento del resto de usos.

La distribución de los usos del suelo de los diferentes años sobre el buffer establecido es consecuente con los parámetros que se utilizaron para crear las redes; por definición se trata de conectar el paisaje a través de los parches de bosque siguiendo las zonas de menor fricción en función de la distancia recorrida dentro de la matriz del paisaje, como se observa, el bosque abarca mayoritariamente el espacio dentro de estos buffers, seguido minoritariamente del pasto, el café. Como se anotó anteriormente, el grado de conectividad de la red está en función del arreglo espacial de los nodos de conexión de bosque, así como del resto de usos del suelo que rodean dicho bosque, así pues existen zonas dentro del CBVCT que tienen vacíos de conectividad estructural, y dentro del mismo

trazado de la red de cada año se observan tramos de mayor o menor grado de conectividad dependiendo de la proximidad de estos a los nodos de conexión de la red.

Murrieta (2005), realizó el mismo ejercicio de sobreposición de las redes propuestas contra el mapa de uso del suelo del 2005 en un buffer de 100 m y encontró porcentajes de 68% y 70% de cobertura de bosque dentro de los buffers, de lo cual se puede derivar que el cambio en la escala de mapa, así como en los criterios de evaluación para la creación de las redes influyen en el porcentaje de cobertura el cual es 10% menor que el presentado en este estudio.

4.6.2 Distribución de las redes de conectividad por forma del relieve.

A continuación se detalla la distribución de las formas del relieve dentro del buffer de 100 m para los diferentes años evaluados (Cuadro 29), (Figura 35):

Cuadro 29. Distribución de redes de conectividad estructural en un buffer de 100 metros sobre las formas del relieve en el CBVCT entre 1986-2008

FORMA	1986		1996		2001		2008	
	HA	%	HA	%	HA	%	HA	%
Cañones y corrientes disectadas profundamente	2571.66	28.32	2407.03	27.37	2457.70	27.67	2471.63	27.10
Pendientes altas, mesetas	2115.63	23.30	2129.85	24.22	2123.37	23.91	2267.48	24.86
Valles en U	1443.35	15.90	1392.71	15.84	1362.08	15.33	1354.61	14.85
Drenajes de tierras altas, cabeceras de ríos	1151.33	12.68	1164.89	13.25	1218.94	13.72	1259.03	13.80
Planicies	1026.95	11.31	988.40	11.24	999.05	11.25	1031.33	11.31
Crestas intermedias, colinas en planices	221.76	2.44	214.88	2.44	212.18	2.39	210.56	2.31
Crestas locales, colinas en valles	217.37	2.39	206.55	2.35	197.60	2.22	198.00	2.17
Pendientes abiertas	118.13	1.30	68.51	0.78	95.15	1.07	105.44	1.16
Drenajes de pendientes medias, valles poco profundos	117.05	1.29	120.13	1.37	119.27	1.34	126.59	1.39
Cimas de montañas, crestas altas	96.68	1.06	100.64	1.14	97.07	1.09	96.62	1.06
	9082.35	100.00	8794.73	100.00	8883.54	100.00	9120.06	100.00

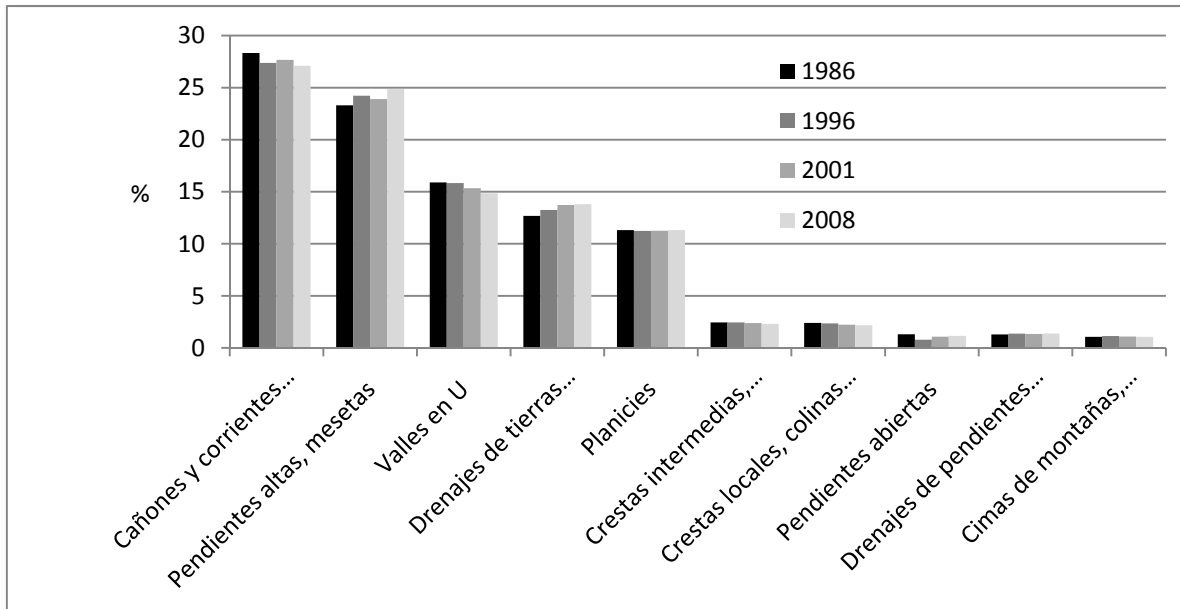


Figura 35. Distribución relativa de las redes de conectividad estructural en un buffer de 100 metros sobre las formas del relieve en el CBVCT entre 1986-2008

La comportamiento espacio-temporal de las formas del relieve sobre los buffers es más homogéneo, siendo dominado por 5 formas de relieve, las cuales presentan valores promedio de 27.6% para las corrientes y cañones profundamente disectadas, 24.0% para las pendientes altas y mesetas, luego aparecen los valles en U con 15.5%, los drenajes de tierras altas con 13.8% y por último las planicies con 11.3%. Al igual que con el uso del suelo la oscilación de los valores de la cobertura de la formas del relieve están en dependencia con la forma de la red, y esta su vez, con el cambio de uso del suelo.

La distribución de las redes sobre las formas del relieve también está en correspondencia con los parámetros de creación de las primeras, el peso asignado a la distancia de los parches de bosque a los ríos (35%), y a la pendiente (40%) se refleja en la representatividad de las formas del relieve, en donde dominan los cañones y corrientes profundamente disectados y la pendientes altas y mesetas, formas en las cuales los bosques están ampliamente distribuidos, es por ellos que las zonas de bosques ribereños deben ser conservadas ya que es por allí donde mayoritariamente corren las redes, y además deben restaurarse las geoformas que no tengan cobertura forestal como las planicies, esto con el fin mejorar la conectividad estructural en el CBVCT.

4.7 Escenario futuro de cambio de uso del suelo

Se creó un escenario de cambio de uso del suelo en el CBVCT para el año 2015 del cual se derivan los siguientes resultados (Cuadro 30), (Figura 36).

Cuadro 30. Distribución relativa y absoluta del uso del suelo en el CBVCT en el escenario 2015

Uso	HA	%
Bosque	30988.380	41.15
Pasto	19433.18	25.81
Café	9582.68	12.73
Charral	6528.15	8.67
Caña	4770.54	6.34
Cuerpos de agua	1579.82	2.10
Cultivos a/p	972.52	1.29
Asentamientos	949.66	1.26
Asentamientos baja densidad	216.32	0.29
Plantación	193.50	0.26
Sarán / suelo desnudo	89.69	0.12
	75304.44	100.00

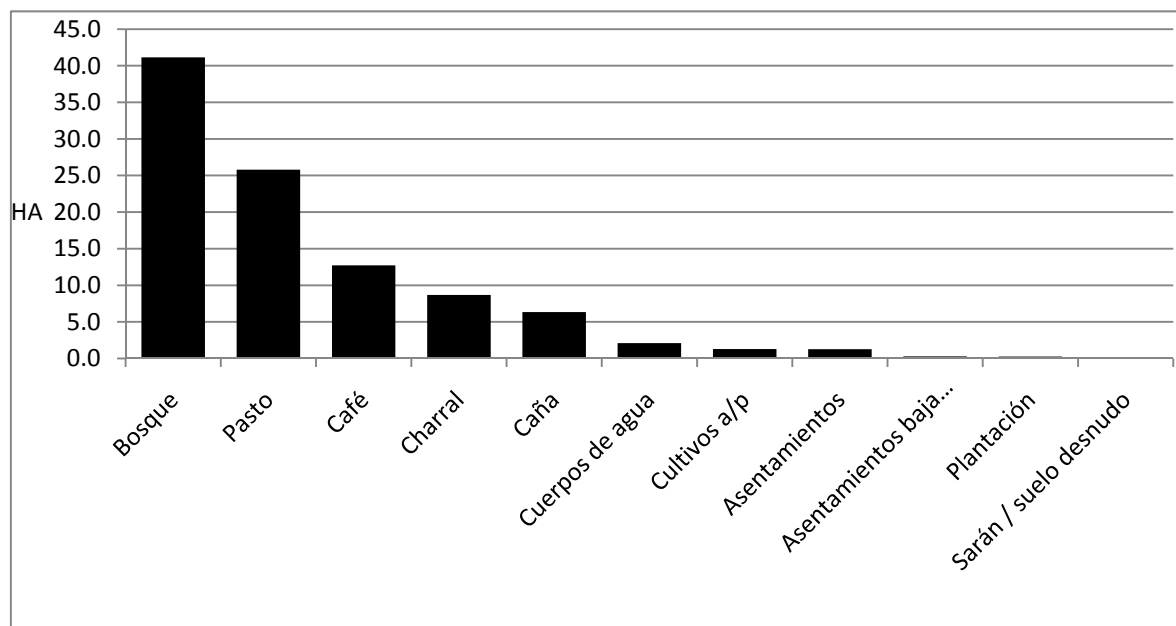


Figura 36. Distribución relativa de uso del suelo en el CBVCT para el escenario del 2015

El escenario 2015 (Figura 37), está compuesto por un 41.1% de bosque, 25.8% de pastos, café con 12.7%, un 8.7% de charrales, además los asentamientos humanos abarcan

el 1.3%. Estos resultados apoyan la tendencia de crecimiento de clase bosque, la cual aumentaría un 0.6% respecto al 2008, se registraría una baja de la clase pasto del -1.9% y un aumento de los charrales del orden del 1.3%. Esto refuerza la evidencia sobre la dinámica de transiciones de la cobertura forestal en el corredor de pasto a charral, y de charral a bosque; además aparece una nueva categoría llamada *asentamientos humanos de baja densidad*, esto sin tomar en cuenta el 0.1% de aumento de la categoría de asentamientos humanos, la cual tiene un acelerado crecimiento en relación a su tamaño.

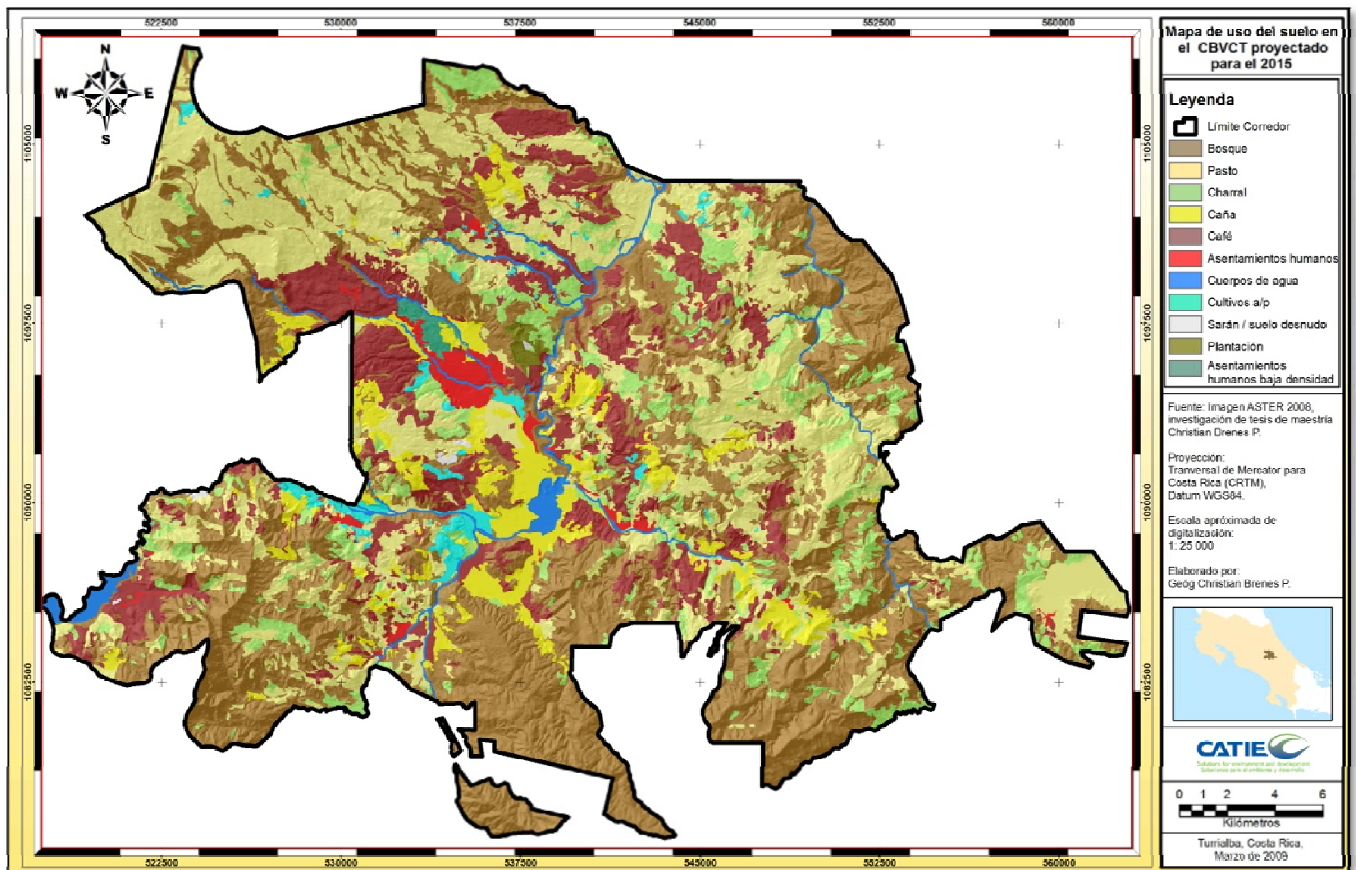


Figura 37. Mapa de uso del suelo del CBVCT proyectado al año 2015

4.7.1 Creación de red de conectividad estructural en el CBVCT para el escenario 2015

Se modeló una red de conectividad estructural para el CBVCT utilizando el escenario de cambio de uso al 2015. Para fines de análisis se creó un buffer de 100 m a lo ancho de la red y se extrajeron las estadísticas de uso del suelo y forma de relieve.

Cuadro 31. Distribución relativa y absoluta de los usos del suelo proyectados al 2015 sobre buffer de 100 metros de red de conectividad

Uso	HA	%
Bosque	7552.08	78.93
Pasto	765.43	8.00
Charral	529.61	5.54
Café	497.43	5.20
Caña	103.46	1.08
Cuerpos de agua	95.87	1.00
Cultivos a/p	17.91	0.19
A/H	4.07	0.04
Plantación	1.82	0.02
	9567.68	100.00

El área cubierta por la red dentro del buffer establecido es de 9567.7 ha, de las cuales el 78.9% son bosque, el 8.0% pastos, un 5.5% de charrales y 5.2% en café (Cuadro 31), (Figura 38). Estos resultados son consistentes con los obtenidos en los escenarios anteriores de uso del suelo, la cobertura forestal dentro del buffer está en crecimiento, y es función del aumento general de la clase bosque en detrimento de la clase pasto dentro del paisaje en el 2015.

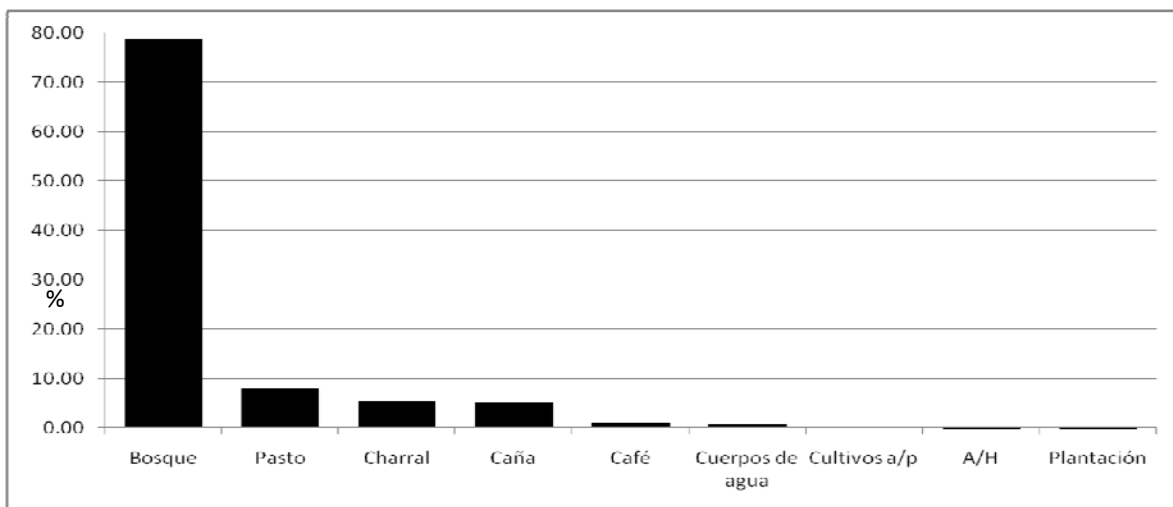


Figura 38. Distribución relativa del uso de suelo proyectado al 2015 sobre un buffer de 100 metros de red de conectividad

En referencia a las formas de relieve, los cañones y corrientes profundamente disectadas cubren el 28.7% de la red, las crestas intermedias y colinas en planicies el 23.5%, los valles en U ocupan el 15.3%, las planicies registran el 13.6%, por último los drenajes de tierras altas y cabeceras de ríos cubren el 10.8%. (Cuadro 32), (Figura 39). Estos resultados también son consecuentes con los obtenidos para los escenarios de uso de suelo anteriores, y se denota que la tendencias continúan a pesar que la red proyectada al 2015 es aproximadamente 400 ha más grande que la del 2008.

Cuadro 32. Distribución de las formas del relieve sobre buffer de 100 metros de red de conectividad proyectada al 2015

Uso	HA	%
Cañones y corrientes disectadas profundamente	2751.39	28.74
Crestas intermedias, colinas en planicies	2245.93	23.46
Valles en U	1463.06	15.28
Planicies	1306.13	13.65
Drenajes de tierras altas, cabeceras de ríos	1035.54	10.82
Drenajes de pendientes medias, valles poco profundos	224.35	2.34
Crestas locales, colinas en valles	212.13	2.22
Pendientes altas, mesetas	129.04	1.35
Cimas de montañas, crestas altas	103.97	1.09
Pendientes abiertas	100.64	1.05
	9567.68	100.00

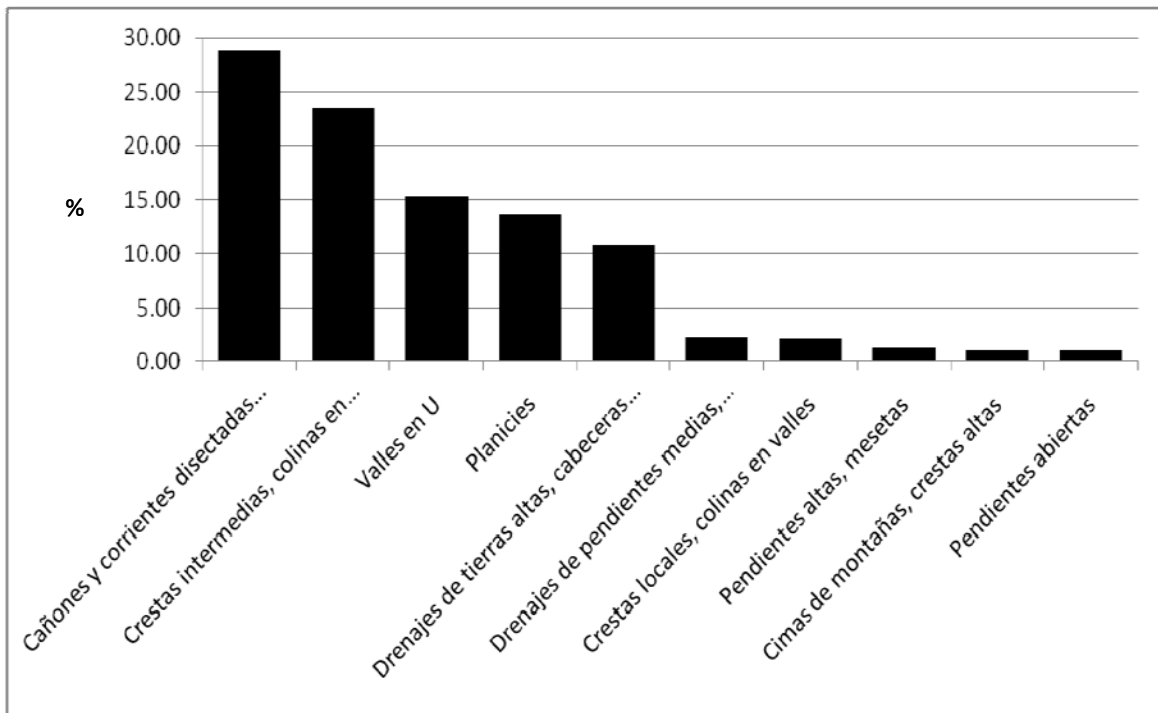


Figura 39. Distribución relativa de las formas del relieve sobre buffer de 100 metros de red de conectividad proyectada al 2015

El escenario de red de conectividad al 2015 (Figura 40), tiene un recorrido total de 520.879 Km, con 187 nodos de conexión y una longitud promedio por ramal de 2.78 km.

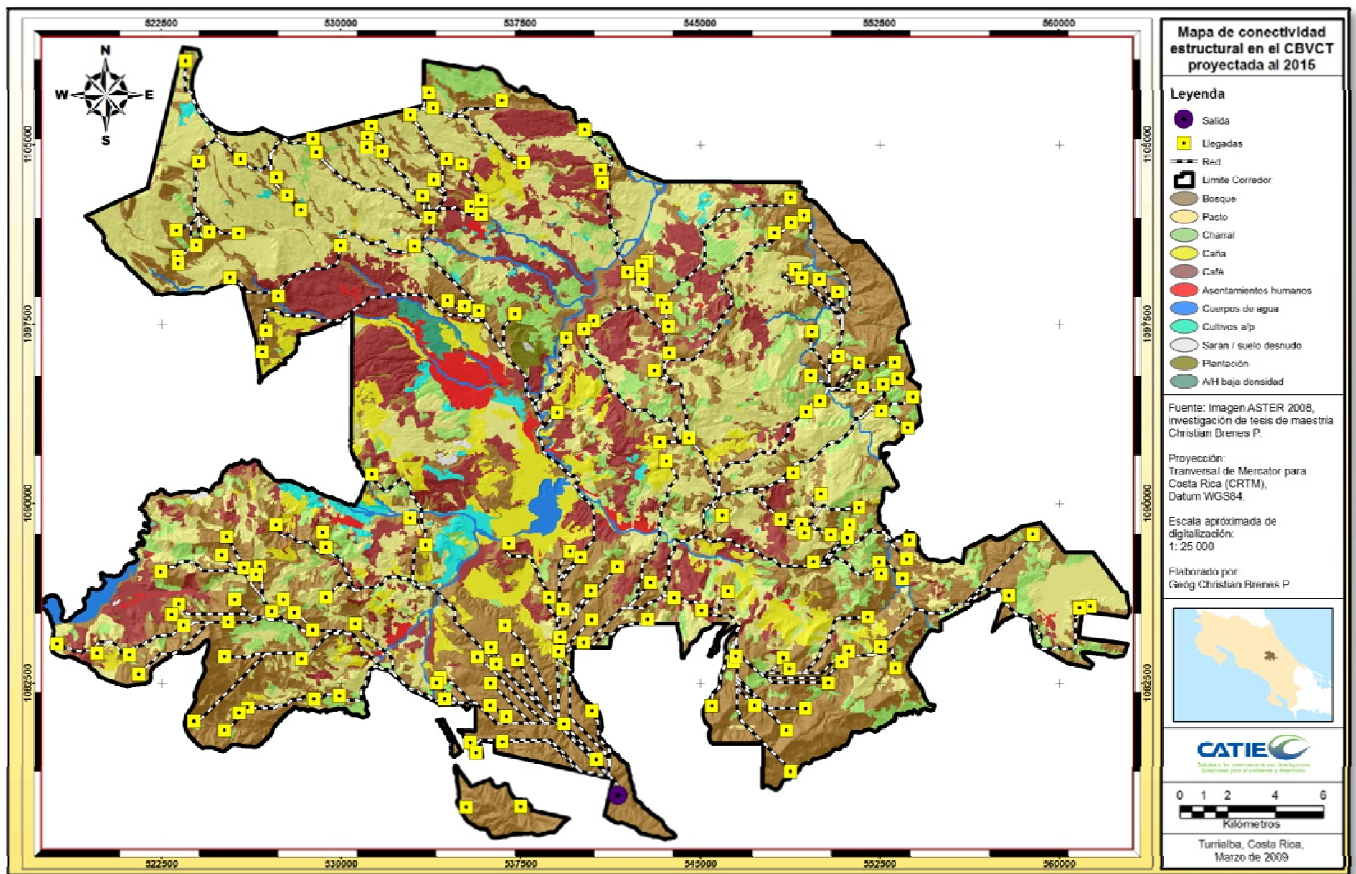


Figura 40. Mapa de red de conectividad estructural modelada sobre mapa de uso del suelo

4.7.2 Cálculo de métricas a nivel de paisaje y clase en el CBVCT para el escenario 2015

A partir del escenario de cambio de uso del suelo al 2015 se calcularon métricas a nivel de paisaje (Cuadro 33) y clase (Cuadro 34).

Cuadro 33. Métricas a nivel de paisaje en el CBVCT proyectadas al 2015

TA	NP	PD	ED	AREA MN	ENN MN	CONTAG	IJI
75304.5	1279	1.7	49.9	58.9	281.3	62.3	63.2

Al compararse estos resultados con los obtenidos a nivel de paisaje para el 2008 (Cuadro 31), se observa que el proceso de fragmentación general se revierte, ya que disminuye la cantidad de parches y aumenta el tamaño medio de los mismos, además el ENN MN se incrementa ya que fragmentos de parches que antes estaban muy cerca unos de

otros se unen para formar un único parche, y los nuevos parches formados están en promedio más alejados en promedio; lo anterior se comprueba con el valor del PD el cual baja a 1.70 parches/100 ha, incluso más bajo que el valor estimado para 1986. Este proceso de compactación también se refleja en la densidad de borde la cual desciende a 49.47 m/ha, por lo que se infiere que hay una regularización en la forma de los parches. El leve aumento en el valor del IJI muestra que aunque disminuye el número de parches el grado de entremezcla aumenta, esto debido a la dirección, número y localización de las transiciones de uso del suelo que fueron modeladas.

Cuadro 34. Métricas a nivel de clase en el CBVCT proyectadas al 2015

CLASES	CA	NP	PD	ED	AREA P	ENN MN	IJI
Bosque	30989.77	274	0.36	30.19	113.10	139.00	62.83
Pasto	19433.18	300	0.40	26.42	64.78	160.18	58.75
Café	9582.68	222	0.29	14.11	43.17	191.58	68.05
Charral	6528.15	287	0.38	13.68	22.75	297.73	57.18
Caña	4770.54	102	0.14	7.18	46.77	420.69	71.14
C/A	1579.82	13	0.02	4.46	121.52	1198.60	76.85
Cult a/p	972.52	46	0.06	1.76	21.14	694.41	78.39
A/h	949.66	28	0.04	1.57	33.92	1411.48	84.07
A/BD	216.32	1	0.00	0.23	216.32	N/A	56.47
Plantación	193.50	1	0.00	0.17	193.50	N/A	51.30
Sarán / SD	89.69	5	0.01	0.18	17.94	3035.77	64.45

Los valores de las métricas para la clase bosque en el 2015 señalan que esta tiende a compactarse respecto al año 2008, ya que el número de parches se reduce y su área promedio aumenta, además el ENN MN también crece, esto debido a que parches antes aislados se unen para formar uno solo, esto se refleja directamente en la disminución de la PD (0.40 parches/100 ha en 2008 a 0.36 parches/100 ha en 2015) y en la ED ya que pasaría de 31.39 m/ha en 2008 a 30.19 m/ha en 2015. De igual forma el IJI aumenta en 4.15% respecto al 2008, lo que muestra que las tendencias y magnitud de las transiciones modeladas resulten en un arreglo espacial en donde los parches de bosques colindan con más usos del suelo diferentes.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- A través de los análisis multitemporales de cambio de uso del suelo se determinó que la cobertura forestal en el CBVCT se ha mantenido estable en los últimos 22 años y evidencia de acuerdo con la tendencia observada que se puede recuperar más área boscosa aún.
- Las matrices de cambio de uso del suelo sostienen que ha existido una fuerte dinámica en las transiciones de pasto a charral, charral a bosque y bosque a pasto; esta mecánica es la que ha mantenido estable y a la alza la cobertura de bosque. Los asentamientos humanos son los que más se han incrementado en relación a su tamaño, estos se han acrecentado producto de la conversión de la caña, el café y los pastos en menor medida.
- De acuerdo con los indicadores mostrados se puede argüir que el descenso en la deforestación y la recuperación de la cobertura forestal en el CBVCT tienen relación con las leyes, políticas de conservación, incentivos, y desincentivos al cambio de uso de suelo. Desde el punto de vista espacial, el hecho que la mayoría de las áreas colindantes con el CBVCT estuvieran bajo algún tipo de protección antes de su creación en el 2003 pudiera haber tenido impacto directo en mantener su cobertura de bosque en aproximadamente un 40% en todo el periodo de estudio.
- Los análisis de capacidad de uso demostraron que aproximadamente una cuarta parte del CBVCT es de vocación agrícola y todo ese espacio está siendo utilizado para ese fin, además el 75% restante está en áreas que van desde la reforestación hasta la protección absoluta. Así mismo los conflictos de uso muestran que históricamente el CBVCT ha mantenido el uso capacidad estable en un 67% aproximadamente a lo largo del periodo, pero aproximadamente un 30% del corredor se ha mantenido en sobreuso. Es de tomar en cuenta que el 22% del sobreuso corresponde a los pastos, y mayoritariamente estas áreas de conflicto se han ubicado en las faldas del volcán

Turrialba, así que estas estos lugares deben ser considerados seriamente cuando de políticas de restauración del paisaje se trate.

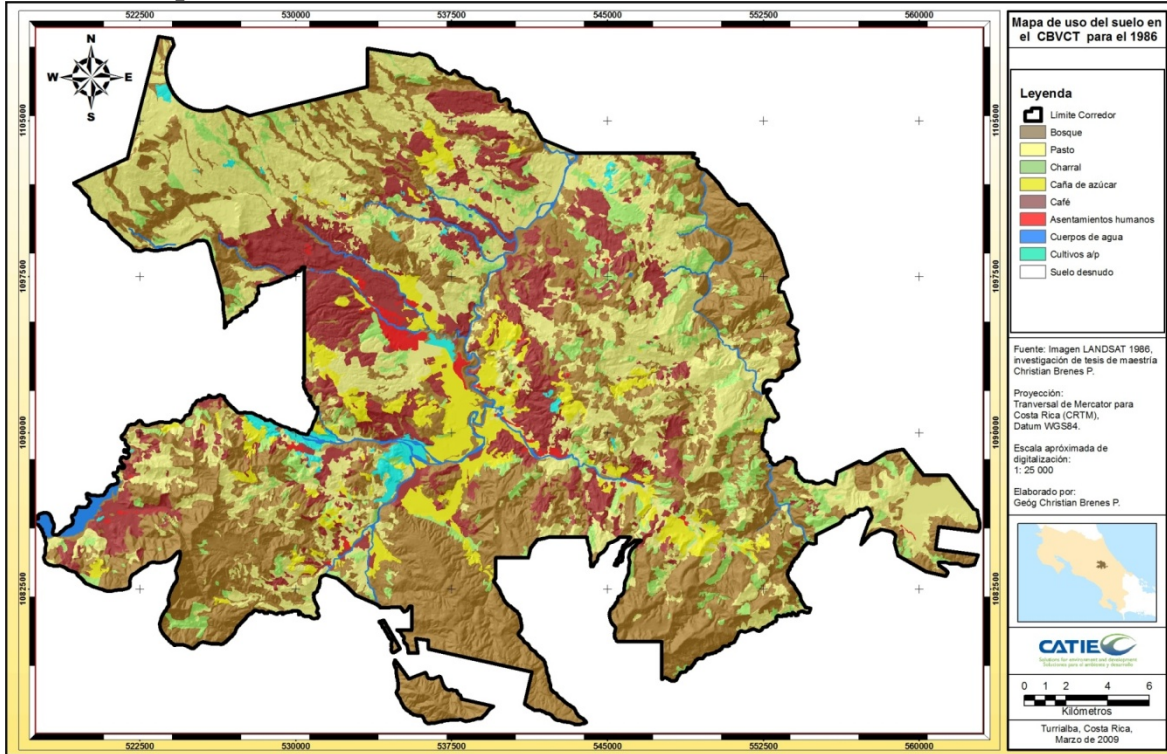
- El mapa de forma de relieve del CBVCT indica que este en términos generales posee un topografía abrupta, y es en los valles en U, pendientes alta y mesetas, y en los cañones de los ríos donde se ubica el bosque históricamente, esto permite inferir que son las zonas menos accesibles, y esto haya permitido la conservación de los remantes de bosque en esos sitios.
- El análisis a nivel de paisaje revela que este tiende a fragmentarse, ya que aumenta el número de parches, disminuye el área promedio de los mismos y estos se inclinan a quedar en promedio más aislados unos de otros.
- Los parches de bosques tienden a crecer en cantidad y tamaño promedio, lo cual indica que esta clase está en un proceso de compactación, reflejado esto por la disminución de la distancia mínima promedio entre vecinos.
- El trazado de redes de conectividad estructural sobre escenarios pasados, en el presente y futuro, demostraron que sistemáticamente han existido vacíos de conectividad hacia el centro y este del CBVCT, y que además el crecimiento del centro urbano de la ciudad de Turrialba ha contribuido a los diferentes arreglos espaciales de las redes a lo largo del tiempo.
- El mapa de uso del suelo proyectado al 2015 sigue con la tendencia al crecimiento y compactación del bosque, así como a un aumento acelerado de los asentamientos humanos.
- El conjunto de análisis utilizados en esta investigación podrían ser estandarizados y convertidos en una metodología integral para el análisis del paisaje en 4 dimensiones (espacio y tiempo), aplicable a otros paisajes, ya sean corredores, cuencas, fincas, divisiones administrativas, etc.

- Dada la naturaleza de esta investigación, así como la gama de los tópicos tratados, los resultados obtenidos pueden ser utilizados como una herramienta para la toma de decisiones en diversos campos, tales como el manejo y conservación de bosque (ya que se pueden datar las edades de los mismos, así como asociarlos a una forma del relieve en particular, y medir su riesgo y susceptibilidad a la deforestación). Otro campo de análisis es la ecología del paisaje con los modelos de redes de conectividad estructural; además, los análisis multitemporales y modelos de cambio de uso del suelo muestran las tendencias pasadas, presentes y futuras, lo cuales pueden ser sujeto de estudio el ordenamiento territorial dentro del corredor mismo, esto con el objetivo de lograr un manejo eficiente de los recursos naturales.
- Se recomienda a partir de encuestas a propietarios de la tierra en el corredor, levantar información sobre la percepción del cambio de uso del suelo, así como las causas subyacentes del mismo.
- Se sugiere en próximos estudios dentro del CBVCT, dar el paso y hacer análisis de conectividad funcional, con el fin de contrastar los resultados, con los obtenidos a nivel estructural.
- Es importante incorporar modelos del cambio climático para proyectar el comportamiento de las zonas de vida en el corredor y de los tipos de bosque presentes en el mismo.
- Debido a las modificaciones de los límites del CBVCT durante el desarrollo de esta investigación, yo se pudieron extender los análisis a la delimitación actual del mismo, por lo que sugiere en un futuro anexar la porción de espacio faltante y repetir, mejorar y agregar nuevos métodos de estudio.
- Los resultados de esta investigación deben ser socializados ante el Comité de Gestión del Corredor, así como en la sociedad civil, con el fin de ser sometido al escrutinio público y técnico y con ello entrar en proceso de retroalimentación de todas las partes involucradas en el proceso del manejo.

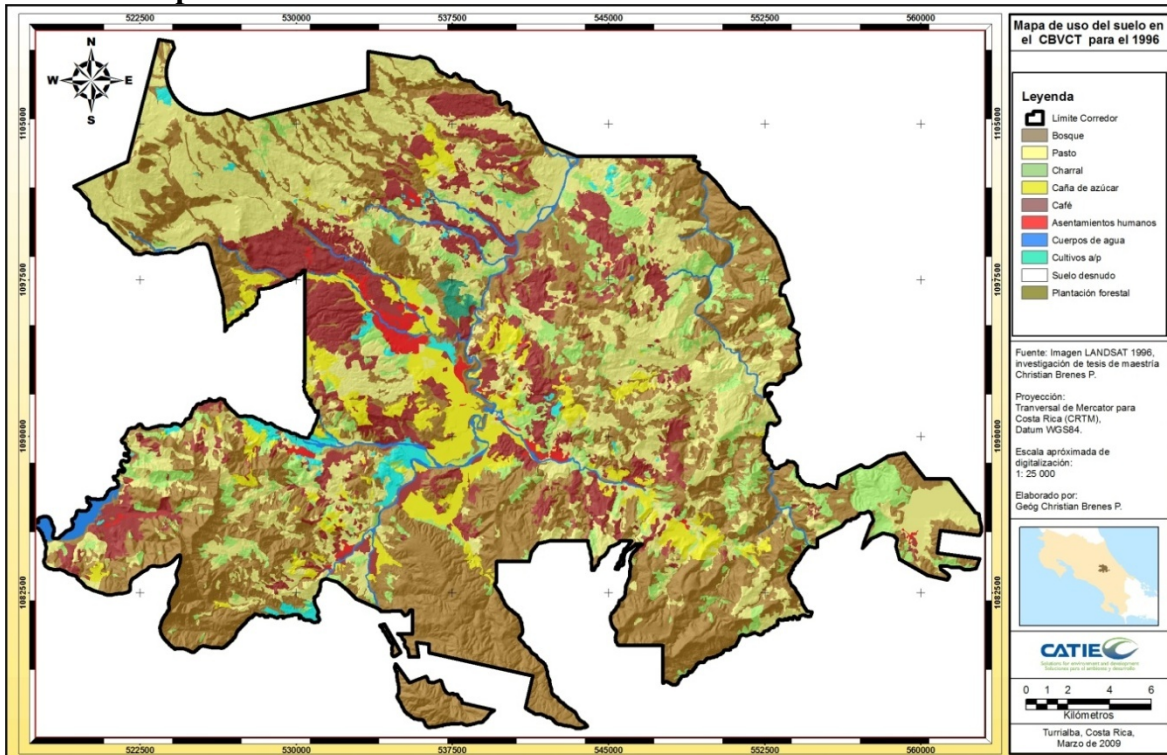
- Realizar modelos de cambio de uso del suelo utilizando otros algoritmos tales como el GEOMOD, y el CELULAR AUTOMATA a fin de realizar comparaciones con el utilizado en esta investigación.
- Para el caso de la metodología se recomienda mantener las escalas de trabajo constantes independientemente del tamaño de estas, así se asegura que el error en los mapas también sea constantes, y se corre un menor riesgo que los cambios detectados en el paisaje sean reales y no producto del mismo error.

6 ANEXOS

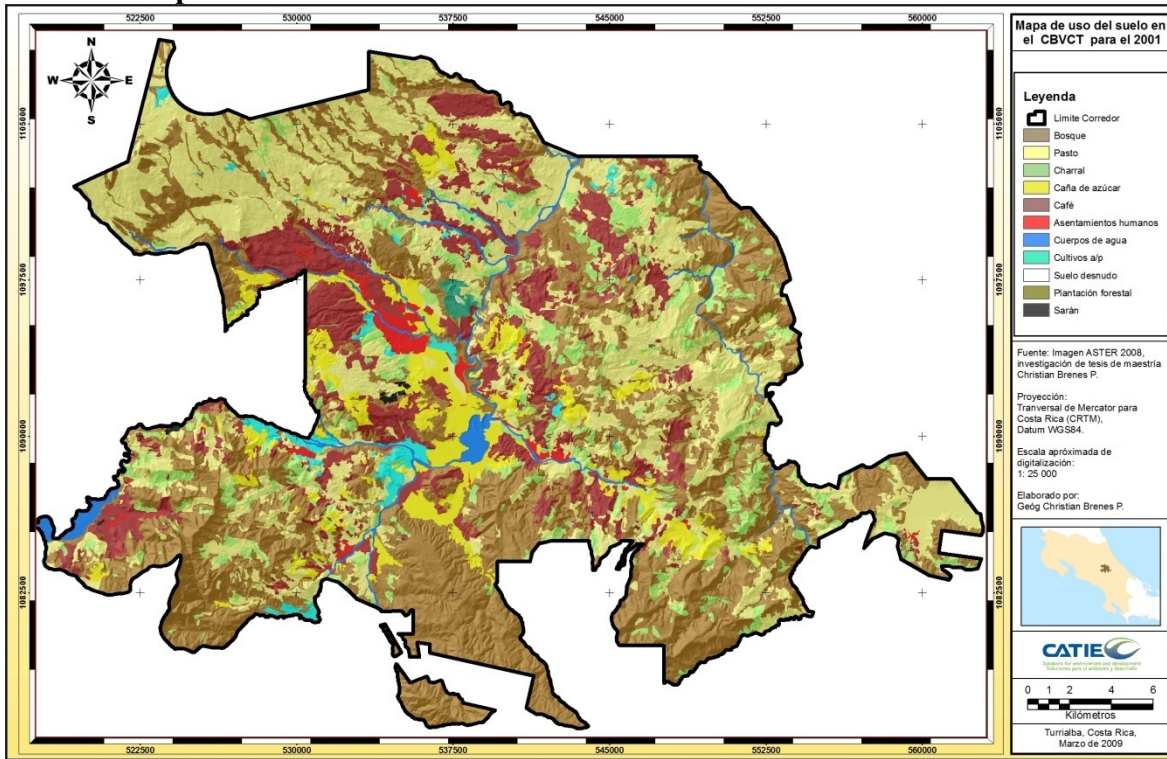
Anexo 1. Mapa de uso del suelo del CBVCT en 1986



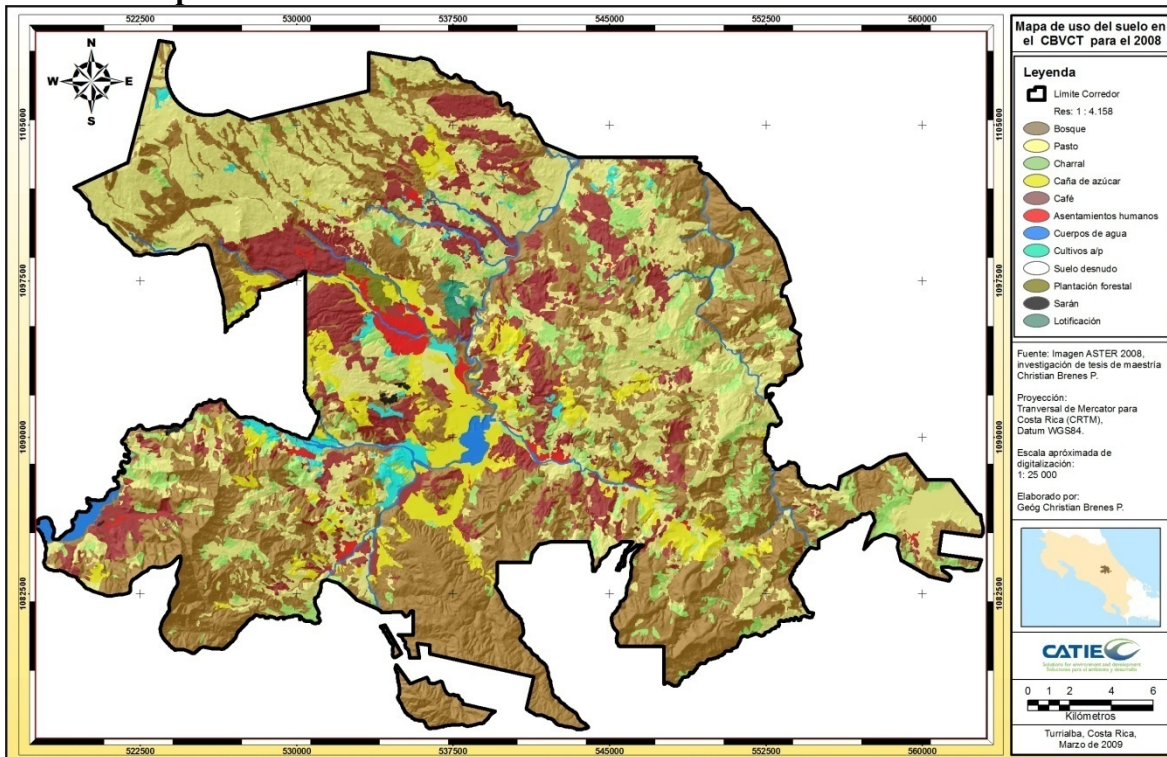
Anexo 2. Mapa de uso del suelo del CBVCT en 1996



Anexo 3. Mapa de uso del suelo del CBVCT en el 2001



Anexo 4. Mapa de uso del suelo del CBVCT en el 2008



Anexo 5. Persistencia y pérdidas de uso de suelo relativas de 1986 respecto a 1996

USO	BOSQUE	PASTO	CHARRAL	CAÑA	CAFÉ	A/H	C/AGUA	CULT A/P
BOSQUE	96.14	0.00	21.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PASTO	1.19	92.89	6.07	0.49	0.77	0.00	0.00	0.00
CHARRAL	2.44	4.04	72.50	0.56	4.16	0.00	0.91	0.00
CAÑA	0.01	1.71	0.00	92.56	1.61	0.00	1.74	0.20
CAFÉ	0.08	0.12	0.00	4.17	91.17	0.00	0.00	0.00
A/H	0.00	0.06	0.27	0.91	1.38	100.00	0.00	0.00
C/AGUA	0.00	0.00	0.00	0.60	0.10	0.00	96.31	1.10
CULT A/P	0.02	0.45	0.00	0.71	0.80	0.00	1.04	98.70
PLANT	0.13	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo 6. Ganancias relativas de uso del suelo en el CBVCT de 1996 respecto a 1986

USO	BOSQUE	PASTO	CHARRAL	CAÑA	CAFÉ	A/H	C/AGUA	CULT A/P	TOTAL
BOSQUE	95.87	0.00	4.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
PASTO	1.66	96.17	1.66	0.11	0.39	0.00	0.00	0.00	100
CHARRAL	11.47	14.06	66.77	0.42	7.08	0.00	0.21	0.00	100
CAÑA	0.05	7.58	0.00	88.34	3.50	0.00	0.50	0.03	100
CAFÉ	0.23	0.27	0.00	1.96	97.53	0.00	0.00	0.00	100
A/H	0.00	1.83	2.09	5.80	20.00	70.28	0.00	0.00	100
C/AGUA	0.00	0.00	0.00	2.00	0.73	0.00	96.64	0.64	100
CULT A/P	0.46	9.44	0.00	3.21	8.23	0.00	1.40	77.25	100

Anexo 7. Persistencia y pérdidas de uso de suelo relativas de 1996 respecto a 2001

USO	BOSQUE	PASTO	CHARRAL	CAÑA	CAFÉ	A/H	C/AGUA	CULT A/P	PLANT
BOSQUE	99.10	0.00	11.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PASTO	0.54	98.10	4.03	1.20	0.30	0.00	0.00	1.24	0.00
CHARRAL	0.20	1.36	82.90	0.56	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00
CAÑA	0.00	0.18	0.41	94.80	0.94	0.00	3.18	0.00	0.00
CAFÉ	0.02	0.00	0.00	0.87	97.67	0.00	0.00	0.24	0.00
A/H	0.00	0.07	0.00	0.19	0.47	100.00	0.00	0.00	0.00
C/AGUA	0.14	0.00	0.59	2.19	0.20	0.00	95.05	1.00	0.00
CULT A/P	0.00	0.04	0.00	0.18	0.00	0.00	1.77	93.92	0.00
SD	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.26
SARAN	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.59	0.00
PLANT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.74
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo 8 .Ganancias relativas de uso del suelo en el CBVCT de 2001 respecto a 1996

USO	BOSQUE	PASTO	CHARRAL	CAÑA	CAFÉ	A/H	C/AGUA	CULT		TOTAL
								A/P	PLANT	
BOSQUE	97.50	0.00	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
PASTO	0.75	97.57	1.19	0.28	0.14	0.00	0.00	0.06	0.00	100.00
CHARRAL	1.05	5.11	92.60	0.49	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
CAÑA	0.00	0.76	0.53	95.86	1.93	0.00	0.92	0.00	0.00	100.00
CAFÉ	0.07	0.00	0.00	0.44	99.47	0.00	0.00	0.03	0.00	100.00
A/H	0.00	1.79	0.00	1.17	5.79	91.25	0.00	0.00	0.00	100.00
C/AGUA	2.63	0.00	2.38	6.96	1.26	0.00	86.10	0.67	0.00	100.00
CULT A/P	0.00	0.73	0.00	0.88	0.00	0.00	2.45	95.95	0.00	100.00
SD	0.00	0.00	72.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.46	100.00
SARAN	0.00	58.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.21	0.00	100.00
PLANT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00

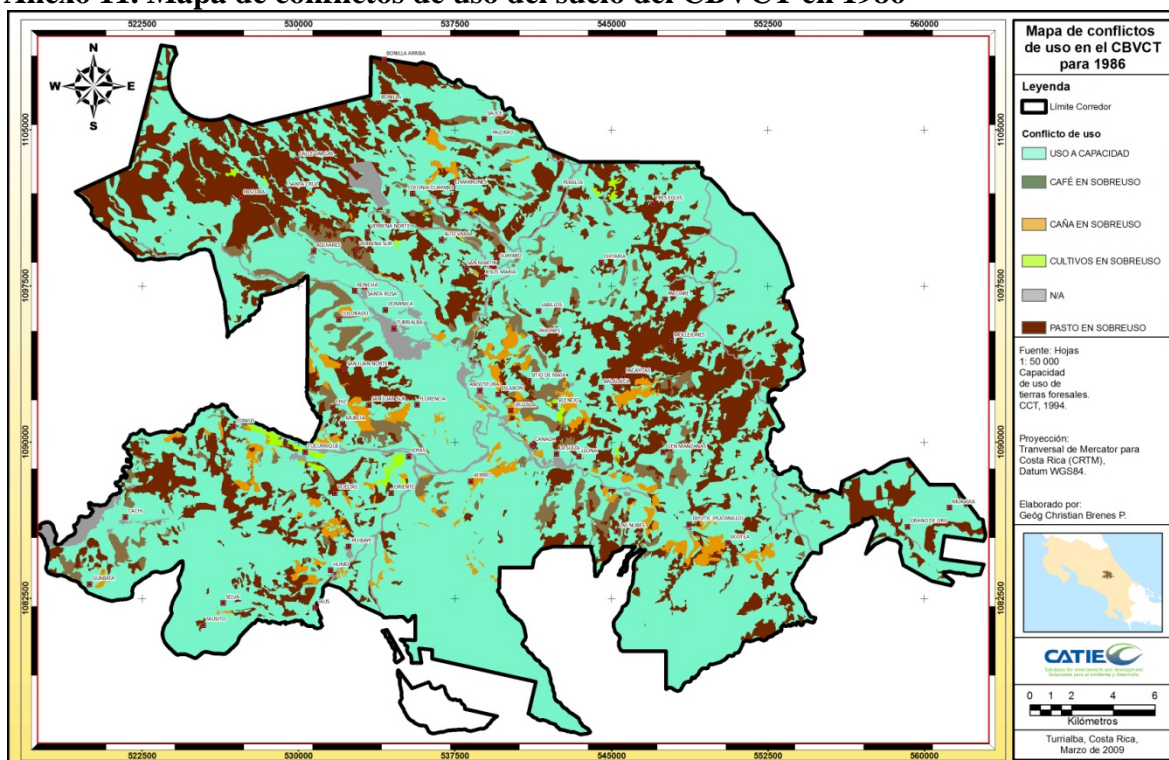
Anexo 9. Persistencia y pérdidas de uso de suelo relativas de 2001 respecto a 2008

USO	BOSQUE	PASTO	CHARRAL	CAÑA	CAFÉ	A/H	C/AGUA	CULT A/P	SD	SARAN	PLANT
BOSQUE	99.57	0.00	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PASTO	0.32	97.02	0.44	3.27	0.00	0.00	0.00	1.15	0.00	0.00	0.00
CHARRAL	0.10	2.29	88.24	0.00	0.00	0.00	0.00	8.51	0.00	0.00	0.00
CAÑA	0.00	0.62	0.45	94.89	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CAFÉ	0.00	0.03	1.37	1.04	96.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A/H	0.00	0.05	0.00	0.79	0.02	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C/AGUA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CULTA/P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	90.34	0.00	10.90	0.00
SD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
LOTES	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SARAN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89.10	0.00
PLANT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

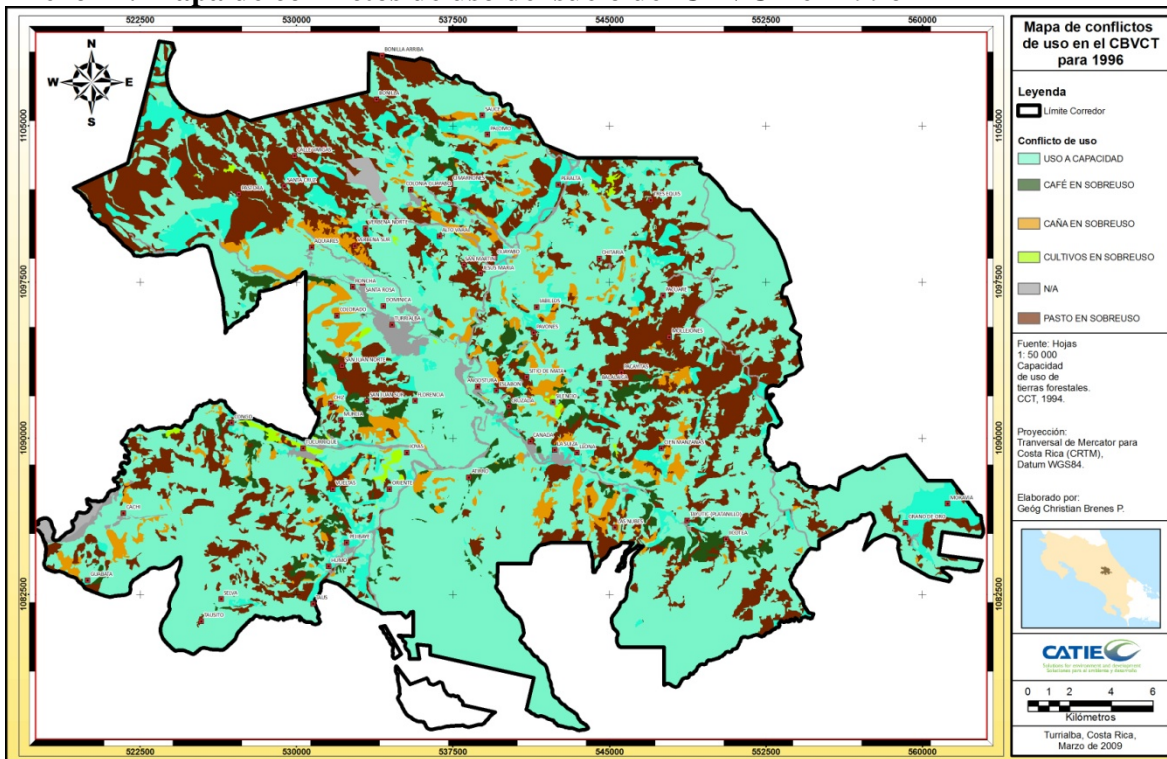
Anexo 10 .Ganancias relativas de uso del suelo en el CBVCT de 2008 respecto a 2001

USO	CULT											TOTAL
	BOSQUE	PASTO	CHARRAL	CAÑA	CAFÉ	A/H	C/AGUA	A/P	SD	SARAN	PLANT	
BOSQUE	98.25	0.00	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
PASTO	0.47	98.59	0.12	0.77	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	100.00
CHARRAL	0.56	8.72	89.16	0.00	0.00	0.00	0.00	1.56	0.00	0.00	0.00	100.00
CAÑA	0.00	2.71	0.53	95.55	1.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
CAFÉ	0.00	0.07	0.80	0.53	98.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
A/H	0.00	1.15	0.00	4.49	0.27	94.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
C/AGUA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
CULT A/P	0.00	0.00	0.00	0.00	4.61	0.00	0.00	94.38	0.00	1.01	0.00	100.00
SD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
LOTES	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
SARAN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
PLANT	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00

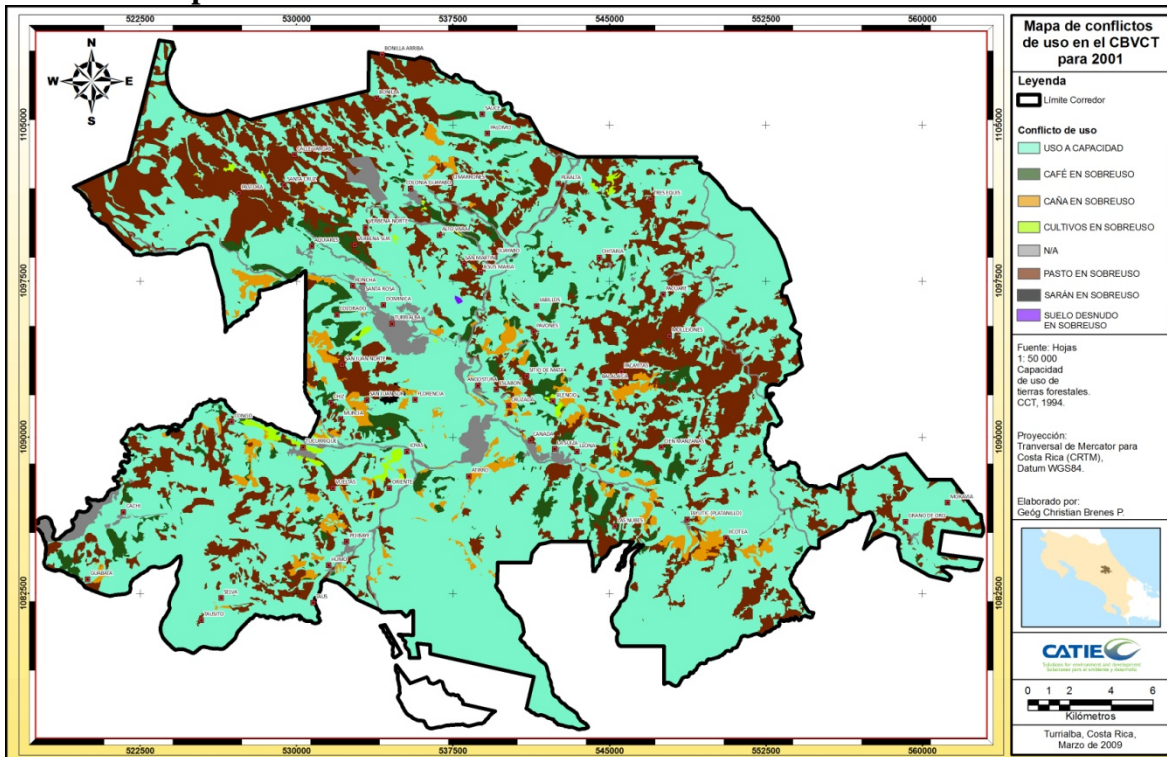
Anexo 11. Mapa de conflictos de uso del suelo del CBVCT en 1986



Anexo 12. Mapa de conflictos de uso del suelo del CBVCT en 1996



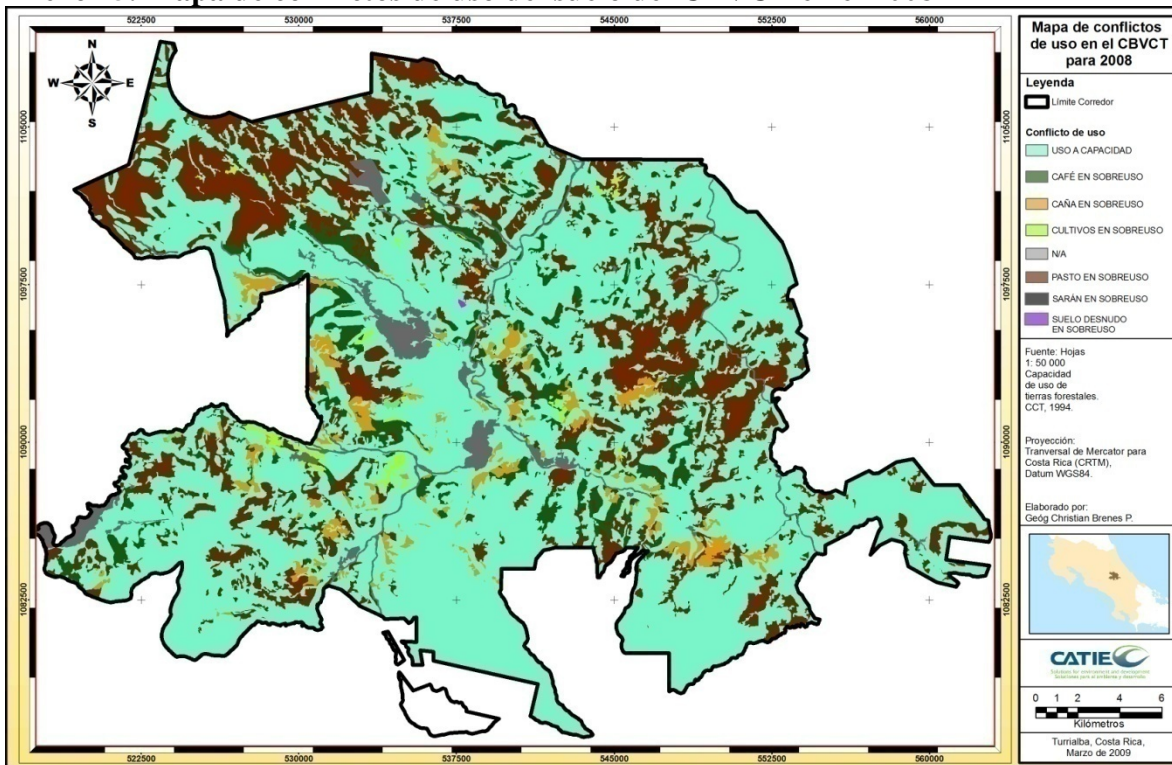
Anexo 13. Mapa de conflictos de uso del suelo del CBVCT en el 2001



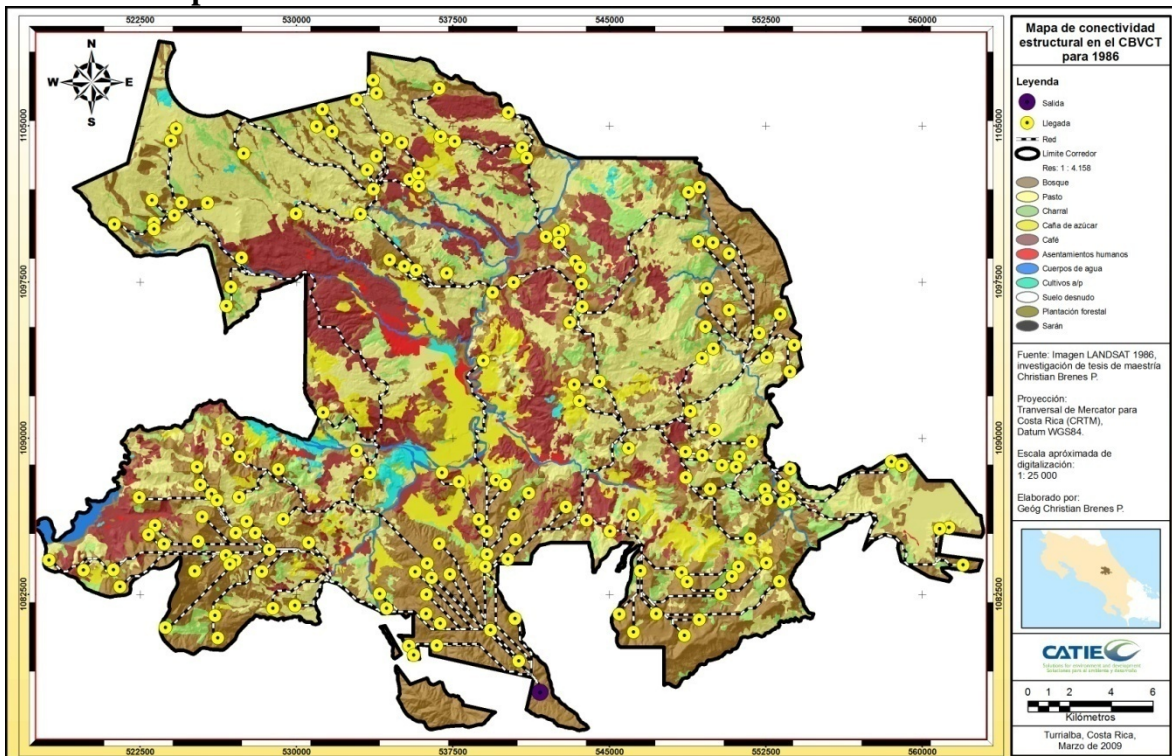
Anexo 14. Metricas a nivel de clase para el resto de usos de suelo

CLASES	AÑO	CA	NP	PD	ED	AREA P	ENN MN	IJI
CAÑA	1986	4706.8	100	0.13	7.14	47.07	391.13	81.76
	1996	4931.44	101	0.13	7.36	48.83	413.93	79.22
	2001	4857.59	99	0.13	7.38	49.07	422.18	71.18
	2008	4829.67	105	0.14	7.53	46	407.42	68.97
A/H	1986	518.76	33	0.04	1.17	15.72	1131.78	84.8
	1996	738.18	35	0.05	1.59	21.09	1105.64	82.37
	2001	803.84	36	0.05	1.66	22.33	1149.64	75.94
	2008	838.28	34	0.05	1.64	24.66	1168.75	79.39
C/AGUA	1986	1412.91	9	0.01	4.68	156.99	2040.6	86.03
	1996	1416.35	10	0.01	4.64	141.64	1843.25	81.49
	2001	1552.55	11	0.01	4.5	141.14	1690.15	73.32
	2008	1552.55	11	0.01	4.5	141.14	1690.15	72.3
CULTIVOS A/P	1986	816.62	39	0.05	1.47	20.94	824.35	88.3
	1996	1043.17	50	0.07	1.84	20.86	614.28	85.91
	2001	1016.71	50	0.07	1.84	20.33	477.58	76.68
	2008	973.01	51	0.07	1.8	19.08	592.3	74.75
SD	2001	8.93	1	0	0.02	8.93	N/A	23.72
	2008	8.93	1	0	0.02	8.93	N/A	22.78
LOTES SARÁN	2008	216.25	1	0	0.24	216.25	N/A	58.42
	2001	90.72	5	0.01	0.2	18.14	1377.51	54.21
	2008	80.82	4	0.01	0.17	20.21	2673.49	52.38
PLANTACIÓN	1996	194.99	1	0	0.18	194.99	N/A	62.62
	2001	196.07	1	0	0.17	196.07	N/A	65.54
	2008	192.53	1	0	0.18	192.53	N/A	62.89

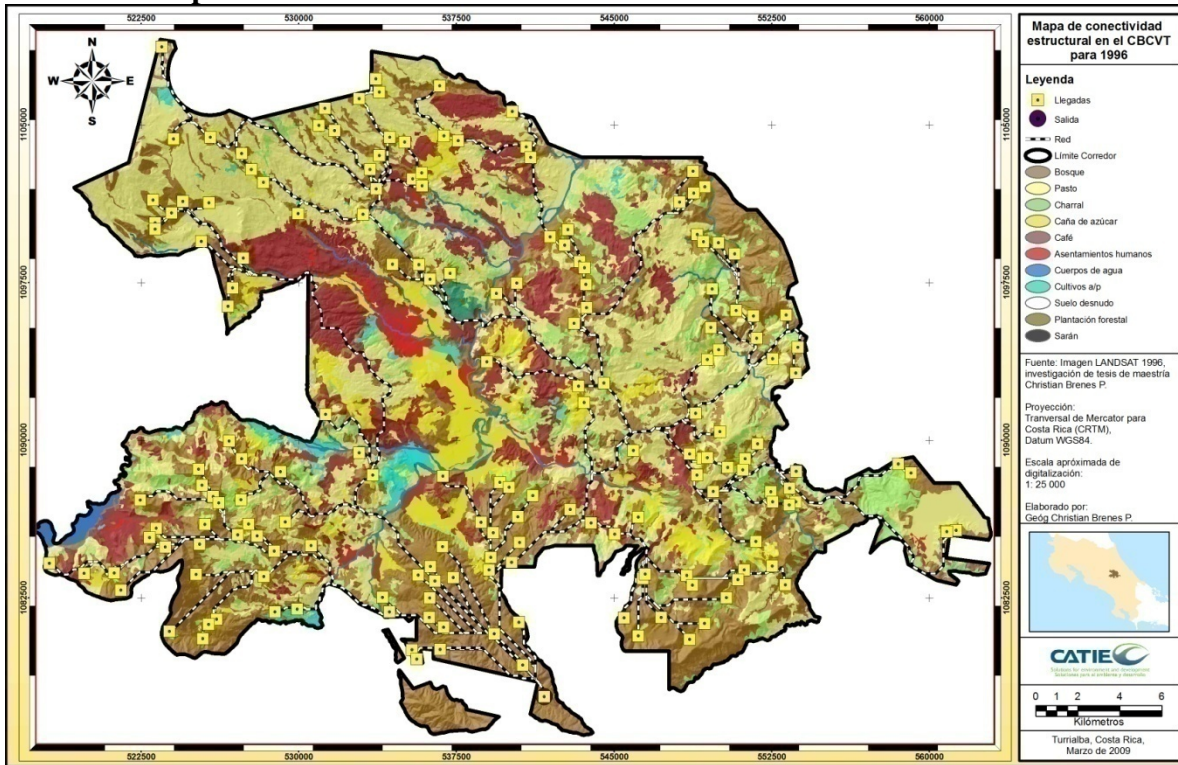
Anexo 15. Mapa de conflictos de uso del suelo del CBVCT en el 2008



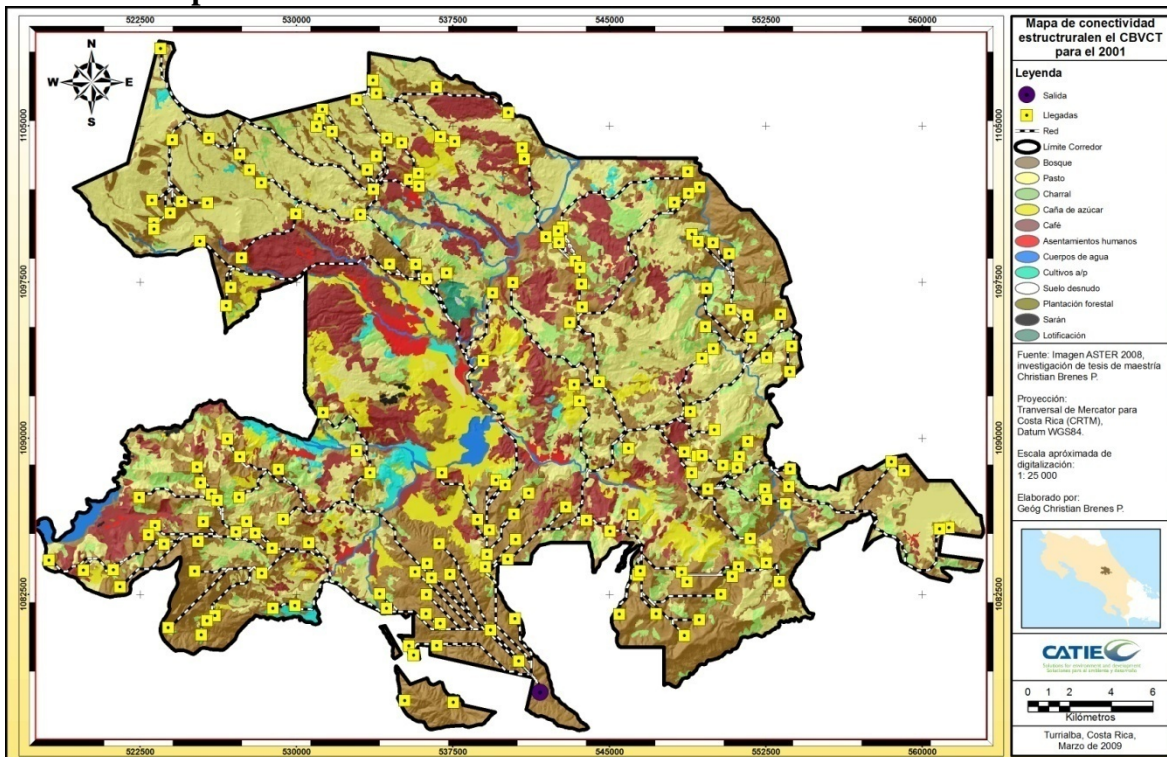
Anexo 16. Mapa de red conectividad estructural del CBVCT en 1986



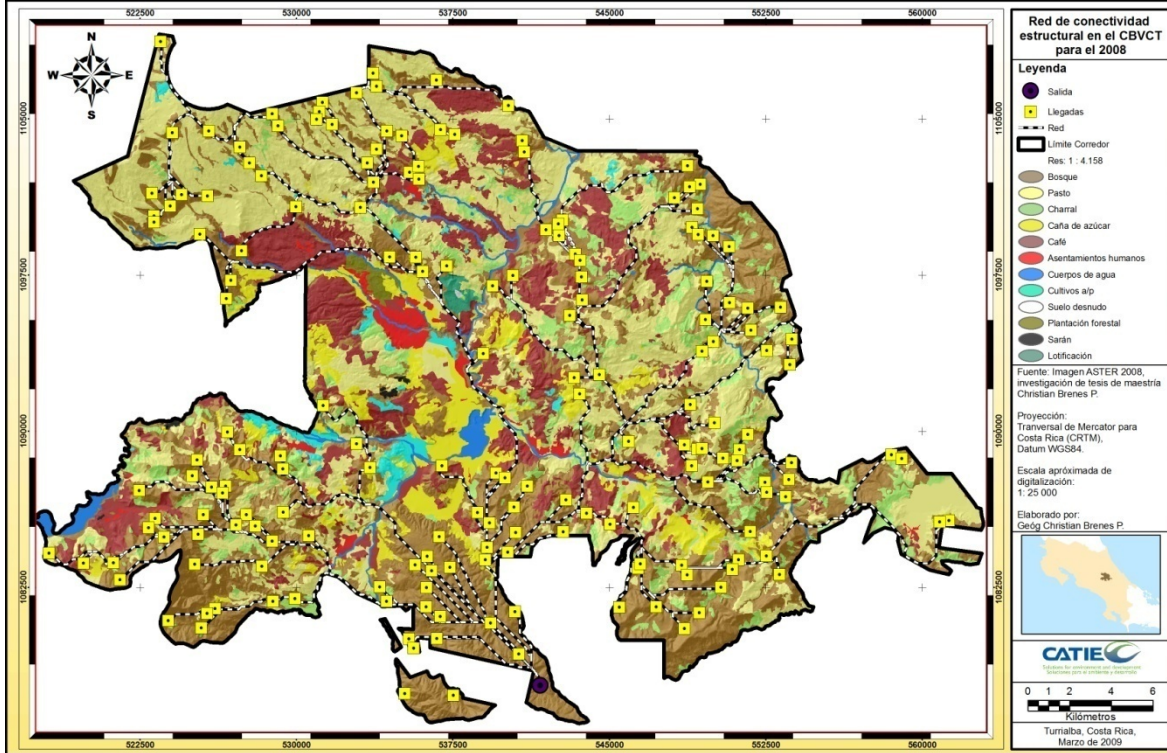
Anexo 17. Mapa de red conectividad estructural del CBVCT en 1996



Anexo 18. Mapa de red conectividad estructural del CBVCT en 2001



Anexo 19. Mapa de red conectividad estructural del CBVCT en 2008



7 BIBLIOGRAFIA

- Arroyo-Mora, JP; Sanchez-Azofeifa, GA; Rivard, B; Calvo, JC; Janzen, DH. 2004. Dynamics in landscape structure and composition for the Chorotega region, Costa Rica from 1960 to 2000. *Agriculture, Ecosystems and Environment* no. 106: 27-39p.
- Badii, M.H. Landeros, J. 2006 Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con sustentabilidad. *International Journal of Good Conscience*. 2: 26.38.
- Beier, P; Noss, RF. 1998. Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology* 12:1241-1252.
- Bennett, A. 1998. Enlazando el paisaje: el papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. UICN, Gland, CH/ Cambridge, RU. 276 p.
- Bonilla, R; Rosero, L. 2004. Presión demográfica sobre los bosques y áreas protegidas, Costa Rica 2000. En: *Costa Rica a la luz del Censo del 2000*. Centro Centroamericano de Población. San José, Costa Rica. 574-594 p.
- Bocco, G. Mendoza, M. Velásquez, A. 2001. Remote Sensing and GIS – based regional geomorphological mapping - a tool for land use planning in developing countries. *Science* 39 (3):211-219.
- Brooks, C.P. 2003. A scalar analysis of landscape connectivity. *Oikos* 102 (2): 433-439.
- Canet, L. 2008. Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Perfil Técnico. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), The Nature Conservancy (TNC). 97 p.
- Calvo, J. 2008. Decimoquinto Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible, Informe Final: Bosque, Cobertura y Recursos Forestales 2008. Consejo Nacional de Rectores, Defensoría de los Habitantes. Gobierno de Costa Rica. 26p.
- Céspedes, M; Finegan, B; Herrera, B; Delgado, D; Velásquez, S; Campos, J. 2008. Diseño de una red ecológica de conservación en la Reserva de Biosfera La Amistad y las áreas protegidas del Área de Conservación Osa, Costa Rica. *Revista de Recursos Naturales y Ambiente*. Edición No 54. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Chuvieco, E. 1990. Fundamentos de teledetección especial. Ediciones Rialp, Madrid, España. 449p.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). 1998. Generalidades de los SIG: un white paper de ESRI (en línea). Santiago, INCOM. Consultado 8 de enero del 2007. Disponible en <http://www.incom.cl>.

- Fahrig, L. 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 34: 487-515.
- Fundación Neotrópica-CCT. 1994. Mapa de capacidad de uso de las tierras forestales de Costa Rica (Digitalizado por el CCT). Disponible en: <http://documentacion.sirefor.go.cr/archivo/mapas/OT>.
- Florian Rivero, EM.2006. Avifauna en sistemas agroforestales cafetaleros: Relaciones entre el contexto paisajístico, la complejidad estructural y comunidades de aves dentro del Corredor Biológico Turrialba – Jiménez, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 108 p.
- Guerrero, G.F 2005. Caracterización poblacional de cinco especies arbóreas ecológicamente importantes en el Corredor Biológico Turrialba Jiménez, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 58 p.
- Harden, C, P; Scruggs, P, D. 2003. Infiltration on mountain slopes: A comparison of three environments. *Geomorphology*, 55, 5-24.
- Harvey, C; Sánchez, J. 2007. Assessing linkages between agriculture and biodiversity in Central America: Historical overview and future perspectives. 1 ed. San José, C.R.
- Hector, TS. Carr, MH; Zwick, PD. 2000. Identifying a linked reserve System using a regional landscape approach: The Florida Ecological Network. *Conservation Biology* 14 (4): 984-1000.
- Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) 2007. Sistema de Procesamiento de Información Georreferenciada (SPRING), v 4.3.3. Brazil.
- Jenness, J. 2006. Topographic Position Index, extension for ARCVIEW 3.x. v 1.3a. <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
- Jiménez, M. 2009. Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres de Costa Rica al cambio climático. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 140 p.
- Kaimowitz, D. Angelsen, Arild. 1998. Economics models of tropical deforestation. A review. Center for International Forestry Research. Bogor, Indonesia. 153 p.
- Kattan, GH. 2002. Fragmentación: patrones y mecanismos de extinción de especies. En: Guariguata, MR.; Kattan, GH. eds. *Ecología y conservación de Bosques Neotropicales*. EULAC/GTZ. Primera edición. Ediciones LUR. Cartago, CR. p. 561-590.
- Kleinn, C. Ramírez, C. Holmgren, P. 2005. A national forest resources assessment for Costa Rica based on low intensity sampling. *Forest Ecology and Management* 210: 9-23.

- Lambin, E. 1994. Modelling deforestation processes; a review. Luxembuorg, BE. European Comisión. 112p. (Research report no. 1).
- Lambin, E. Helmut J, Geist. Leppers, Erika.2003. Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. Annual Reviews of Environmental Resources.28:205-41. 40 p.
- Ley 4465.1969. Ley Forestal de Costa Rica 4465, (No vigente).Asamblea Legislativa.Sistema Costarricense de Información Jurídica. www.pgr.go.cr. Consultado 15-05-09.
- Ley 7032.1986. Ley Forestal de Costa Rica 7032, (No vigente). Asamblea Legislativa. Sistema Costarricense de Información Jurídica. www.pgr.go.cr. Consultado 15-05-09.
- Ley 7575.1995. Ley Forestal de Costa Rica 7575, (vigente). Asamblea Legislativa. Sistema Costarricense de Información Jurídica. www.pgr.go.cr. Consultado 15-05-09.
- Low, G. 2003. Landscape – scale conservation: A Practitioner’s Guide. 3ra ed. The Nature Conservancy (TNC), Virginia, US. 62 p.
- Miller, K; Chang, E; Johnson, N.2001. En busca de un enfoque común para el Corredor Biológico Mesoamericano. World Resources Institute. Washington, USA. 49p.
- McGarigal, K; Cushman, SA; Neel, MC; Ene, E. 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program University of Massachusetts, Amherst. Disponible en: www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html.
- McIntyre, S; Hobbs, R. 1999. A framework for conceptualizing human effects on landscapes and its relevance to management and research models. Conservation Biology 13 (6): 1282-1292.
- Murrieta, E; Finegan, B; Delgado, D; Villalobos, R; Campos, J. 2007. Propuesta para una red de conectividad ecológica en el Corredor Biológico Volcánica Central Talamanca, Costa Rica. Edición 51-52.CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Ortega, S. 2009. Propuesta de red de conectividad ecológica entre remanentes de bosque y cacaotales en dos paisajes centroamericanos. Tesis Mag..Sc.CATIE, Turrialba, CR. 119 p.
- Paegelow, M. Camacho, M.T. Menor Toribio, J. 2003. Cadenas de Markov, Evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje. 2003. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. Geofocus.3: 22-44.Madrid España. 23 p.

- Peña-Cortés, F. Rebolledo, G. Hermosilla, K. Hauenstein, E. Bertrán, C. Schlatter, R. Tapia, J. 2004. Dinámica del paisaje para el periodo 1980-2004 en la cuenca costera del Lago Budi, Chile. Consideraciones para la conservación de sus humedales. *Ecología Austral* 16: 183-196.
- Pfaff, A.S.P. Sanchez – Azofeifa, G.A. 2004. Deforestation pressure and biological reserve planning: a Conceptual approach an illustrative application for Costa Rica. *Resource and Energy Economics* 26: 237-254.
- Poiani, KA; Richter, BD; Anderson, MG; Ritchter, HE. 2000. Biodiversity Conservation at Multiple Spatial Scales: Functional Sites, Landscapes and Networks. *Bioscience* 50 (2):133-146
- Pontius, R. G. Cornell, J.D. Hall, C.A.S. 2001. Modelling the spatial patter of land-use change with GEOMOD2: Aplicacion and validation for Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 1775. Pág 1-13.
- Ramirez J.R.2006. Prioridades sociales y arreglos institucionales para la gestión local del Corredor Biológico Volcánica Central-Talamanca, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 112 p..
- Ramos, Z.S; Finegan, B. 2005. Una red ecológica para la conservación de la biodiversidad. *Recursos, Ciencia y decisión*. Edición No 4. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Rommel T.K; Csillag, R. 2003. When are two landscape pattern indices significantly different? *Journal of Geographical Systems*. 5: 331-351.
- Rutledge, D.2003. Landscape indices as measures of effects of fragmentation: can pattern reflect process?. *DOC Science Internal Series 98*, Department of Conservation. Wellington, New Zealand. 27 p.
- Sánchez Azofeifa, GA; Harriss, RC; Skole, DL. 2001. Deforestation in Costa Rica: A Quantitative Analysis Using Remote Sensing Imagery. *Biotropica*. 33(3): 378-384.
- Sánchez Azofeifa, A.2003. Integrity and isolation of Costa Ricas national parks and biological reserves: examining the dynamics of land – cover change. *Biological Conservation* 109:123-135.
- Sánchez, D; Finegan, B; Harvey, C; Delgado, 2007. Tipos de bosques en el sector sur del Corredor Biológico del Atlántico, Nicaragua. *Revista Recursos Naturales y Ambiente*. Edición 51-52. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Sandoval, Victor. Real, Pedro.2005. Modelamiento y prognosis estadística y cartográfica del cambio de uso de la tierra. *Bosque*. Vol 26. 55-63. Santiago de Chile.

- Swanson, F.J. Kratz, T.K. Caine, N. Woodmansee, R.G.1988. Landform Effects on Ecosystems Patterns and Processes. *BioScience*. Vol 38. No. 2. Pag 92-98.
- Turner, M.G. Gardner R.H. O'Neill, R.V. Landscape Ecology in Theory and Practice, Pattern and Process. 2001. Springer. New York, USA. 417 p.
- Useche, D C, 2007. Diseño de redes ecológicas de conectividad para la conservación y restauración del paisaje en Nicaragua, Centroamérica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 233 p.
- Wu, J. 2004. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. *Landscape Ecology*. 19 : 125-138