



El ambiente
es de todos

Minambiente



Instituto
amazónico de
investigaciones científicas
SINCHI

PROYECTO CONSERVACIÓN DE BOSQUES Y SOSTENIBILIDAD EN EL CORAZÓN DE LA AMAZONÍA

**METODOLOGÍA HOMOLOGADA PARA REALIZAR ESTUDIOS DE
FRAGMENTACIÓN, MOTORES DE FRAGMENTACIÓN Y CONECTIVIDAD
ECOLÓGICA DEL PAISAJE AMAZÓNICO COLOMBIANO, EN TRES DIFERENTES
ÁMBITOS DE ALCANCE GEOGRÁFICO: REGIONAL, SUBREGIONAL Y LOCAL.**

Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas “Sinchi”

Documento en Revisión

Bogotá D.C., Junio de 2019



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



EQUIPO TÉCNICO

Nombre	Entidad	Rol
Uriel Gonzalo Murcia García	Instituto Sinchi	Director General del Proyecto
Jorge Eliecer Arias Rincón	Instituto Sinchi	Coordinación Componente SIG
Oscar Javier Barón Ruiz	Instituto Sinchi	Coordinación técnica
Natalia Carolina Castillo Barrera	Instituto Sinchi	Coordinación técnica
Eduardo Molina González	Patrimonio Natural	Coordinador Temático
Nicolai Alexandro Ciontescu Camargo	Patrimonio Natural	Componente Físico-biótico
Daniel Mauricio Cortés Gutiérrez	Patrimonio Natural	Análisis SIG
Deyanira Esperanza Vanegas	Patrimonio Natural	Componente Socio-económico
Luisa Patricia Corredor Gil	Patrimonio Natural	Control de Calidad
Adriana Constanza Cruz Reyes	Patrimonio Natural	Interpretación de Coberturas
Julieth Natalia Acosta Agudelo	Patrimonio Natural	Interpretación de Coberturas
Herón José Romero Martínez	Patrimonio Natural	Interpretación de Coberturas

CÍTESE COMO:

Sinchi, 2019. Metodología homologada para realizar estudios de fragmentación, motores de fragmentación y conectividad ecológica del paisaje amazónico colombiano, en tres diferentes ámbitos de alcance geográfico: regional, subregional y local. Proyecto Conservación de Bosques y Sostenibilidad en el corazón de la Amazonía. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá D.C.

© Junio de 2019, Colombia.



El ambiente
es de todos

Minambiente



Instituto
amazónico de
investigaciones científicas
SINCHI

INSTITUTO AMAZÓNICO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS SINCHI

LUZ MARINA MANTILLA CÁRDENAS
Directora General

MARCO EHRLICH
Subdirector Científico y Tecnológico

DIEGO FERNANDO LIZCANO BOHORQUEZ
Subdirector Administrativo y Financiero

URIEL GONZALO MURCIA GARCÍA
Coordinador Programa de Investigación



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO	13
1. INTRODUCCIÓN	15
2. CONTEXTO	17
2.1. IMPORTANCIA AMBIENTAL DE LA AMAZONÍA Y DEL MANTENIMIENTO DE SU CONECTIVIDAD	17
2.1.1. Experiencias recientes en la evaluación de la transformación de las coberturas naturales en la Amazonía colombiana y su conectividad	19
2.2. MARCO NORMATIVO E INSTITUCIONAL ASOCIADO A LA GESTIÓN DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA	22
2.3. ALCANCES ASOCIADOS A LA PRESENTE PROPUESTA	26
3. ÁREA DE ESTUDIO	28
4. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN	29
4.1. MARCO CONCEPTUAL	29
4.1.1. Paisajes: Estructura, funcionamiento cambio	29
4.1.2. Fragmentación	32
4.1.3. Caracterización de los procesos de fragmentación	35
4.1.4. Principios Generales Emergentes de los Paisajes	36
4.1.5. Agrosistemas y sociedad	37
4.1.6. Sistemas de interacción antrópica	38
4.2. OBJETIVO GENERAL	38
4.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN	38
4.4. ÁMBITO REGIONAL	40
4.4.1. Objetivos específicos	40
4.4.2. Metodología	41
4.4.2.1. Índice general de fragmentación	41
4.4.2.2. Delimitación de las unidades preliminares de análisis	41
4.4.2.3. Caracterización estructural de paisajes fragmentados (Patrones)	42
4.4.2.4. Variables asociadas a la fragmentación	43
4.4.2.4.1. Pendiente	44
4.4.2.4.2. Tipo de cobertura de la tierra	45
4.4.2.4.3. Distancia a sitios de explotación de recursos no renovables	45
4.4.2.4.4. Distancia a centros poblados	46
4.4.2.4.5. Distancia a Vías	47
4.4.2.4.6. Vocación de uso de los suelos	48
4.4.2.5. Caracterización de las variables asociadas a la fragmentación	48
4.4.3. Resultados Esperados	49
4.5. AMBITO SUBREGIONAL	50
4.5.1. Objetivos específicos	50
4.5.2. Metodología	50
4.5.2.1. Índice general de fragmentación	50
4.5.2.2. Delimitación de las unidades preliminares de análisis	51
4.5.2.3. Caracterización estructural de paisajes fragmentados (Patrones)	51
4.5.2.4. Variables asociadas a la fragmentación	53

4.5.2.4.1.	Pendiente	54
4.5.2.4.2.	Tipo de cobertura de la tierra	55
4.5.2.4.3.	Distancia a sitios de explotación de recursos no renovables	55
4.5.2.4.4.	Distancia a centros poblados	56
4.5.2.4.5.	Distancia a Vías	57
4.5.2.4.6.	Vocación de uso de los suelos	58
4.5.2.5.	Caracterización de las variables asociadas a la fragmentación	58
4.5.3.	Resultados Esperados	59
4.6.	AMBITO LOCAL	59
4.6.1.	Objetivos específicos	59
4.6.2.	Metodología	60
4.6.2.1.	Índice general de fragmentación	60
4.6.2.2.	Delimitación de las unidades preliminares de análisis	61
4.6.2.3.	Caracterización estructural de paisajes fragmentados (Patrones)	61
4.6.2.4.	Caracterización biofísica	63
4.6.2.5.	Variables asociadas a la fragmentación	64
4.6.2.6.	Caracterización de las variables asociadas a la fragmentación	64
4.6.3.	Resultados Esperados	65
5.	ANÁLISIS DE MOTORES DE FRAGMENTACIÓN	65
5.1.	MARCO CONCEPTUAL	65
5.1.1.	Fragmentación	65
5.1.2.	Motor de fragmentación	66
5.1.3.	Factores predeterminantes de la fragmentación del paisaje	67
5.1.4.	Patrones espaciales de fragmentación del paisaje	67
5.1.5.	Impactos generados a los ecosistemas por los motores de fragmentación	68
5.2.	OBJETIVO GENERAL	71
5.3.	ÁMBITO REGIONAL	71
5.3.1.	Objetivos Específicos	71
5.3.2.	Metodología	72
5.3.2.1.	Descripción general de los procedimientos planteados en el ámbito regional	72
5.3.2.2.	Delimitación del área de estudio para el análisis de motores de fragmentación	73
5.3.2.3.	Identificación y caracterización de los factores predeterminantes de la fragmentación	73
5.3.2.4.	Análisis del contexto regional	74
5.3.2.5.	Identificación de patrones de fragmentación según estrato fisiográfico	75
5.3.2.6.	Identificación de actividades que generan fragmentación del paisaje y sus principales características y actores relacionados	76
5.3.2.7.	Identificación y caracterización con criterios sociales y económicos de agentes y causas directas y subyacentes de fragmentación	77
5.3.2.8.	Espacialización de motores de fragmentación	77
5.3.2.9.	Priorización motores de fragmentación	79
5.3.2.10.	Correlación entre motores de fragmentación	80
5.3.2.11.	Línea de tiempo de los motores de fragmentación identificados	81
5.3.2.12.	Estrategias de manejo para detener y desarticular los motores de fragmentación identificados.	81
5.3.2.13.	Caracterización los principales impactos generados a los ecosistemas o a los componentes de estos, por parte de los motores de fragmentación identificados	82

5.3.3.	Resultados esperados	82
5.4.	ÁMBITO SUBREGIONAL	82
5.4.1.	Objetivos específicos	82
5.4.2.	Metodología	83
5.4.2.1.	Descripción general de los procedimientos planteados	83
5.4.2.2.	Factores predeterminantes de la fragmentación del paisaje	83
5.4.2.3.	Tipificación y caracterización de los sistemas de producción predominantes	85
5.4.2.4.	Priorización de sistemas de producción que más contribuyen a la fragmentación del paisaje.	85
5.4.2.5.	Identificación de los usos del suelo de mayor importancia	85
5.4.2.6.	Identificación los patrones de fragmentación del paisaje y las actividades relacionadas	86
5.4.2.7.	Identificación y caracterización, de los agentes, las causas directas y subyacentes de los motores de fragmentación.	86
5.4.2.8.	Priorización de motores de fragmentación (agentes, causas directas y causas subyacentes).	88
5.4.2.9.	Análisis histórico de la fragmentación del paisaje y sus impactos	88
5.4.2.10.	Estrategias de uso y manejo del territorio para controlar la fragmentación.	89
5.4.3.	Resultados esperados	89
5.5.	ÁMBITO LOCAL	89
5.5.1.	Objetivos específicos	89
5.5.2.	Metodología	89
5.5.2.1.	Procedimientos generales de análisis local	89
5.5.2.2.	Análisis histórico de la fragmentación del paisaje local	90
5.5.2.3.	Identificación y caracterización con criterios sociales y económicos los motores de fragmentación local (agentes y las causas directas y subyacentes).	90
5.5.2.4.	Priorización de motores de fragmentación local (agentes, causas directas y causas subyacentes).	90
5.5.2.5.	Estrategias de uso y manejo del territorio a nivel predial, para controlar la fragmentación.	91
5.5.3.	Resultados esperados	91
6.	ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD	92
6.1.	MARCO CONCEPTUAL	92
6.1.1.	Paisajes y conectividad	92
6.1.2.	Análisis de conectividad y el concepto de huella espacial humana	95
6.1.3.	Otros conceptos considerados en los análisis de conectividad	95
6.1.3.1.	Capacidad de resiliencia y de adaptación	95
6.1.3.2.	Potencial de restauración de la conectividad	96
6.1.4.	Herramientas de Manejo del Paisaje	96
6.2.	OBJETIVO GENERAL	97
6.3.	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD	98
6.4.	ÁMBITO REGIONAL	100
6.4.1.	Objetivos específicos	100
6.4.2.	Metodología	100
6.4.2.1.	Inventario de especies y modelamiento de hábitat	100
6.4.2.2.	Modelamiento de hábitats	100

6.4.2.3.	Análisis matriciales.....	101
6.4.2.3.1.	Tipo de cobertura de la tierra (CT).....	103
6.4.2.3.2.	Distancia a drenajes (DD).....	103
6.4.2.3.3.	Distancia a Vías (DV).....	104
6.4.2.3.4.	Distancia a centros poblados (DP).....	105
6.4.2.3.5.	Distancia a sitios de explotación de recursos no renovables (DNR).....	106
6.4.2.3.6.	Índice general de fragmentación de las coberturas (IF).....	107
6.4.2.3.7.	Dinámicas de transformación de las coberturas naturales (DT).....	108
6.4.2.3.8.	Vocación de uso de los suelos (VS).....	109
6.4.2.3.9.	Pendiente (P).....	110
6.4.2.3.10.	Aislamiento de hábitats remanentes (AHR).....	110
6.4.2.3.11.	Porcentaje de hábitat transformado (PHT).....	111
6.4.2.3.12.	Índice de extensión de la transformación (IET).....	111
6.4.2.3.13.	Otras variables.....	112
6.4.2.4.	Modelación de la matriz general de resistencia.....	112
6.4.2.5.	Descripción de patrones generales de conectividad.....	113
6.4.2.6.	Sectores determinantes a ser conectados.....	113
6.4.2.6.1.	Áreas Núcleo.....	113
6.4.2.7.	Identificación de sectores importantes para la conectividad.....	115
6.4.2.7.1.	Corredores de conectividad.....	115
6.4.2.7.2.	Franjas de conectividad.....	116
6.4.2.8.	Priorización de sectores importantes para la conectividad.....	117
6.4.2.9.	Caracterización de corredores y franjas.....	117
6.4.2.9.1.	Caracterización general y estructural.....	117
6.4.2.9.2.	Caracterización socioeconómica.....	117
6.4.2.9.3.	Capacidad adaptación de las principales actividades económicas.....	118
6.4.2.9.4.	Potencial de conservación y restauración de corredores de conectividad.....	118
6.4.3.	Resultados Esperados.....	119
6.5.	ÁMBITO SUBREGIONAL.....	120
6.5.1.	Objetivos específicos.....	120
6.5.2.	Metodología.....	120
6.5.2.1.	Inventario de especies y modelamiento de hábitat.....	120
6.5.2.2.	Modelamiento de hábitats.....	121
6.5.2.3.	Análisis matriciales.....	122
6.5.2.3.1.	Tipo de cobertura de la tierra (CT).....	123
6.5.2.3.2.	Distancia a drenajes (DD).....	124
6.5.2.3.3.	Distancia a Vías (DV).....	125
6.5.2.3.4.	Distancia a centros poblados (DP).....	126
6.5.2.3.5.	Distancia a sitios de explotación de recursos no renovables (DNR).....	127
6.5.2.3.6.	Índice general de fragmentación de las coberturas (IF).....	128
6.5.2.3.7.	Dinámicas de transformación de las coberturas naturales (DT).....	128
6.5.2.3.8.	Vocación de uso de los suelos (VS).....	130
6.5.2.3.9.	Pendiente (P).....	131
6.5.2.3.10.	Aislamiento de hábitats remanentes (AHR).....	131
6.5.2.3.11.	Porcentaje de hábitat transformado (PHT).....	132
6.5.2.3.12.	Índice de extensión de la transformación (IET).....	132

6.5.2.3.13.	Otras variables	133
6.5.2.4.	Modelación de la matriz general de resistencia.	133
6.5.2.5.	Descripción de patrones generales de conectividad	134
6.5.2.6.	Sectores determinantes a ser conectados	134
6.5.2.6.1.	Parches funcionales	134
6.5.2.6.2.	Análisis estructural del paisaje	134
6.5.2.6.3.	Análisis funcional del paisaje	136
6.5.2.7.	Sectores importantes para la conectividad	137
6.5.2.7.1.	Corredores de conectividad	137
6.5.2.7.2.	Franjas de conectividad	138
6.5.2.8.	Priorización de sectores importantes para la conectividad	139
6.5.2.9.	Caracterización de corredores y franjas	139
6.5.2.9.1.	Caracterización general y estructural	139
6.5.2.9.2.	Caracterización socioeconómica	140
6.5.2.9.3.	Capacidad adaptación de las principales actividades económicas	140
6.5.2.9.4.	Potencial de conservación y restauración de corredores de conectividad	141
6.5.3.	Resultados esperados	142
6.6.	AMBITO LOCAL	143
6.6.1.	Objetivos específicos	143
6.6.2.	Metodología	143
6.6.2.1.	Inventario de especies y modelamiento de hábitat	143
6.6.2.2.	Modelamiento de hábitats	144
6.6.2.3.	Análisis matriciales	145
6.6.2.3.1.	Tipo de cobertura de la tierra (CT)	147
6.6.2.3.2.	Distancia a drenajes (DD)	148
6.6.2.3.3.	Distancia a Vías (DV)	148
6.6.2.3.4.	Distancia a centros poblados (CP)	149
6.6.2.3.5.	Distancia a sitios de explotación de recursos no renovables (DNR)	150
6.6.2.3.6.	Índice general de fragmentación de las coberturas (IF)	151
6.6.2.3.7.	Dinámicas de transformación de las coberturas naturales (DT)	152
6.6.2.3.8.	Vocación de uso de los suelos (VS)	154
6.6.2.3.9.	Pendiente (P)	154
6.6.2.3.10.	Aislamiento de hábitats remanentes (AHR)	155
6.6.2.3.11.	Porcentaje de hábitat transformado (PHT)	156
6.6.2.3.12.	Índice de extensión de la transformación (IET)	156
6.6.2.3.13.	Otras variables	157
6.6.2.4.	Modelación de la matriz general de resistencia.	157
6.6.2.5.	Descripción de patrones generales de conectividad	158
6.6.2.6.	Sectores determinantes a ser conectados	158
6.6.2.6.1.	Parches funcionales	158
6.6.2.6.2.	Análisis estructural del paisaje	158
6.6.2.6.3.	Análisis funcional del paisaje	159
6.6.2.7.	Sectores importantes para la conectividad	161
6.6.2.7.1.	Corredores de conectividad	161
6.6.2.7.2.	Franjas de conectividad	161
6.6.2.8.	Priorización de sectores importantes para la conectividad	163



El ambiente es de todos

Minambiente



Corazón de la Amazonía

6.6.2.9.	Caracterización de corredores y franjas.....	163
6.6.2.9.1.	Caracterización general y estructural.....	163
6.6.2.9.2.	Caracterización socioeconómica.....	164
6.6.3.	Resultados esperados	165
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	166

DOCUMENTO EN REVISIÓN



Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Área de estudio para el ámbito regional	29
Figura 4.1. Esquema del modelo de paisaje “Mosaico: Matriz – Parche – Corredor”. Fuente: Armenteras & Vargas 2016	30
Figura 4.2. Principales patrones del paisaje para medir fragmentación	34
Figura 4.3. Identificación y caracterización biofísica del proceso de fragmentación.....	40
Figura 5.1. Relación existente entre los motores de fragmentación y sus impactos, con la biodiversidad y los servicios ecosistémicos	70
Figura 5.2. Relación causal entre biodiversidad y servicios ecosistémicos, e impactos generados por fragmentación	71
Figura 5.3. Metodología general para la identificación y caracterización de motores de fragmentación.....	73
Figura 6.1. Esquema general de la metodología para el análisis de la conectividad ecológica	98
Figura 6.2. Imágenes de entrada (a) y salida (b) para el análisis MSPA. Fuente: sitio web MSPA.....	114

DOCUMENTO EN REVISIÓN

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Documentos incluidos en la identificación de motores de transformación (deforestación) de coberturas en la Amazonía colombiana.....	19
Tabla 2.2. Documentos fuente con metodologías para la evaluación de la conectividad ecológica.....	21
Tabla 2.3. Normatividad nacional asociable a la gestión de la conectividad ecológica en la región amazónica	22
Tabla 2.4. Principales instrumentos nacionales para la gestión de la biodiversidad en temas asociados a la conectividad ecológica de la región amazónica.....	23
Tabla 2.5. Convenios internacionales ratificados por el estado colombiano, relacionables con la gestión de la conectividad en la Amazonía colombiana.....	24
Tabla 2.6. Alcances de la propuesta metodológica para cada tema y ámbito espacial de análisis considerados	26
Tabla 4.1. Principales características de los patrones de fragmentación	35
Tabla 4.2. Clasificación valores de fragmentación.....	41
Tabla 4.4. Variables biofísicas y socioeconómicas para identificar causas de fragmentación	43
Tabla 4.5. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo a la pendiente del terreno:.....	45
Tabla 4.6 Clasificación de la resistencia en relación a la distancia a explotación de recursos no renovables.	46
Tabla 4.7. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia a centros poblados.	47
Tabla 4.8. Valores de resistencia en relación a la distancia vías.....	48
Tabla 5.1. Insumos para la identificación de los factores predeterminantes en el ámbito regional	74
Tabla 5.2. Insumos para los análisis de la evolución temporal de la fragmentación	76
Tabla 5.3. Identificación de actividades que generan fragmentación	76
Tabla 5.4. Insumos para la identificación de causas y agentes de fragmentación	77
Tabla 5.5. Estructura de la matriz de valores de los motores por polígono de una unidad de análisis.....	80
Tabla 5.6. Estructura de la matriz de correlación múltiple entre motores de fragmentación	81
Tabla 5.7. Insumos para la caracterización de factores predeterminantes.....	84
Tabla 5.8. Insumos para la identificación de actividades, causas y agentes asociadas a motores de fragmentación	87
Tabla 6.1. Variables incluidas en los análisis de conectividad para el ámbito regional.	102
Tabla 6.2. Valores de resistencia en relación a la distancia a la red fluvial. Fuente: Vanegas et al., 2016. ...	104
Tabla 6.3. Valores de resistencia en relación a la distancia vías.....	105
Tabla 6.4. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia a centros poblados.	106
Tabla 6.5. Clasificación de la resistencia en relación a la distancia a explotación de recursos no renovables.	107
Tabla 6.6. Calificación de la amenaza sobre coberturas naturales (2012-2016).....	108
Tabla 6.7. Calificación de la presión sobre coberturas naturales (2007-2012).....	108
Tabla 6.8. Calificación de las dinámicas de cambio de las coberturas naturales (2007-2016).....	109
Tabla 6.9. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo a la pendiente del terreno.	110
Tabla 6.10. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia entre parches de hábitat / no hábitat.....	111
Tabla 6.11. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo al Índice de extensión de la transformación.	112
Tabla 6.12. Valores de referencia para determinar grupos de especies indicadoras. Fuente: Correa et. al., 2017.....	121
Tabla 6.13. Variables incluidas en los análisis de conectividad para el ámbito regional.	122

Tabla 6.14. Valores de resistencia en relación a la distancia a la red fluvial. Fuente: Vanegas et al., 2016. .	125
Tabla 6.15 Valores de resistencia en relación a la distancia vías.....	126
Tabla 6.16. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia a centros poblados.....	127
Tabla 6.17. Clasificación de la resistencia en relación a la distancia a explotación de recursos no renovables. 128	128
Tabla 6.18. Calificación de la amenaza sobre coberturas naturales (2012-2016).....	129
Tabla 6.19. Calificación de la presión sobre coberturas naturales (2007-2012).....	129
Tabla 6.20. Calificación de las dinámicas de cambio de las coberturas naturales (2007-2016).....	130
Tabla 6.21. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo a la pendiente del terreno.	131
Tabla 6.22. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia entre parches de hábitat / no hábitat.....	132
Tabla 6.23. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo al Índice de extensión de la transformación. 133	133
Tabla 6.24. Indicadores espaciales para caracterización de fragmentación.....	139
Tabla 6.25. Valores de referencia para determinar grupos de especies indicadoras. Fuente: Correa et. al., 2017.....	144
Tabla 6.26. Variables incluidas en los análisis de conectividad para el ámbito regional.	146
Tabla 6.27. Valores de resistencia en relación a la distancia a la red fluvial. Fuente: Vanegas et al., 2016. .	148
Tabla 6.28. Valores de resistencia en relación a la distancia vías.....	149
Tabla 6.29. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia a centros poblados.....	150
Tabla 6.30. Clasificación de la resistencia en relación a la distancia a explotación de recursos no renovables. 151	151
Tabla 6.31. Calificación de la amenaza sobre coberturas naturales (2012-2016).....	152
Tabla 6.32. Calificación de la presión sobre coberturas naturales (2007-2012).....	153
Tabla 6.34. Calificación de las dinámicas de cambio de las coberturas naturales (2007-2016).....	153
Tabla 6.35. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo a la pendiente del terreno. Fuente: 155	155
Tabla 6.35. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia entre parches de hábitat / no hábitat.....	155
Tabla 6.36. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo al Índice de extensión de la transformación. 157	157
Tabla 6.37. Indicadores espaciales para caracterización de fragmentación.....	163

GLOSARIO

Análisis morfológico del paisaje (MSPA): Análisis que permite la caracterización del paisaje, diferenciando diferentes tipos de elementos espaciales de acuerdo a sus características geométricas.

Áreas Núcleo: Sectores que por su tamaño y buen estado de conservación son críticas para la sobrevivencia de poblaciones de organismos y las cuales se busca conectar mediante la consolidación de corredores de conectividad. En la presente propuesta, las áreas núcleo corresponden, en el ámbito regional de análisis, a sectores bajo coberturas naturales, dentro de áreas protegidas (RUNAP) o resguardo indígenas

Conectividad: Es aquella característica del paisaje que define la capacidad movimiento y dispersión de las especies, el intercambio genético, y otros flujos ecológicos a través de sus elementos constituyentes.

Conectividad Estructural: Se asocia directamente con la configuración espacial del paisaje, es decir con la continuidad de características físicas.

Conectividad Funcional o Ecológica: Se asocia con el desarrollo de flujos ecológicos, por lo que depende del grupo biológico o proceso considerados.

Capacidad Adaptativa: En un contexto socioeconómico, es la habilidad de un sistema humano de ajustarse a los cambios en el territorio, para moderar y manejar los potenciales daños, aprovechar las oportunidades y hacer frente a las consecuencias; está en función de la calidad de la gobernanza, de la capacidad de los recursos humanos y financieros disponibles, y de las opciones de adaptación que puedan existir para un tipo determinado de impactos generados por los cambios introducidos y por las decisiones tomadas sobre el uso de la tierra.

Corredor De Conectividad: Elementos lineales del paisaje cuyas características difieren de las circundantes y permiten el flujo de organismos entre parches de hábitat, al asemejarse a las condiciones naturales originales.

Fragmentación: Es un proceso dinámico que implica la transformación del paisaje, particularmente la división de un área continua de una cobertura en dos o más porciones (parches) y por lo tanto la disminución del área total cubierta por la misma. En tal sentido, una reducción de un tipo particular de cobertura, implicará fragmentación si y sólo si incrementa el número de parches del tipo de cobertura considerada, con un área total menor a la original, los cuales quedarán separados unos de otros por una matriz transformada, generando patrones espaciales particulares.

Grafo: Es una estructura topológica formada por nodos y enlaces en la que unos conectan a los otros.

Índice Espacial de Huella Humana (IEHH): Matriz de resistencia elaborada a partir de la combinación de diferentes factores que permite cuantificar desde una perspectiva espacialmente explícita el impacto que las actividades humanas sobre la conectividad de los paisajes.

Matriz de Resistencia: Representación del paisaje, que expresa la variabilidad espacial del costo, riesgo o dificultad de movilidad de organismos a través del mismo. Suele representarse como una capa de formato "ráster" en la que los valores de cada pixel son asignados teniendo en cuenta la facilidad para el desplazamiento de la especie de interés.

Paisaje: Es un concepto íntimamente relacionado con la expresión espacial de los elementos presentes una porción del territorio. Se define como un espacio heterogéneo para alguna variable de interés (ej. coberturas), en el que se desarrollan flujos de materia y energía, involucrando agentes abióticos, bióticos y de origen antrópico. El paisaje es una entidad espacio-temporal, cuyas características morfológicas y funcionales son

producto de las relaciones entre sus componentes, siendo expresiones del funcionamiento de los sistemas ecológicos y socioeconómicos, por lo que tiene carácter dinámico y abierto.

Parches Funcionales: Corresponde a relictos de hábitat para una especie o un grupo de especies particular, en el que dada su extensión y oferta de recursos es posible la sobrevivencia de tipo dicho de organismos.

Potencial de Restauración de la Conectividad: Está relacionado con la capacidad de restauración ecológica de un territorio, entendido como la interacción entre la oferta de los factores físicos, bióticos y socioeconómicos que otorgan un valor potencial que puede alcanzar un ecosistema para el desarrollo de un proceso de recuperación de la estructura, composición y función ecológica de carácter natural.

Raster: En su forma más simple, un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información (ej. temperatura). Los rásteres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados.

Resiliencia: Es la capacidad que tiene un sistema de responder a los disturbios. Uno de los elementos que tiene estrecha relación con la capacidad de resiliencia de un territorio, es la capacidad adaptativa de la población, en tanto los corredores de conectividad se inscriben en una matriz del paisaje que contiene ecosistemas con diferentes grados de transformación, que presentan diferentes grados de degradación.

Sistema Corine Land Cover: Define una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. La base de datos de *Corine Land Cover Colombia* (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas.



El ambiente
es de todos

Minambiente



1. INTRODUCCIÓN

La Amazonia, cuenta con la mayor en diversidad de géneros y especies terrestres a nivel mundial, siendo de vital importancia por su rol como prestadora de servicios ecosistémicos, de los cuales dependen comunidades humanas a múltiples escalas y a su vez, permite el mantenimiento de flujos ecológicos entre esta y sus regiones vecinas Andes y Orinoquía.

En la actualidad, se evidencian gran cantidad de efectos negativos sobre la integridad ecológica de la región Amazónica debido principalmente al cambio en el uso del suelo. El desarrollo de actividades antrópicas como la expansión de la frontera agropecuaria, la extracción maderera, la consolidación de mallas viales que potencializan el proceso de transformación en zonas remotas, la minería y la exploración y explotación de hidrocarburos, están afectando directamente la estabilidad de los ecosistemas y la biodiversidad de la región. Para el caso colombiano, la región Amazónica ha presentado la misma tendencia, afrontando procesos de pérdida de conectividad ecológica en respuesta a la fragmentación y transformación de sus paisajes naturales. Es por esto que es necesario tomar medidas considerando los efectos ambientales de la fragmentación de las coberturas naturales amazónicas que por su localización son paso obligatorio entre sur y centro América y, además, al presentar adyacencia con las regiones andina y orinocense, es vital para el desarrollo de procesos ecológicos.

Teniendo en cuenta esta situación, en el marco de la “*Visión de desarrollo bajo en deforestación para la Amazonia colombiana*”, conocida como Visión Amazonía, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN), el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y Patrimonio Natural Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas, suscribieron un acuerdo Interinstitucional para el desarrollo en conjunto de la iniciativa GEF “*Conservación de Bosques y Sostenibilidad en el Corazón de la Amazonia*” (Corazón de la Amazonía). El objetivo de esta iniciativa es mejorar la gobernanza y promover actividades de uso sostenible de la tierra con el fin de reducir la deforestación y conservar la biodiversidad en la región. Bajo este acuerdo, desde la Dirección de Asuntos Sectoriales y Urbanos – DAASU del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se establece la necesidad de contar con herramientas técnicas que aporten al desarrollo y manejo de infraestructura de transporte sostenible, para lo cual se conforma la Mesa Técnica Ambiental, en donde el Instituto Sinchi, el IDEAM, la Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible FCDS y el Programa Visión Amazonía, desde su competencia, aportarían insumos para la formulación de recomendaciones sobre infraestructura de transporte en la Amazonia.

Desde el Instituto Sinchi se buscó la identificación y/o diseño de corredores de conectividad estructural y funcional en la Amazonia colombiana por medio de la elaboración y diseño de la presente propuesta metodológica, validación de la metodología realizando un análisis regional, y generación de una estrategia de comunicación de gran impacto sobre la importancia de la conectividad entre estas tres regiones.

El desarrollo de la presente metodología permite la identificación, espacialización y caracterización de sectores afectados por procesos de fragmentación asociados a motores particulares en el territorio amazónico colombiano, así como las áreas clave para el mantenimiento de la conectividad al interior de la región y de esta con sus regiones vecinas (Andes y Orinoquía). Lo anterior permite describir patrones espaciales del grado de afectación del territorio por las actividades humanas y, por consiguiente, de la pérdida de conectividad ecológica. Para ello, se realiza el procesamiento de información documental e insumos cartográficos, así como la modelación espacial de variables biofísicas y socioeconómicas que permiten describir las dinámicas del



Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co





El ambiente
es de todos

Minambiente



territorio amazónico para cada uno de los tres ámbitos geográficos considerados (Regional, Subregional y Local).

El ámbito “Regional” corresponde con el polígono Sinchi de delimitación de Amazonía colombiana, y para el desarrollo de su análisis se plantea trabajar y generar información cartográfica a escala 1:100.000, independientemente del tema considerado. Para la escala “Subregional” se consideran sectores específicos dentro de la Amazonía, asociables entidades como Departamentos, Municipio y/o subcuencas, utilizando insumos de escala 1:25.000 y para la escala “Local” se trabajará con insumos a nivel de predio, vereda o microcuenca. Para este último caso, dado el detalle de la información a utilizar y lo pequeño de las áreas de trabajo, se considera necesario la obtención de información mediante trabajo de campo. La selección de áreas de las escalas más detalladas puede guardar coherencia con los resultados del análisis de los ámbitos de mayor jerarquía. Sin embargo, también se puede trabajar en áreas de acuerdo a criterios técnicos o intereses institucionales definidos.

El documento con la propuesta metodológica está organizado temáticamente en cinco (5) secciones o capítulos principales, descritas a continuación en términos de sus contenidos:

1. La primera sección es de carácter introductorio al contexto en el que está enmarcada la necesidad e interés de generar la presente propuesta metodológica tomando como base la importancia ambiental de la Amazonia colombiana y del mantenimiento de su conectividad ecológica. Además, se hace un análisis de las experiencias previas en la evaluación de la transformación y cambio del uso del suelo en la Amazonia y finalmente se muestra el marco normativo en el que está enmarcada la presente propuesta.
2. En la segunda sección se presenta el área de estudio para cada ámbito de análisis (Regional, Subregional y Local) y se exponen algunos criterios mínimos tenidos en cuenta para su selección, el tipo de información utilizada y el alcance de cada escala de trabajo.
3. En la tercera sección se describen las metodologías propuestas para el análisis de fragmentación del paisaje para cada ámbito. Primero se presentan algunos conceptos clave considerados en los análisis planteados, posteriormente, se explican cada uno de los objetivos específicos de la metodología, las metodologías propuestas, y los resultados esperados. Para cada ámbito se especifican las diferencias en cuanto a insumos considerados, el nivel de detalle de la información y la inclusión o exclusión de variables.
4. La cuarta sección corresponde a la metodología propuesta para el análisis de motores de fragmentación. Esta se fundamenta en los resultados obtenidos de los análisis de fragmentación, utilizando las unidades espaciales de análisis allí definidas. Al igual que en la sección previa en primera instancia se presentan algunos conceptos claves considerados en los análisis planteados, se especifican los objetivos definidos para los diferentes ámbitos de análisis y también se incluye la descripción general de los procedimientos propuestos, especificando las diferencias entre ámbitos.
5. La quinta sección, corresponde al análisis de la conectividad relacionado con la descripción de los patrones de conectividad del territorio y la identificación de áreas importantes para la conservación de la biodiversidad, así como de corredores de conectividad que permitan el flujo de organismos entre estas. En este caso y de la misma manera que en las dos secciones anteriores, en primera instancia se presenta un marco conceptual, para luego especificar los objetivos definidos para los diferentes ámbitos de análisis y se describan los procedimientos propuestos, especificando las diferencias entre cada uno.

Es importante mencionar que el desarrollo de la propuesta metodológica es un gran avance en la generación de insumos para la adecuada toma de decisiones, en torno al ordenamiento del uso del territorio amazónico,



Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



que asegure la prestación de los servicios ecosistémicos. De igual forma la implementación de la metodología contribuye a la construcción de política ambiental y sectorial para el manejo y control de las acciones que generan fragmentación del paisaje amazónico, aportando insumos que permitan el desarrollo y enriquecimiento de las herramientas de manejo del paisaje.

Ahora, es también necesario hacer mención a las restricciones que se pueden presentar durante su aplicación. Dado que la metodología busca generar una representación del territorio acorde con la situación presente, la calidad de los resultados obtenidos es dependiente de la calidad y actualización de la información de insumo. El gran volumen de datos a analizar, producto de la resolución espacial de los insumos y alcance geográfico de los análisis propuestos, implica retos tecnológicos, en cuanto a la capacidad de procesamiento del software y el hardware disponible, que pueden implicar la inversión de largos tiempo de procesamiento. Por otra parte, la implementación de la metodología, para los ámbitos más detallados (subregional y local), dado la inexistencia, en muchos casos se requiere la generación de cartografía de insumo, lo que también implica inversiones en tiempo y dinero. En el mismo sentido, se debe mencionar que la construcción de líneas de tiempo para el análisis de las dinámicas de fragmentación, también requiere información cartográfica de diferentes variables, para diferentes periodos. Sin embargo, aunque dichos insumos pueden no estar disponibles, de estalo pueden haber sido generados bajo diferentes protocolos, lo que dificulta su comparabilidad. Un punto importante a considerar en los análisis de fragmentación y conectividad funcional, es el actual desconocimiento del efecto de la distancia al desarrollo de dinámicas humanas (ej. vías, asentamientos, cultivos, etc.), en la conectividad para diferentes grupos biológicos, lo que requiere investigación en el tema.

2. CONTEXTO

2.1. IMPORTANCIA AMBIENTAL DE LA AMAZONÍA Y DEL MANTENIMIENTO DE SU CONECTIVIDAD

La Amazonia se extiende por ocho países sudamericanos: Brasil, Bolivia, Ecuador, Colombia, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela, con una superficie total aproximada de 7,5 millones de Km², de los cuales Colombia cuenta con aproximadamente el 7%. La región, por su localización ecuatorial y su buen estado de conservación, relacionado con su alta conectividad, cuenta con la mayor diversidad de géneros y especies terrestres a nivel mundial (Killeen 2007). Además, dada su riqueza y la compleja red de interacciones ecológicas que en ella se desarrollan, la Amazonía también es de vital importancia por su rol como prestadora de servicios ecosistémicos, de los cuales dependen comunidades humanas a múltiples escalas (Killeen 2007).

Para las poblaciones ancestrales de la Amazonía, esta ha sido fuente de recursos materiales para su subsistencia (Robinson & Redford 1997). Su uso cotidiano ha hecho que los paisajes amazónicos sean parte integral de las cosmogonías indígenas, haciendo que su conservación sea requisito para la conservación de su cultura (García & Muñoz, 2009). A una escala mayor, la Amazonía es determinante como masa de coberturas boscosas, cuya biomasa sirve de sumidero de gas carbónico, mitigando efectos de procesos de cambio climático (Pan et al. 2011). Así mismo, la evapotranspiración de los bosques amazónicos es determinante en la regulación hídrica a nivel mundial, influyendo en los patrones de temperatura, lluvia y humedad (Vizy & Cook, 2007), claves en términos de la capacidad de producción de alimentos, entre otros aspectos vitales para las comunidades humanas.

En el mismo contexto, la contigüidad de la Amazonía con otras regiones, hace que existan relaciones ecológicas entre estas, y que la conservación de su funcionalidad no dependa exclusivamente del mantenimiento de la conectividad interna, sino también de una de carácter transregional. Se debe tener en cuenta que la Amazonía da continuidad en el Noroeste con el complejo andino colombiano y venezolano hasta el Darién, en conexión



El ambiente es de todos

Minambiente



con Centroamérica. Hacia el oeste, se enlaza con el piedemonte andino-amazónico y al sur con el Pantanal sudamericano y la sabana brasileña. El mantenimiento de los flujos ecológicos entre la Amazonía y sus regiones vecinas, permite en cada una, el establecimiento de poblaciones silvestres saludables y resilientes, así como la prestación de servicios ecosistémicos asociados a las mismas (Pan et al. 2011).

En la actualidad, se evidencian los efectos negativos de las actividades antrópicas, que ponen en riesgo la integridad ecológica de la Amazonía (Killen 2007). Dentro de las amenazas existentes se encuentran el avance de la frontera agrícola, la expansión de la explotación de hidrocarburos, la extracción maderera y las represas (Painter et al., 2008). Dentro de estas, la de mayor impacto es el cambio del uso de la tierra debido a la expansión de la frontera agrícola y pecuaria, específicamente la ganadería bovina y el cultivo de la soya (Painter et al. 2008). Por otra parte, si bien el aprovechamiento forestal no necesariamente implica una tala total los bosques, si impacta el tipo de cobertura, reduciendo su riqueza, e incrementando el riesgo de incendios, y fundamentalmente, implicando la apertura de nuevas rutas de acceso que potencializan el proceso de transformación en áreas remotas (Broadbent et al., 2008). El cultivo de la coca y formas de cultivos ilícitos son también factores impulsores de la deforestación amazónica (Dávalos et al. 2011).

La exploración de hidrocarburos en la Amazonía ha aumentado considerablemente. En las últimas tres décadas se han desarrollado proyectos petroleros de gran magnitud en la Amazonía Central Ecuatoriana, además de la extracción de gas en el Brasil y Perú (Finer et al. 2003). La minería es otra de las actividades que ha incrementado considerablemente en los últimos años y una de las principales amenazas a la estabilidad de los ecosistemas y la biodiversidad. Las zonas con mayor impacto de la minería, son el Escudo Guayanés (por extracción principalmente de oro), en las montañas Andinas de Bolivia y Perú, en el piedemonte colombiano y en la región limítrofe entre Colombia, Venezuela y Brasil (PNUMA, 2009).

La Amazonía colombiana no es ajena a los procesos de transformación que afectan el resto de la cuenca (DNP 2010), hecho de suma importancia dada su localización como zona de paso entre sur y centro América. Cabe mencionar que, de acuerdo a la información generada por el IDEAM, la deforestación alcanzó las 144.147 ha en el 2017, lo que implica un incremento substancial si se considera la cifra para el año 2016 de 70.074 ha. Esta transformación afecta procesos ecológicos de suma importancia en el contexto nacional. Así, de la conservación de los bosques amazónicos depende en gran medida la generación de lluvias que riegan la cordillera oriental colombiana (Poveda et. al., 2009). Por otra parte, la red hídrica amazónica es en su mayoría de origen andino, por lo que la desconexión entre estas regiones tendría implicaciones en la regulación climática e hidrológica, el flujo biológico entre las partes altas y las llanuras bajas, y la provisión de alimentos, materias primas y recursos genéticos.

La importancia ambiental de la Amazonía colombiana y de su relación con regiones vecinas, que incluye las de tipo sociedad / naturaleza, y la presencia de dinámicas que ponen en peligro su integridad ecológica, han sido reconocidas por diferentes instituciones, que en la actualidad lideran programas para el mantenimiento de la conectividad inter-regional. Entre estas, la iniciativa “Andes – Amazonas” liderada por la “Gordon & Betty Moore Foundation” busca el mantenimiento a largo plazo de la cubierta forestal amazónica y así de su función ecológica en la regulación de procesos climáticos e hidrológicos a escala suprarregional (Poveda et al, 2009). El estado colombiano, reconociendo la importancia de la conectividad entre los Andes, Amazonas y Atlántico para el logro de compromisos multilaterales relacionados con cambio climático, biodiversidad y la agenda 2030, apoya el trabajo hecho por la Fundación Gaia, para la consolidación del denominado “Corredor AAA”, que busca asegurar la prestación de servicios relacionados con el ciclo hidrológico, la regulación del carbono y el ciclado de nutrientes. El “Corredor Jaguar”, es un mosaico de paisajes de 6 millones de km² desde México hasta Argentina, que busca proteger al jaguar, una especie carismática y sombrilla, en toda su área de distribución



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



actual, preservando su integridad genética a futuro, conectando y protegiendo sus poblaciones principales, lo que a su vez redundará en la protección de otras especies que comparten su rango de distribución. Sin duda, los resultados de la aplicación de la presente metodología servirán a los responsables de las diferentes iniciativas para delimitar y priorizar acciones en sectores específicos.

Otros trabajos han sido desarrollados considerando procesos desarrollados exclusivamente al interior de nuestra Amazonía, los cuales fueron utilizados como punto de partida para la generación de la presente propuesta, enfocada en el análisis de los procesos de fragmentación y sus motores y de conectividad.

2.1.1. Experiencias recientes en la evaluación de la transformación de las coberturas naturales en la Amazonía colombiana y su conectividad.

Es necesario destacar que son pocos los estudios orientados específicamente al análisis de los procesos de fragmentación en la Amazonía colombiana, estando mayormente enfocados en los procesos de deforestación y sus motores (Tabla 2.1). En ese sentido, dadas las semejanzas entre Fragmentación y Deforestación, como procesos de transformación de las coberturas y así de la movilidad de organismos a través de los paisajes, la metodología que aquí se presenta toma elementos de estas experiencias previas y las ajusta al proceso específico de la fragmentación del conjunto de coberturas naturales presentes en el territorio amazónico colombiano.

Tabla 2.1. Documentos incluidos en la identificación de motores de transformación (deforestación) de coberturas en la Amazonía colombiana.

TÍTULO	INSTITUCIÓN	AÑO
Amenazas y presiones actuales sobre la integridad de las AP del SPNN en el contexto sub regional	FCDS	2017
Causas y agentes de deforestación en el Bajo Caguán: resultados encuesta a productores agropecuarios	TNC	2016
Síntesis de avances y estudios de caso en la identificación y análisis de motores de deforestación en la Amazonía colombiana.	SINCHI	2016
Orientaciones para reducción de la deforestación y degradación de los bosques: Ejemplo de la utilización de estudios de motores de deforestación en la planeación territorial para la Amazonía colombiana	GIZ, SINCHI	2016
Conexión PNN Macarena – PNN Chiribiquete: contexto ecológico e impactos potenciales del proyecto de la vía marginal de la selva sobre la conectividad ecosistémica	FPR	2015
Uso del suelo y estructura de la vegetación en paisajes fragmentados en la amazonia, Colombia	Meza & Armenteras	2018

Fuente: Sinchi, 2018

Los estudios consultados, aunque difieren en sus enfoques y alcances, se fundamentan en la caracterización de aspectos biofísicos, sociales, económicos y políticos, estableciendo un panorama general de las complejas dinámicas desarrolladas en la Amazonía, asociadas a la transformación de las coberturas naturales, particularmente de las áreas boscosas. Dentro de los trabajos evaluados se encuentran análisis tanto de carácter cualitativo como cuantitativo, que permiten identificar las causas directas e indirectas y los actores determinantes en la pérdida de cobertura boscosa en la Amazonía. Los documentos incluyen localidades a lo



El ambiente
es de todos

Minambiente



largo del gradiente altitudinal dentro de la Amazonía, y presentan cronologías de los eventos más determinantes que implicaron periodos críticos, caracterizados por la pérdida de grandes extensiones de la cobertura boscosa.

Así, se destacan los efectos de la praderización extensiva para la cría de ganado y en menor grado el desarrollo de infraestructura (ej. vías), cultivos de pancoger y de uso ilícito y la minería, como causas de la transformación de las coberturas (TNC 2016; Sinchi 2016). La ganadería ha sido la causa primaria debido al histórico desarrollo de sistemas productivos pecuarios extensivos e ineficientes para la región. Al respecto, aunque se identifica que la población local es en gran medida la responsable directa de la deforestación, se argumenta que son agentes externos a la comunidad los que fomentan en gran medida la deforestación. Grandes ganaderos, arriendan áreas de pasto para la cría de hatos que no podrían estar en la zona por cuenta propia de los habitantes locales (TNC 2016).

Por otra parte, la ambigua presencia estatal también ha fomentado la deforestación en la zona. En primer lugar, su ausencia en sectores remotos, ha permitido por décadas el establecimiento de grandes extensiones de cultivos de uso ilícito, marihuana particularmente en la década de los 80's y coca en épocas más recientes, que han reemplazado masas boscosas. Al respecto se debe mencionar que en zonas como el Caguán, en los últimos años se ha visto una disminución de este tipo de cultivos, lo que se relaciona con el proceso de paz en curso (FPR 2015).

La explotación de hidrocarburos, aunque puede concentrarse en puntos específicos, se identifica como un motor de cambio en la medida que trae consigo el desarrollo de vías de acceso, que, sumadas a aquellas de carácter estatal, terminan facilitando el acceso de población a zonas remotas, generando nuevos focos de transformación de las coberturas terrestres. Caso de ejemplo es el Proyecto de la "Marginal de la Selva", que con la intención de conectar poblaciones y facilitar el intercambio comercial entre regiones, puede significar efectos negativos en términos de la conservación de los bosques y las dinámicas ecológicas que se desarrollan bajo su influencia (FPR 2015). La explotación minera y de hidrocarburos, también aparecen como causas de la transformación de la Amazonía colombiana. Los efectos de este tipo de actividad se asocian principalmente a la instalación de infraestructura requerida para la explotación y transporte de los recursos. La extracción de madera también aparece como motor de cambio, aunque esta tiende a desarrollarse para el autoabastecimiento local, como combustible y para la construcción, teniendo efectos mínimos en comparación con los presentados por otras actividades ya mencionadas.

Las metodologías utilizadas en los documentos evaluados no hacen una diferenciación detallada de los efectos producidos por cada uno de los motores identificados, lo que no permite diferenciar cuáles se asocian a procesos de pérdida de coberturas boscosas y cuales además a procesos de fragmentación de las mismas. Además, no consideran la transformación de otro tipo de coberturas que no sean boscosas. Sin embargo, los documentos si brindan información que, junto a la evidencia acumulada en las últimas décadas, permite inferir cuales se pueden asociar a patrones espaciales característicos de la fragmentación, como lo es el desarrollo de infraestructura vial (Turner et al., 2001; Laurence et al., 2009). En este sentido, el trabajo aquí realizado es un aporte fundamental para la generación de información sobre dinámicas de transformación específicas (fragmentación), en la que no se consideran exclusivamente las coberturas de tipo boscoso.

Por otra parte, en el contexto del análisis específico de la conectividad en la Amazonía colombiana, los trabajos encontrados fueron desarrollados durante la presente década (Tabla 2.2), y se enfocaron en la identificación de áreas prioritarias para el mantenimiento de la conectividad tanto estructural (ej. FCDS 2014) como funcional (ej. Vergara 2017), en diferentes sectores de la región. Los objetivos de esta serie de trabajos, coinciden parcialmente con los planteados en la presente propuesta, buscando generar información de carácter espacial que permita la adecuada toma de decisiones para la planificación del territorio, la recuperación o mantenimiento



Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana



Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co

de las coberturas naturales, la identificación de aquellas intervenciones de origen antrópico que implican una transformación de las coberturas de la región y su funcionalidad ecosistémica.

Por lo general, los trabajos encontrados han considerado escenarios de análisis que involucran áreas pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Protegidas. La extensión y detalle de los análisis se ha correspondido con la calidad de los insumos utilizados, de manera tal que los trabajos de mayor cubrimiento espacial han considerado información a escala 1:100.000 (FCDS 2017; SINCHI 2015; Rojas et. al., 2014), mientras que aquellos enfocados en sectores particulares de la región, han utilizado información con escala 1:25.000 (FCDS 2017; Vanegas 2017; FPR 2015). Tal hecho seguramente se encuentra condicionado por la reducida disponibilidad de la cartografía 1:25.000, que por lo general debió ser generada en el contexto de cada proyecto.

Comparando los enfoques estructurales y funcionales, son menos comunes los segundos. Este fenómeno seguramente se relaciona con el actual reducido conocimiento que se tiene sobre el efecto de las diferentes actividades humanas y la consecuente transformación de los paisajes sobre la movilidad de los organismos y la alteración de las relaciones ecológicas que ello implica. Así, sólo uno fundamenta sus análisis considerando las características ecológicas de especies particulares, en términos de su capacidad de desplazamiento y requerimientos mínimos de hábitat (Vanegas 2017). Otro tipo de perspectiva de análisis funcional encontrado, aunque no considera información cuantitativa de especies particulares, formula escenarios de conectividad estableciendo tipos generales de organismos con diferencias ecológicas (ej. FPR 2015). Lo anterior indica que es necesario la producción de conocimiento de carácter científico en campos como la ecología funcional del paisaje, ecología del movimiento, particularmente en contextos antr*-*+*+opizados.

Tabla 2.2. Documentos fuente con metodologías para la 7a evaluación de la conectividad ecológica

NOMBRE DOCUMENTO	INSTITUCIÓN	AÑO
Corredores biológicos en la Amazonía colombiana: Estado actual, amenazas y conectividad"	CEPAL / PATRIMONIO	2012
Análisis y recomendaciones de ordenamiento sectorial, territorial y ambiental para la zona de influencia del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete, y corredores de conectividad que aporten a la construcción de agendas y acuerdos en el marco de la iniciativa "Corazón de la Amazonía	FCDS	2014
Conexión Macarena - Chiribiquete (Documento Síntesis)	FPR	2015
Propuesta zonificación para la identificación de las áreas prioritarias de restauración ecológica en el área intervenida de los departamentos de Caquetá, Putumayo, Guaviare y Sur del Meta	SINCHI	2015
Primer informe y cartografía en formato shape y/o feature class resultante del Análisis de la conectividad del paisaje en las zonas de interés de los Departamentos de Guaviare y Caquetá	SINCHI	2017
El Plan Regional de Gestión Social y Ambiental en el área de influencia del proyecto de infraestructura vial Marginal de la Selva en el tramo La Macarena (Meta) y el Cruce La Leona (Guaviare): Anexo metodológico corredores de conectividad ecológica, locales y regionales.	FCDS	2017
Estudio de conectividad como aproximación a la integridad del paisaje (Departamento del Caquetá)	TNC	2017

Fuente: Sinchi, 2018

Dada la naturaleza espacial requerida en el análisis de conectividad, los trabajos consultados plantean metodologías espacialmente explícitas, fundamentadas en la generación de matrices de resistencia al flujo de

organismos, asociadas a diferentes variables relacionadas con la transformación de las coberturas. Dichas matrices son objeto de análisis bajo procedimientos fundamentados en propuestas desarrolladas desde la teoría de grafos (Galpern et al., 2011) y de circuitos eléctricos (McRae et al., 2008), que permiten la identificación de los sectores más idóneos (menos transformados) para el flujo de organismos. Lo anterior, en concordancia con las propuestas metodológicas desarrolladas para la evaluación de la huella humana sobre los ecosistemas (Correa et. al., 2017; Etter et. al. 2006).

Como resultado de la revisión documental realizada, además de la necesidad de generar información científica en el campo de la ecología, queda claro que en la Amazonía colombiana todavía son más las áreas dominadas por coberturas naturales, aún por fuera del sistema de áreas protegidas. Estas áreas se ven mayormente concentradas en el sur y sur-oriente de la región, donde además de PNN, el paisaje está dominado por resguardos indígenas. Sin embargo, los sectores al norte del PNN Serranía de Chiribiquete y aquellas correspondientes a la transición con la región andina (arco amazónico), presentan un alto grado de transformación, particularmente a orillas de ríos (ej. Caguán, Guayabero), que son los sectores con mayor actividad humana. Este tipo de situación, se corresponde con el desarrollo de los análisis detallados mencionados previamente. Se debe resaltar, que no se encontraron trabajos desarrollados en la zona de transición Amazonía – Orinoquía, aunque los procesos agroindustriales que se han venido estableciendo en las sabanas del Vichada pueden estar teniendo efectos sobre la transformación de este tipo de ecosistemas.

2.2. MARCO NORMATIVO E INSTITUCIONAL ASOCIADO A LA GESTIÓN DE LA CONECTIVIDAD ECOLÓGICA

Considerando la conexión entre la conservación de la biodiversidad, la funcionalidad ecosistémica, la prestación de servicios ecosistémicos y el bienestar humano desde la perspectiva del desarrollo sostenible, el mantenimiento o recuperación de la conectividad ecológica pueden ser considerados como parte de la norma constitucional en la que se reconoce la obligación del estado de proteger las riquezas naturales de la Nación (Art. 8) y el derecho de los colombianos a tener un ambiente sano (Art. 79). En este contexto se debe resaltar el deber constitucional del Estado en torno a la necesidad de proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Además del marco constitucional se destacan algunas normas generales que de manera directa o indirecta han contribuido al desarrollo de actividades para la protección, uso y manejo de la biodiversidad, algunas de las cuales tienen relevancia en la gestión de la conectividad ecológica en la región amazónica (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Normatividad nacional asociable a la gestión de la conectividad ecológica en la región amazónica

NORMA	TEMA
Ley 2 de 1959	Sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables.
Decreto ley 2811 de 1.974	Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y no Renovables y de Protección al Medio Ambiente. El ambiente es patrimonio común, el Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo que son de utilidad pública e interés social. Regula el manejo de los recursos naturales renovables, la defensa del ambiente y sus elementos.
Ley 388 de 1997	Ordenamiento territorial municipal y distrital y planes de ordenamiento territorial.
Decreto 2372 de 2010	Reglamenta el Decreto-Ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto-Ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y otras disposiciones

Fuente: Sinchi, 2018

Bajo ese marco normativo fundamental, la Política Nacional de Biodiversidad (1996) es la herramienta de mayor nivel a la que se pueda hacer referencia en asociación con el mantenimiento de la integridad ecológica mediante la conectividad de los ecosistemas de la nación. Lo anterior, dado el objetivo general de dicha política de *“Promover la conservación, el conocimiento y el uso sostenible de la biodiversidad, así como la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de la utilización de los conocimientos, innovaciones y prácticas asociados a ella por parte de la comunidad científica nacional, la industria y las comunidades locales”*. Articuladas a la política nacional ambiental, existen otros instrumentos cuyos objetivos son relevantes para la gestión de la conectividad ecológica en la Amazonía colombiana (Tabla 2.4).

Tabla 2.4. Principales instrumentos nacionales para la gestión de la biodiversidad en temas asociados a la conectividad ecológica de la región amazónica.

TIPO DE INSTRUMENTO	TÍTULO	OBJETIVO GENERAL	AÑO
Política	Conpes 3680 SINAP "Lineamientos para la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas"	Establecer las pautas y orientaciones para avanzar en la consolidación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia como un sistema completo, ecológicamente representativo y eficazmente gestionado, de forma que se contribuya al ordenamiento territorial, al cumplimiento de los objetivos nacionales de conservación y al desarrollo sostenible en el que está comprometido el país.	2010
Política	Política de Producción y Consumo Sostenibles	Orientar el cambio de los patrones de producción y consumo de la sociedad colombiana hacia la sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la competitividad de las empresas y al bienestar de la población.	2010
Plan	Plan Nacional de Desarrollo Forestal	Establecer un marco estratégico que incorpore activamente el sector forestal al desarrollo nacional, optimizando las ventajas comparativas y promoviendo la competitividad de productos forestales maderables y no maderables en el mercado nacional e internacional, a partir del manejo sostenible de los bosques naturales y plantados.	2000
Plan	Plan Nacional de Prevención, Control de Incendios Forestales y Restauración de Áreas Afectadas.	Establecer los lineamientos de orden nacional para la prevención, control y restauración de las áreas afectadas por los incendios forestales, mitigando su impacto y fortaleciendo la organización nacional, regional y local con programas a corto (tres años), mediano (10 años) y largo plazo (25 años).	2002
Plan	Planes regionales de acción en biodiversidad (Sur de la Amazonia)	Promover la conservación, el conocimiento y el uso sostenible de la biodiversidad, así como una distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de su utilización.	2005
Plan	Plan Nacional de las Especies Migratorias	Adelantar acciones para la conservación y el manejo sostenible de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia.	2009

TIPO DE INSTRUMENTO	TÍTULO	OBJETIVO GENERAL	AÑO
Estrategia	Estrategia Nacional de Prevención, Control, Seguimiento y Vigilancia Forestal	Establecer e implementar un conjunto integrado de lineamientos, procedimientos y acciones que articulen de manera armónica los componentes preventivo, jurídico, administrativo- financiero y operativo de los procesos de prevención, seguimiento, control y vigilancia del manejo y aprovechamiento, movilización, transformación y comercialización de los recursos forestales, maderables y no maderables, con base en la gestión coordinada de las autoridades ambientales y demás organismos competentes del Estado y la participación activa de los diversos actores de la cadena productiva forestal, de otros sectores productivos relacionados y de la sociedad civil en general.	2010

Fuente: Sinchi, 2018

Además, acorde con el régimen constitucional establecido, Colombia está comprometido con el cumplimiento de convenios y convenciones, que velan de una u otra manera por la conservación de la biodiversidad y la prestación de los servicios ecosistémicos conexos, los cuales se presentan a continuación (Tabla 2.5).

Tabla 2.5. Convenios internacionales ratificados por el estado colombiano, relacionables con la gestión de la conectividad en la Amazonía colombiana

INSTRUMENTO	AÑO FIRMA	LEY NACIONAL DE RATIFICACIÓN	OBJETIVO GENERAL
Convenio para la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural Unesco	1972	Ley 45 de 1983	Establecer un sistema eficaz de protección colectiva al patrimonio cultural y natural organizado de una manera permanente y según métodos científicos y modernos.
Tratado de Cooperación Amazónica	1978	Ley 74 de 1979	Promover el desarrollo armónico de la Amazonía y la distribución equitativa de beneficios entre las partes para elevar el nivel de vida de sus pueblos, manteniendo un equilibrio entre el desarrollo económico y la preservación del medio ambiente.
Convenio Relativo a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (Ramsar)	1981	Ley 357 de 1997	Garantizar la conservación y el manejo racional de los humedales, reconociendo la importancia de las funciones que cumplen, su riqueza en flora y fauna y su valor económico, como ecosistemas que generalmente ocupan zonas de transición entre áreas húmedas permanentes y áreas usualmente secas.
Convenio de Diversidad Biológica (CDB)	1992	Ley 165 de 1994	Conservación de la diversidad biológica, utilización sostenible de sus componentes y participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos

INSTRUMENTO	AÑO FIRMA	LEY NACIONAL DE RATIFICACIÓN	OBJETIVO GENERAL
Convención Marco de las Naciones Unidas contra el Cambio Climático (UNFCCC)	1992	Ley 164 de 1994	Establecer las concentraciones atmosféricas de gases efecto invernadero (GEI), a niveles que impidan que las actividades humanas afecten peligrosamente al sistema climático mundial.
Convenio Internacional de Maderas Tropicales	2006	Ley 1458 de 2011	Promover la expansión y diversificación del comercio internacional de maderas tropicales de bosques ordenados de forma sostenible y aprovechada legalmente y promover la ordenación sostenible de los bosques productores de maderas tropicales.

Considerando la normatividad y los compromisos internacionales de carácter vinculante, el Plan Nacional de Desarrollo del gobierno del Presidente Juan Manuel Santos, bajo el cual se desarrolló la presente propuesta metodológica, establece los propósitos y objetivos nacionales, así como las estrategias, orientaciones y metas generales de la política económica, social y ambiental del Gobierno durante su periodo de gestión, muchos de ellos se relacionan de forma directa con el mantenimiento y restauración del funcionamiento ecosistémico. Respecto a la biodiversidad, el PND, en su capítulo VI “sostenibilidad ambiental y prevención del riesgo”, contempla la necesidad de adelantar acciones para: a) Fortalecer la protección y restauración de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, b) Gestionar el riesgo de pérdida de biodiversidad y sus servicios ecosistémicos y c) Fortalecer el uso sostenible de la biodiversidad para la competitividad y el crecimiento económico y social. Adicionalmente, se contemplan acciones para la gestión integral del recurso hídrico relacionadas con el mantenimiento de los ecosistemas clave para el recurso hídrico y acciones para la adaptación nacional al cambio climático.

Bajo esas líneas de trabajo, el PND puntualiza que los procesos de pérdida y degradación de bosques se atribuyen a causas como la ampliación de la frontera agrícola, la colonización, la minería, los incendios forestales, los cultivos ilícitos, la ampliación de infraestructura, la urbanización y la extracción de madera. En respuesta a estas dinámicas productivas y de cambio de uso del suelo, en la Amazonía colombiana, se han planteado diferentes alternativas buscando reducir la deforestación y otros procesos de transformación de las coberturas naturales, compatibilizando el desarrollo de actividades extractivas y productivas con las aptitudes de la región y su funcionalidad ecológica. Así, el Gobierno colombiano, en cabeza del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) lidera la construcción de la “*Visión de desarrollo bajo en deforestación para la Amazonía Colombiana*”, mediante la iniciativa conocida como “*Visión Amazonía*”.

En este contexto, MADS, Parques Nacionales Naturales (PNN), Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y Patrimonio Natural Fondo para la Biodiversidad y Áreas Protegidas, acordaron el desarrollo conjunto del programa GEF “*Conservación de Bosques y Sostenibilidad en el Corazón de la Amazonía*” o “*Corazón de la Amazonía*”, en el que se enmarca la presente propuesta metodológica. Este programa, busca mejorar la gobernanza en la región y promover actividades de uso sostenible de la tierra a fin de reducir la deforestación y conservar la biodiversidad amazónica. Dentro de su estrategia para el control de la deforestación, el programa resaltó la importancia ambiental y la vulnerabilidad de la Amazonía colombiana y de algunas áreas particulares dentro de la misma, por lo que determinó la necesidad de coordinar acciones para la conservación de esta región.

Dados los precedentes expuestos, desde la Dirección de Asuntos Sectoriales y Urbanos (DAASU) del MADS se establece la necesidad de contar con conocimientos y herramientas técnicas que le posibiliten aportar a las instancias gubernamentales y sectoriales, lineamientos para el desarrollo y manejo de infraestructura de

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax: (8) 5928171 Leticia - Amazonas
 Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá
www.sinchi.org.co

transporte sostenible y generar recomendaciones ambientales para la implementación CONPES de la red vial terciaria, así como a los Planes Viales Departamentales, Plan 51x50, entre otros. Con este propósito, se ha conformado junto con el Instituto Sinchi, el IDEAM, la Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS), una Mesa Técnica Ambiental para la formulación de recomendaciones sobre infraestructura de transporte en la Amazonia. Para la identificación y/o diseño de corredores de conectividad en la Amazonia, el Instituto Sinchi lidera la elaboración de la presente propuesta metodológica, mientras que los demás miembros de la mesa técnica acompañan el proceso mediante aportes de información y demás insumos que le sean propios.

2.3. ALCANCES ASOCIADOS A LA PRESENTE PROPUESTA

La presente propuesta busca ser una herramienta, para la generación de información técnica, cuya consideración facilite la adecuada toma de decisiones, en concordancia con los objetivos trazados dentro del proyecto “Corazón de la Amazonía” y lo ordenado por la Corte Suprema de Justicia, particularmente en términos de: a) la formulación de un plan de acción de corto mediano y largo plazo que neutralice la deforestación en la Amazonía, en donde se haga frente a los efectos del cambio climático, y b) la construcción de un pacto intergeneracional por la vida del amazonas colombiano, en donde se adopten medidas encaminadas a reducir a cero la deforestación y las emisiones de gases de efecto invernadero, el cual deberá contar con estrategias de ejecución nacional, regional y local, de tipo preventivo, obligatorio, correctivo y pedagógico, dirigidas a la adaptación al cambio climático.

Los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología, enfocados en la identificación y caracterización de procesos de fragmentación y de sus motores en el territorio amazónico colombiano, y áreas críticas para el mantenimiento de la conectividad en la región, son insumos técnicos a ser utilizados por diferentes entidades públicas y/o privadas con actuación a escalas similares a los ámbitos geográficos de análisis aquí planteados (regional, subregional y local) y por lo tanto, con injerencia a nivel de diferentes entidades territoriales para el diseño de estrategias de ordenamiento territorial (Tabla 2.6).

Tabla 2.6. Alcances de la propuesta metodológica para cada tema y ámbito espacial de análisis considerados

AMBITO ANÁLISIS	ESCALA DE TRABAJO	TEMAS	ALCANCE ESPACIAL	INCIDENCIA	ACTORES INVOLUCRADOS	EJEMPLOS INICIATIVAS
Regional	500K -100k	Conectividad Fragmentación Motores	Amazonía - Andes Amazonía - Orinoquía Amazonía - Amazonía Amazonía	Internacional Nacional Regional	Gobierno Nacional Ministerios CDS	Corredor Jaguar Corredor AAA Red de áreas núcleo Corredores viales
Subregional	25K	Conectividad Fragmentación Motores	Sectores priorizados en la Amazonía (Deptos, Municipios, Subcuencas)	Subregional	Gobernaciones CDS Alcaldías	Corredor AMEM-PNNSC Paya PNNSC Nukak- PNNSC
Local	25K - 10K	Conectividad Fragmentación Motores	Corredores conectividad Sectores fragmentados (Veredas, Predios)	Local	Municipios Asociaciones Veredales	Planeación predial (Herramientas de manejo del paisaje local)



El ambiente
es de todos

Minambiente



En tal sentido, la identificación multiescalar de sectores con aptitud para la creación de corredores de conectividad o aquellos intensamente afectados por uno o más motores de fragmentación, será útil para la priorización de actividades en el marco de iniciativas de conservación en marcha (Tabla 2.6). Lo anterior, siendo posible identificar desde sectores generales hasta predios específicos a intervenir. Adicionalmente, los resultados de la implementación de la metodología serán útiles para la gestión de nuevas iniciativas y el diseño de estrategias o herramientas como lo pueden ser las políticas públicas (ambientales, sectoriales o territoriales) o los planes sectoriales, que busquen contrarrestar la actual dinámica de transformación del paisaje amazónico, mediante por ejemplo, la definición de la disposición espacial de los usos del suelo, la desarticulación de motores de fragmentación, la resolución de conflictos socioambientales, la armonización de los usos del suelo con relación a espacios protegidos y otras áreas de interés ambiental, el mantenimiento o recuperación de su conectividad y de la prestación de servicios ecosistémicos.

Se debe destacar de la propuesta metodológica, que, al tener un enfoque espacialmente explícito, permite cuantificar y espacializar la mayoría de los resultados obtenidos, a diferencia de ejercicios previos realizados, particularmente en lo que se refiere a los análisis socioeconómicos. Además, los análisis planteados por ámbito son independientes, pero conceptual y metodológicamente comparables, lo que facilita su aplicación en diferentes escenarios y permite el análisis de los resultados obtenidos en términos de la escalabilidad de los procesos de fragmentación y conectividad. Lo anterior, significa una ventaja frente a perspectivas de análisis previas que por lo regular se desarrollan a una sólo escala. También se debe resaltar el hecho que los procedimientos propuestos incluyen todos los tipos de coberturas presentes en la región, en contraposición a la perspectiva más comúnmente adoptada de analizar únicamente las coberturas boscosas (deforestación), reconociendo la importancia ecológica de los diferentes componentes de los paisajes y su carácter sistémico.

En relación específica al análisis del proceso de fragmentación del paisaje, que, aunque relacionado, es más complejo que el enfoque regularmente usado que considera únicamente la pérdida de área de las coberturas, sin reconocer su subdivisión y la generación de patrones espaciales particulares. Además, la propuesta reconoce que el desarrollo de actividades productivas particulares, se ve determinado por el tipo de paisaje dominante del territorio. En tal sentido, concibe la región como un espacio heterogéneo, construyendo unidades espaciales de análisis como el resultado del cruce información relacionada con los tipos de paisajes fisiográficos presentes, el grado de fragmentación y el tipo de patrón espacial desarrollado en los diferentes tipos de coberturas bajo dicho proceso. Quizás uno de los elementos más innovadores dentro de la propuesta, es el uso de herramientas desarrolladas para la modelación de la distribución espacial de especies, en la identificación de variables asociadas a los procesos de fragmentación y la espacialización de los motores de fragmentación identificados.

En términos del análisis de la conectividad, es clave mencionar que el modelo de conceptual utilizado (Índice Espacial de Huella Humana –IEHH–), permite evaluar el fenómeno desde una perspectiva funcional, considerando requerimientos espaciales de las especies. Además, permite hacer una representación holística del territorio, incorporando tres dimensiones espaciales (Intensidad, Vulnerabilidad, Fragmentación), que relacionan factores antrópicos en la evaluación de la funcionalidad (conectividad) ecológica. De dicho modelo también se debe resaltar que es flexible en las variables a utilizar, siendo posible incorporar o retirar información de forma acorde con las dinámicas del territorio. Ahora, aunque se prefirió la opción del uso de variables simples, buscando que los resultados obtenidos permitieran focalizar las actividades de gestión del territorio para el mantenimiento de la conectividad, de considerarse necesario también se puede trabajar con variables compuestas (índices), que condensan el tipo de información requerida por los diferentes factores asociados al IEHH.



Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co





El ambiente
es de todos

Minambiente



Corazón de la
Amazonía

3. ÁREA DE ESTUDIO

Considerando la importancia de la conexión ecológica que la Amazonía tiene con regiones vecinas (Andina y Orinocense) para el mantenimiento de la función ecológica de dicho sistema y así la prestación de servicios ecosistémicos asociados, para la delimitación del alcance geográfico de los diferentes ámbitos de análisis se considera una zona que incluye ecosistemas correspondientes a las tres regiones naturales mencionadas, o por lo menos a sectores transicionales entre la Amazonía y los dos restantes. Esta corresponde al polígono de delimitación de la Amazonía colombiana definido por el Instituto Sinchi. Su límite nororiental se incluye una gran porción del área hidrográfica Orinocense y en el noroccidente la línea divisora de aguas, ecosistemas de carácter andino de la vertiente oriental de la cordillera oriental (Figura 3.1).

Así, el ámbito de análisis regional se corresponde con el polígono Sinchi, que cubre un total de 483.164 km², representando el 42,3 % del área continental nacional (23,3% del total de Colombia) y el 6.8% de toda la gran Amazonia. Incluye totalmente los departamentos de Amazonas, Caquetá, Guaviare, Guainía, Putumayo y Vaupés, y de manera parcial el Meta, Vichada, Nariño y Cauca. Para este ámbito, se propone utilizar y generar información cartográfica en escalas entre 1:500.000 y 1:100.000.

La selección de los sectores específicos de análisis en los ámbitos subregional y local, podrán guardar coherencia con los resultados del análisis de los ámbitos de mayor jerarquía espacial (regional y subregional, respectivamente). Sin embargo, los sectores de análisis en estos ámbitos de mayor detalle también podrán corresponder a cualquiera de los priorizados de acuerdo a la información generada por la aplicación de la metodología, así como por criterios institucionales, que reflejen las oportunidades o restricciones de su selección. A nivel "Subregional" se analizan sectores específicos dentro de la Amazonía, asociables a entidades como Departamentos, Municipio y/o subcuencas, analizando información de escala 1:25.000. Finalmente, se considera un ámbito "Local" correspondiente a veredas, predios y microcuencas asociadas a corredores de conectividad particulares, en el que se trabaja información con escalas entre 1:25.00 y 1:10.000. En este último caso, dado el detalle de la información a utilizar, se considera necesario la obtención de información mediante trabajo de campo.



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



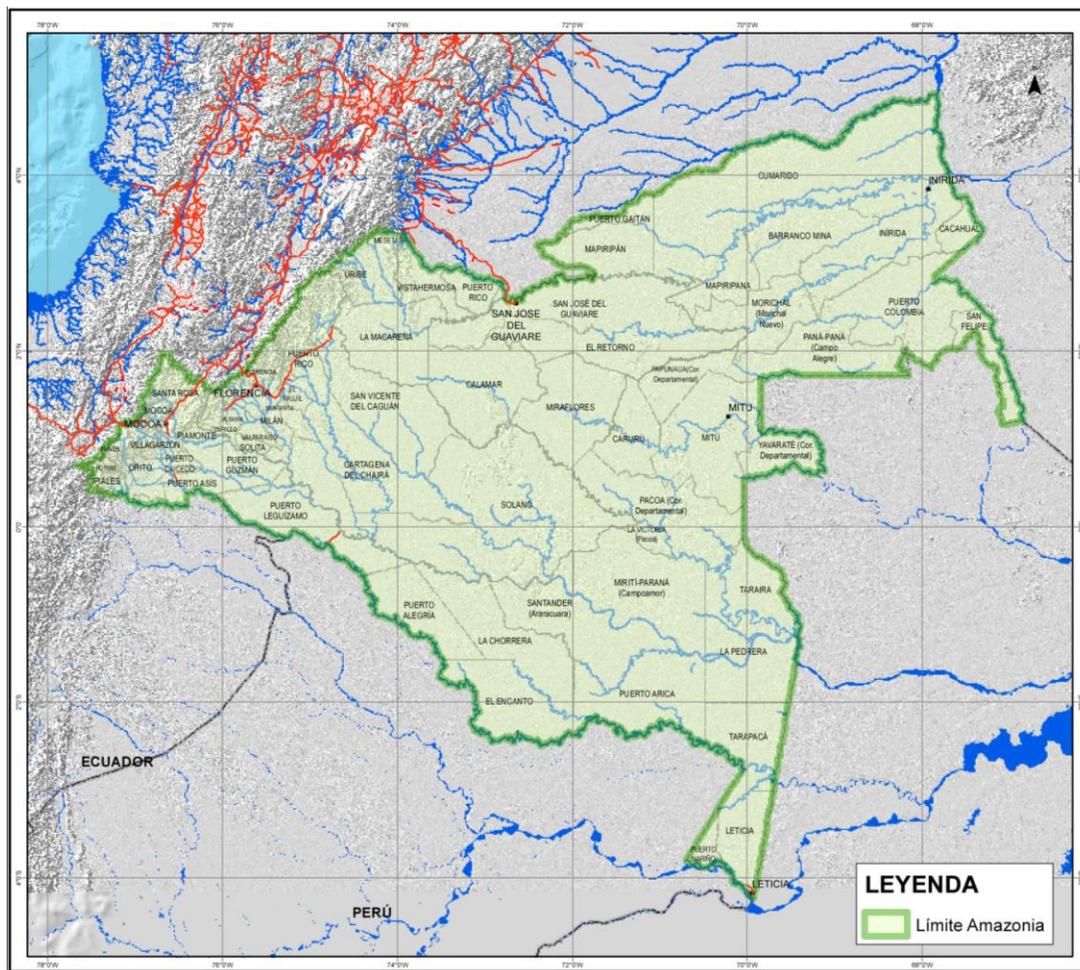


Figura 3.1. Área de estudio para el ámbito regional

4. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

4.1. MARCO CONCEPTUAL

4.1.1. Paisajes: Estructura, funcionamiento cambio

Diferentes autores se han dedicado a estudiar el medio ambiente desde una perspectiva espacial e integral en donde el principal objeto de estudio es el paisaje y sus relaciones con los diferentes componentes espaciales. Autores como Farina (2000), Etter (1991) y Zonneveld, (1986) entre otros han ayudado a estructurar y a esclarecer conceptos de la ecología del paisaje para ir formando así una teoría cada vez más compleja y coherente. Un paisaje es un espacio heterogéneo para alguna variable de interés (ej. coberturas), en el que se desarrollan flujos de materia y energía, involucrando agentes abióticos, bióticos y de origen antrópico (Farina 2010; Gutzwiller 2002; Turner et. al. 2001). El paisaje se considera como una entidad espacio - temporal integrada, cuya expresión morfológica y funcional se debe fundamentalmente a las relaciones que se dan entre sus componentes (Farina 2000, Zonneveld y Forman 1990).

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co

Para entender el paisaje como una entidad funcional es necesario considerar un enfoque sistémico, tratado por diferentes autores como Durand, Simon, y Ludwing Von Bertalanffy, este último el padre de la teoría general de sistemas, que se basa en el estudio de las relaciones entre los elementos. El paisaje representa una proyección geográfica del ecosistema, indicando que es un sistema abierto y heterogéneo, una entidad holística en la cual se aprecia la relación en el espacio heterogéneo y en el tiempo (Farina 2000, Zonneveld y Forman 1990).

Un paisaje está compuesto por diferentes tipos de elementos los cuales son el resultado de la interacción de factores formadores (abiótico, el biótico y antrópico). Dichos elementos pueden tener límites claros y abruptos, o de carácter transicional o gradual. Así, desde un punto de vista estructural, es común considerar el modelo “**Mosaico, Matriz – Parche - Corredor**”, para representar cualquier paisaje. Según este, el paisaje se compone de tres tipos de elementos diferenciados: 1) la **matriz** presente en mayor extensión y 2) los **parches** disgregados en múltiples focos al interior de dicha matriz y 3) los **corredores**, que son espacios lineales con características ambientales diferenciadas de la matriz y que permite el flujo de organismos entre parches. (Turner et al. 2001). Este modelo permite la representación de los paisajes, considerando aspectos como la localización, área y forma de sus componentes, y hace posible analizar los procesos que se dan entre la matriz y los diferentes tipos de parches, y la importancia de la proximidad y la adyacencia de estos elementos en estas dinámicas (Turner et al. 2001; Baum et al. 2004) (Figura 4.1).

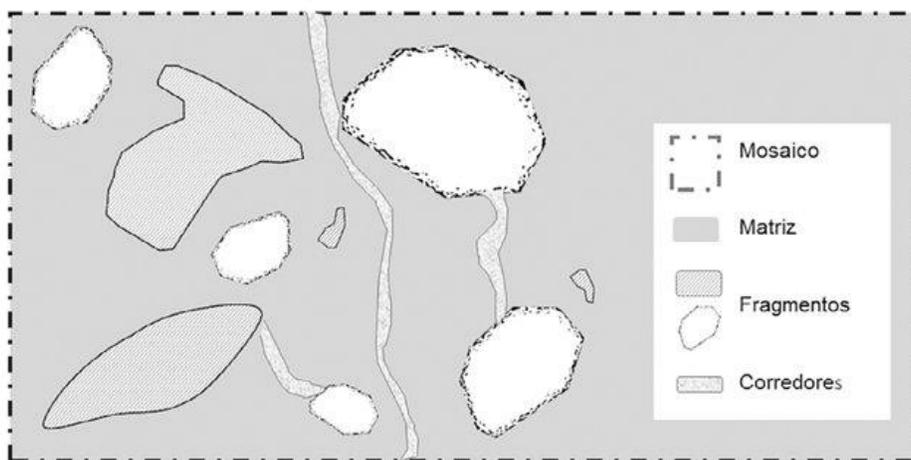


Figura 4.1. Esquema del modelo de paisaje “Mosaico: Matriz – Parche – Corredor”. Fuente: Armenteras & Vargas 2016

Matriz del Paisaje: es el elemento más extenso y el más interconectado, adquiriendo un papel dominante en el funcionamiento del paisaje, definiéndose este como el elemento que ocupa la mayor área relativa (Etter 1991). Para identificar una matriz dentro de un paisaje es necesario tener en cuenta:

- Extensión del área: la matriz debe ser el elemento más extenso.
- Grado de conectividad: la matriz es el elemento más conectado y menos fraccionado.
- Control de la dinámica del paisaje: la matriz ejerce un grado de control mayor que cualquier otro elemento sobre la dinámica de un paisaje.

Parches: Se define como una superficie no lineal de tamaño variable que difiere físicamente de sus alrededores, y que posee un grado de homogeneidad interno. Se pueden identificar 4 tipos de parches según su origen o sus elementos causantes (Etter 1991).

- **Parche de perturbación:** la perturbación de un área pequeña dentro de una matriz. Pueden ser de origen natural o cultural, y se diferencian si son de tipo eventual o crónico
- **Parche remanente:** resultan de la perturbación extensa de una matriz que deja una serie de islas no afectadas en su estado original. Generalmente no son representativas de su ecosistema original en su composición biológica.
- **Parche de recursos ambientales:** resultan de diferencias, generalmente debidas a las características y variaciones del sustrato en cuanto al material parental o la hidrología. Los ecotonos pueden ser abruptos o graduales.
- **Parche introducido:** están relacionados con la actividad humana, a través de la introducción de especies animales o vegetales durante las actividades agropecuarias o de urbanización.

Corredores: Consisten en franjas angosta y alargada de forma y dirección variable que atraviesan la matriz y difiere de ella. Su función es unir elementos dentro de una matriz geográfica, relacionadas con el flujo de materia, energía y especies a través del paisaje. Muestran condiciones físicas y de composición muy diferentes de la matriz circundante. (Etter 1991).

- **Corredores naturales:** están relacionados con redes de drenaje, con vías de migración animal, o con condiciones particulares del sustrato por diferentes litologías o hidrologías.
- **Corredores culturales:** determinados por aspectos relacionados a la infraestructura y a las actividades de transporte o límites de propiedad o áreas de manejo.

Los aspectos funcionales del paisaje se refieren a los tipos de interacción entre los factores formadores y los elementos del paisaje. Las unidades estructurales son a su vez unidades funcionales del paisaje, sistemas ecológicos de diferentes niveles jerárquicos. La función de una unidad de paisaje está relacionada con captar, asimilar, transformar, almacenar y transferir materia y energía. Como resultado de todas estas interacciones se generan los procesos ecológicos, aquellos propios de un paisaje, así como de fases de desarrollo ligadas a sus características estructurales. Se conocen distintos procesos ecológicos dependiendo de su origen: climáticos, geomorfológicos, hidrológicos, pedológicos, bióticos y culturales. El efecto de los procesos ecológicos es el de inducir flujos de materia y energía hacia y a través del paisaje. Los procesos pueden darse dentro de una unidad de paisaje como resultado de las relaciones entre los factores formadores, conocidas como topológicas, o bien entre unidades de paisaje diferente, conocidas como relaciones corológicas (Zonneveld 1979).

Desde otro punto de vista, los paisajes se componen en dos partes fundamentales: los que son visibles o fenosistema y los que no lo son o criptosistema. El criptosistema es el conjunto de características y procesos del paisaje que no son visibles o subyacen a su expresión fenotípica (Farina 2000, Etter 1991, Zonneveld y Forman 1990). El fenosistema corresponde a las características que agrupan todos los patrones visibles del paisaje. Las propiedades emergentes de un paisaje están implícitas en gran medida en las características fenotípicas. A su vez, el fenotipo está compuesto por un complejo de patrones que resultan de la interacción espacio temporal de los factores formadores (Farina 2000, Etter 1991, Zonneveld y Forman 1990). Para el análisis fenotípico es importante tomar en consideración de modo separado sus expresiones básicas: la

cobertura y la geoforma. Esto debido a que sus características intrínsecas, al igual que los aspectos dinámicos no se expresan de igual manera en la geoforma que en la cobertura. Las unidades de cobertura son más susceptibles a los procesos de cambio y representables a escalas más sutiles (Farina 2000, Etter 1991, Zonneveld y Forman 1990).

Los paisajes naturales están sometidos a transformaciones de distintas magnitudes espaciales y temporales. Por lo general, los procesos ligados a la transformación geomorfológica modifican el paisaje en escalas de tiempo prolongadas (Villota 1991), mientras que los procesos que modifican las coberturas pueden corresponder a factores de perturbación natural que actúan tanto rápida como lentamente o a perturbaciones de origen antrópico (Villota 1991, Burgui et al. 2004). En la modelación de la geoforma actúan procesos externos de degradación y acumulación. Los procesos degradacionales son aquellos que contribuyen al remodelado y reducción de los relieves iniciales. Estos procesos incluyen la meteorización de las rocas, la remoción en masa y la erosión. Los procesos de agradación son aquellos que comprende el conjunto de procesos geomorfológicos determinados por fuerzas de desplazamiento como el agua de escorrentía, los glaciares, las corrientes de deriva litoral, las mareas y el viento. Según el agente de transporte existen distintas denominaciones de los procesos geomorfológicos, entre ellos la sedimentación coluvial, la cual genera acumulación de materiales heterogéneos, como partículas y fragmentos del suelo de tamaño variable depositados sobre base de laderas de montañas, colinas o escarpes. La sedimentación diluvial se da por flujos de lodo y la sedimentación aluvial en donde el agua es el principal agente geomorfológico; ésta es impulsada por la gravedad en forma de corrientes fluviales, sirviendo como transporte y depósito de diferentes materiales (Villota 1991). A su vez, los procesos geomorfológicos son factores determinantes en el uso del suelo. En zonas donde la geomorfología es abrupta o susceptible a inundaciones prolongadas el uso tiende a ser limitado y suelen conservar remanentes de bosque natural u otro tipo de coberturas naturales originales (Schelhas 1996, Etter y Villa 2001, Mendoza y Etter 2002).

4.1.2. Fragmentación

Las actividades extractivas, la expansión de la frontera agrícola, el desarrollo urbano y el desarrollo de obras civiles, entre otras actividades, transforman y fragmentan el paisaje en distintas magnitudes y escalas y son los agentes que moldean el territorio, que dejan como resultado una configuración espacial del paisaje, cuyo entendimiento debe ser fundamental para generar pautas para su planificación y manejo. La transformación, fragmentación y cambio constante de los ecosistemas tropicales es la principal amenaza para la biodiversidad a escala global (Laurance & Bierregaard 1997, Renjifo 2001, Kattan & Murcia 2003). Estudios palinológicos en diversas regiones de Suramérica indican que el ser humano ha sido un agente de transformación del paisaje tropical desde épocas muy antiguas (García-Montiel 2002).

La fragmentación y la pérdida del hábitat son por donde inicia gran parte del daño ambiental y por tanto, constituye la peor amenaza en lo que se refiere a la pérdida de biodiversidad y los recursos bióticos (Badii y Ruvalcaba, 2006, Badii y Abreu, 2006). Como consecuencia de la fragmentación, un hábitat se fractura y se divide en varios fragmentos o islas y la capacidad productiva de estas islas en comparación con la del hábitat original, se disminuye (Badii et al, 1999).

La transformación del paisaje y los cambios en las coberturas vegetales en el tiempo cobran gran importancia pues, en poco más de una década, la fragmentación se ha convertido en un problema ambiental de proporciones mundiales (Forman 1995). La fragmentación es provocada por disturbios que resultan en la reducción y aislamiento de áreas de hábitat natural a nivel de paisaje (Carmo, 2000). Las profundas transformaciones acontecidas durante los últimos siglos han configurado un paisaje en donde los remanentes de hábitats de interés natural son cada vez más escasos y dispersos, encontrándose insertos en una matriz de

espacios más o menos explotada por el hombre, el cual, ha acelerado de manera exponencial los procesos de fragmentación de los hábitats naturales y seminaturales durante el último siglo, con especial incidencia en los países industrializados y densamente poblados (Gurrutxaga, 2004).

En este contexto podemos entender la fragmentación de los hábitats como el proceso en que extensas áreas de vegetación ven reducida su superficie al dividirse en varias manchas más pequeñas por la acción de un agente externo (Turner et. al. 2001). Según Volgemann (1995), la fragmentación puede ser también considerada como el proceso de “cortar profundamente áreas grandes y contiguas de tipos similares de vegetación nativa en numerosos segmentos menores separados por tipos de vegetación relacionados con la actividad. Otras definiciones de la fragmentación son las siguientes:

- La fragmentación de hábitat es un proceso dinámico que genera cambios notables en el patrón del hábitat en un paisaje dado en el curso del tiempo.
- Fragmentación de hábitat pueden definirse genéricamente como la división de una o varias manchas de hábitat original en una serie de fragmentos que suman una superficie total menor a la inicial.
- Un proceso de fragmentación ecosistémica tiene como resultado un paisaje compuesto por relictos de la(s) cobertura(s) vegetales originales, rodeados de una matriz agrícola o de otro tipo de intervención.

La fragmentación se traduce en el creciente reducimiento y aislamiento de los espacios de hábitat y poblaciones silvestres asociadas a éstos, la magnitud de esta pérdida de conectividad depende de varios factores, como la especie considerada, las características y la disposición en el paisaje de los fragmentos de hábitat, y las características de los espacios que separan dichos fragmentos son algunos de ellos. La sensibilidad de los organismos a la fragmentación de su ambiente no depende solo de su grado de especialización del hábitat, sino también de la capacidad de dispersión de la especie en cuestión. Ésta determina, la igualdad de condiciones de distribución del hábitat y de usos del suelo en el paisaje, la probabilidad de conservar el intercambio genético entre poblaciones que habitan parches distantes o de colonizar nuevos territorios, factores considerados decisivos para la persistencia de las especies especialistas en paisajes fragmentados.

Los análisis sobre la fragmentación de los hábitats en función de las especies animales y vegetales son una tarea extremadamente compleja, pudiéndose hacer una estimación más sencilla a partir de los usos del suelo. Desde esta perspectiva es menos dificultoso diseñar indicadores ambientales que sirvan para evaluar las consecuencias que las actividades económicas tienen sobre la biodiversidad. La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) ha desarrollado un sistema de indicadores de biodiversidad que recoge, entre otras, sus inquietudes por la fragmentación que las vías de transporte generan en los hábitats. El índice de fragmentación que ha sido empleado por la AEMA fue elaborado por Steenmans y Pinborg (2000), el cual establece una relación entre paisaje y biodiversidad basándose en los usos del suelo y examinando el grado de conectividad tanto de los espacios naturales como de los seminaturales.

La fragmentación de hábitats es un proceso dinámico que genera cambios notables en el patrón del hábitat en un paisaje dado. El término fragmentación, describe cambios que se producen cuando grandes espacios de vegetación se eliminan por completo, dejando numerosos fragmentos o parches más pequeños separados unos de otros. El proceso de fragmentación tiene tres componentes reconocibles (Bennett, 1998):

- Una pérdida general de hábitat en el paisaje (pérdida de hábitat).
- Disminución en el tamaño de los segmentos de hábitat que subsisten después de la subdivisión y clareo (reducción de hábitat).

- Mayor aislamiento de hábitats a medida que nuevas utilidades de la tierra ocupan el ambiente intermedio (aislamiento de hábitat).

La dinámica de la fragmentación se evidencia cuando se disponen de una serie de indicadores o patrones de paisaje en intervalos sucesivos (Webb y Haskins 1980). Los cambios en patrones de paisaje que se generan con la fragmentación se pueden identificar y describir fácilmente midiendo distintos atributos, como el área total del hábitat natural remanente, la distribución tamaño-frecuencia de los fragmentos, las formas de los fragmentos, la distancia media entre fragmentos y el nivel de contraste entre hábitats y utilidades de tierras adyacentes.

Existen una extensa cantidad de métricas para cuantificar los patrones espaciales y configuración del paisaje, y aunque programas como FRAGSTATS (McGarigal y Marks, 1995, McGarigal et al., 2002) las calculan de manera rápida, la comprensión de dichas métricas es indispensable para su correcta utilización y análisis (Gergel y Turner, 2002) (Figura 4.2).

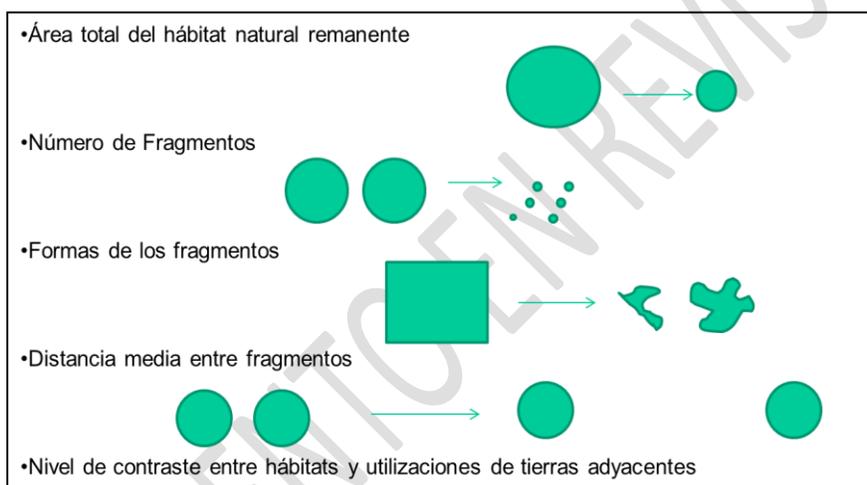


Figura 4.2. Principales patrones del paisaje para medir fragmentación

De acuerdo a lo anterior, existen algunos aspectos a tener en cuenta en escenarios de fragmentación del paisaje:

Tamaño y número de los fragmentos:

- Entre menor el tamaño del fragmento mayor es la influencia de la matriz circundante.
- Entre mayor el fragmento mayor la probabilidad de encontrar hábitats diversos en él.
- Un número mayor de fragmentos puede tener una mayor diversidad de hábitats que uno grande.
- Entre mayor el tamaño del fragmento mayor el tamaño de las poblaciones que puede sustentar.

Formas de los fragmentos: La forma de los fragmentos empiezan a tener relevancia a partir de cierto tamaño (especialmente para fragmentos pequeños)

Posición de los fragmentos en el terreno: Tiene impacto sobre la característica intrínseca misma del estado inicial, afecta los procesos posteriores a los eventos de la fragmentación dependiendo de su función como fuente o receptor.

Conectividad/Grado de aislamiento de los fragmentos: La viabilidad y los servicios ambientales que puede proveer un fragmento dependen no solo de su tamaño y forma, sino en gran medida de su conexión con otros fragmentos para conformar una red.

El manejo de ecosistemas fragmentados requiere que se tengan en cuenta dos aspectos:

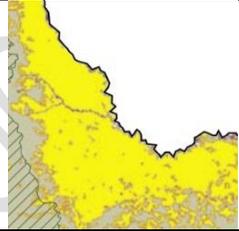
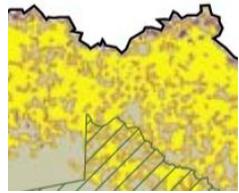
- Manejo del sistema biofísico natural (dinámica interna de los fragmentos).
- Manejo de las influencias externas (dinámica del uso de las áreas circundantes).

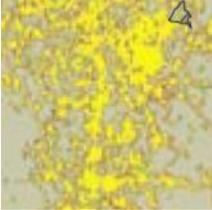
4.1.3. Caracterización de los procesos de fragmentación

La caracterización del proceso de fragmentación debe incluir la descripción de los patrones espaciales de las coberturas de la tierra resultantes de su transformación. El patrón de fragmentación es la expresión de la forma como el agente, mediante la actividad que desarrolla en el paisaje, apropia el territorio para su beneficio. El patrón espacial de fragmentación se presenta de manera diferenciada según el paisaje en el que se encuentra este fenómeno; para la región amazónica, este patrón difiere según se trate de las montañas y piedemontes, los lomeríos y las planicies de inundación.

Se diferencian cuatro patrones espaciales y temporales de fragmentación del paisaje: perforación, subdivisión, contracción (pérdida en tamaño y calidad) y desgaste (reducción, pérdida de resistencia) o proceso gradual de deterioro (Zhang, Liu, & Xiaojiang, 2017). La perforación se presenta en las primeras fases de cambio del paisaje, mientras que la segunda y tercera se presentan en las fases intermedias del cambio del paisaje, y la cuarta ya se da en los parches aislados. Por su parte, Arima y colaboradores (2008) identifican cinco patrones de fragmentación en la Amazonia brasilera: geométrico, corredor, espina de pescado, difuso, parches e islas. Estos patrones son descritos en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Principales características de los patrones de fragmentación

TIPO DE PATRÓN	ASPECTO ESPACIAL	CARACTERÍSTICAS
Geométrico		Se refiere a grandes áreas continuas, usualmente asociadas a agricultura y ganadería, por lo regular tienen buena accesibilidad y tienen una alta intervención. Ya identificado este patrón espacial, no se tiene en cuenta en la identificación de los demás patrones.
Parche		Son grandes áreas aisladas, a manera de pequeños "bolsillos" o reservas de ecosistemas naturales, rodeados por usos del suelo introducidos para el desarrollo de actividades agropecuarias. Están poco conectados en el paisaje, sin embargo, los parches no están muy dispersos entre sí. Presentan media a baja accesibilidad y están asociados a áreas de media intervención antrópica.

TIPO DE PATRÓN	ASPECTO ESPACIAL	CARACTERÍSTICAS
Isla		Áreas de abiertas, de tamaño medio a pequeño, de formas regulares, que se encuentran dispersas y muy alejadas de las áreas de media y alta intervención, con muy baja accesibilidad, que están rodeadas por ecosistemas naturales. Por lo regular están asociados a explotación de recursos naturales (ej. extracción de madera) o a cultivos de uso ilícito.
Espina de pescado		Se refiere a la presencia de áreas en las que se ha ido reemplazando el ecosistema natural por usos agropecuarios, en pequeñas y medianas propiedades (en sus primeras fases) asociadas al patrón de corredor, generado por ejes viales de transporte, desde los cuales se desprenden ejes secundarios, que se desarrollan de forma escalonada. Presentan forma continua.
Corredor		Sigue un patrón de apertura del paisaje natural con el objetivo de avanzar desde un punto base, hacia el interior con un propósito específico; también se presenta cuando se pretende conectar dos puntos en el paisaje, por lo que presenta forma alargada y está rodeado de ecosistemas naturales. Los abiertos están orientados a actividades agropecuarias de sustento básico, en zonas de baja intervención, que se van ampliando en la medida en que el proceso de ocupación va creciendo.
Difuso		Corresponde a pequeños abiertos discontinuos, insertos en ecosistemas naturales, no muy alejados unos de otros, donde predomina el ecosistema natural, con media y baja accesibilidad y una intervención media. Las actividades allí desarrolladas se orientan a la producción básica de sustento y a la apropiación del territorio para futuros usos. Estas zonas comprenden el saldo de los polígonos sin clasificar

Fuente: Sinchi 2016

4.1.4. Principios Generales Emergentes de los Paisajes

Principio de Estructura y Función: La heterogeneidad espacial o la fragmentación tienden a hacer disminuir la abundancia de especies raras de interior, a tiempo que incrementa la abundancia de especies de borde.

Principio de la Diversidad Biológica: La expansión y la contracción de la distribución de especies entre elementos de paisaje diferentes, está controlada por la heterogeneidad (diversidad) del paisaje.

Principio del flujo de las especies: La tasa (o rata) de redistribución de nutrientes minerales entre diferentes elementos del paisaje se incrementa con el nivel de perturbación en esos elementos.

Principio del flujo energético: Los flujos de energía calórica y de biomasa a través de los límites de los elementos de paisaje (parches, corredores, matriz) se incrementan con el aumento en la heterogeneidad del paisaje.



El ambiente es de todos

Minambiente



Principio de cambio del paisaje: En ausencia de perturbaciones, la estructura del paisaje tiende a homogenizarse. Perturbaciones moderadas aumentan rápidamente la heterogeneidad, mientras que perturbaciones severas pueden incrementar o disminuir la heterogeneidad.

Principio de la estabilidad de un paisaje: La estabilidad (o capacidad de control homeostático resiliencia) de un paisaje es alta en tres condiciones:

- Por estabilidad física del sistema (paisajes caracterizados por ausencia de biomasa, ej. Desierto)
- Por una rápida capacidad de recuperación de las perturbaciones (paisajes con presencia de baja cantidad de biomasa, rej. comunidades herbáceas)
- Por una mayor resistencia a las perturbaciones (paisajes generalmente con alta presencia de biomasa, ej. comunidades forestales)

4.1.5. Agrosistemas y sociedad

La tradición campesina e indígena ha formado sus principios con base en una visión holística del mundo, es así que la agricultura forma parte de esto y esta a su vez está formada por una variedad de interacciones sociales, culturales y biológicas donde prevalece la integralidad y sostenibilidad del ecosistema (Altieri 1997). Tradicionalmente la agricultura nativa buscaba regular la producción en función de las necesidades de la población, en donde la prioridad de esta agricultura autosuficiente es la no espacialización pero si las satisfacciones de las necesidades básicas familiares, a lo que se le llama hoy en día producción doméstica familiar (Altieri 1997). Debido a que los agricultores tienen un conocimiento profundo de la biodiversidad y sus interacciones, su conocimiento del medio ambiente debería ser integrado en prácticas agrícolas modernas para combinar el desarrollo rural y la conservación (Altieri 1997).

Integrar las prácticas agrícolas tradicionales es un proceso que tiene que ser realizado con mucha prudencia, ya que existe una diversidad cultural y ecosistémica que hace de cada región un espacio único y específico. Sin embargo, no hay que olvidar que a gran escala habitamos un planeta que funciona gracias a un gran número de interacciones y sinergismos que lo hacen comportarse como un todo (Altieri 1997).

Los agroecosistemas locales (ecosistemas transformados en mayor o menor medida por el desarrollo de actividades productivas de carácter agrícola o pecuario), pueden ser afectados por cambios en los mercados nacionales e internacionales. Igualmente, cambios climáticos globales pueden afectar ecosistemas locales a través de sequías e inundaciones. Los problemas productivos de cada agroecosistema son altamente específicos y particulares del sitio y requieren soluciones específicas (Altieri 1997).

Para llegar a un óptimo ecológico es necesario incluir la preservación de la diversidad cultural de cada región o localidad, en donde el contexto de la organización social asegure y proteja la integridad y las interacciones de los seres humanos con el medio ambiente y el agroecosistema (Altieri 1997).

Las transformaciones de los ecosistemas y la alteración y disminución de los recursos naturales es una consecuencia directa de las distintas actividades humanas, que se están dando desde épocas muy antiguas, pero que hasta la actualidad se le está tratando de dar su debida importancia (Vitousek et al., 2007). El crecimiento de la población mundial y el acelerado avance tecnológico han traído como consecuencia una modificación drástica de la naturaleza, debido a la generación de distintas labores humanas tales como agricultura, industria, pesca, y comercio internacional. Estas empresas o labores transforman la superficie de la tierra (con el cultivo, la silvicultura, y la urbanización), alteran los ciclos biogeoquímicos, y agregan o extraen especies de distintas poblaciones genéticas en la mayor parte de los ecosistemas de la tierra. Muchos de



Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



estos cambios son substanciales y se encuentran actualmente en curso. Estos cambios relativamente bien documentados también traen otras alteraciones en los funcionamientos del sistema de la tierra, especialmente conduciendo al cambio climático global y causando pérdidas irreversibles en la diversidad biológica (Foley et al. 2005, Vitousek et al. 2007).

La deforestación de los bosques tropicales se considera como un factor importante en el cambio global, es un asunto que ha recibido atención considerable en los últimos tiempos. La deforestación tiene una influencia negativa en los sistemas hidrológicos regionales, en ciertos aspectos del clima, en los ciclos biogeoquímicos globales y en la pérdida de biodiversidad (Fontan 1994).

4.1.6. Sistemas de interacción antrópica

Los sistemas de interacción antrópica se relacionan con unidades espaciales funcionales socioeconómicas. Pueden incluir varias unidades ecológicas a la vez. Muy pocas veces son homogéneas en términos de su composición espacial y reúnen varias proporciones de territorio que conforman un sistema de uso; parches de diferente tipo, parches de vegetación natural o seminatural (Etter y Villa 2001).

- **Sistemas de producción:** unidad espacio temporal del sector primario, asimilable a el concepto finca que se basa en el manejo de ecosistemas naturales y transformados que funciona bajo una lógica socioeconómica de los recursos biofísicos y humanos, se maneja territorio rural, con límites espaciales bien definidos, la actividad principal es el tipo de sistema agropecuario (Etter y Villa 2001).
- **Sistema de extracción:** unidad que funciona bajo una lógica socioeconómica de los recursos biofísicos y humanos y maneja una proporción de territorio rural, con límites espaciales bien definidos, su componente principal son los ecosistemas silvestres y manejados (Etter y Villa 2001).
- **Sistema de asentamiento:** unidad de análisis que funciona bajo una lógica socioeconómica de habitación y generación de servicios, acopio, transformación y comercialización de recursos. Límites espaciales bien definidos, su componente principal son los ecosistemas urbanos, con transiciones a veces graduales hacia paisajes suburbanos y abruptos hacia paisajes cultivados y manejados (Etter y Villa 2001).

4.2. OBJETIVO GENERAL

Identificar y caracterizar los patrones de fragmentación y las variables asociadas a este proceso en las diferentes áreas de estudio definidas.

4.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

La metodología para los análisis de fragmentación incluye la descripción de los patrones de fragmentación al interior de la Amazonia, para que posteriormente sea posible identificar los motores que generan estos procesos. Además, contempla una articulación conceptual con los análisis posteriores de conectividad ecológica. Una vez delimitadas las áreas de estudio en cualquiera de los tres ámbitos de análisis (regional, subregional y local), se identifican variables particulares, normalmente asociadas a procesos de transformación de coberturas en el contexto amazónico, que además podrían relacionarse específicamente a procesos de fragmentación. La selección de variables que pueden estar influyendo en los procesos de fragmentación, podrá variar de acuerdo a los cambios en el tipo de actividades que se desarrollan a lo largo y ancho de la Amazonía o en su defecto, dependiendo de la disponibilidad de la cartografía referida a ese tipo de actividades.



El ambiente
es de todos

Minambiente



Los procedimientos específicos que se describen, están orientados para los tres ámbitos, no obstante, en los pasos metodológicos pertinentes se mencionan las especificidades para la escala subregional y al final de cada procedimiento se describen las consideraciones metodológicas, que se deben tener en cuenta para aplicar la metodología en un ámbito local.

Para el análisis de los procesos de fragmentación, se parte de la producción de un índice de fragmentación, el cual es clasificado en tres niveles (alto, medio y bajo). Considerando que el tipo usos de la tierra depende de las particularidades ambientales, el índice de fragmentación generado es diferenciado (intersectado) según los grandes paisajes fisiográficos presentes en la Amazonía colombiana (Figura 4.3). Este último punto debe variar según el ámbito o escala de trabajo empleada, pues a una escala regional, las unidades fisiográficas pueden ser la mejor unidad, mientras que para una escala subregional pueden ser las unidades de geoforma.

Para las unidades de análisis preliminares resultantes, se realiza un análisis estructural del paisaje, determinando el o los tipos de patrones espaciales típicos de la vegetación, lo que resulta en la delimitación de unidades finales de análisis. En resumen, dichas unidades espaciales de análisis biofísico se definen de acuerdo al grado de fragmentación, la fisiografía y el patrón espacial de las coberturas, permitiendo describir de manera detallada el comportamiento de los procesos de fragmentación en el paisaje amazónico colombiano, o cualquier otro ambiente en el que se quisiera aplicar la metodología propuesta.

Para cada tipo de unidad espacial definida (fisiografía-grado de fragmentación-patrón) se hacen un análisis de asociación de la variación de los valores del índice de fragmentación y los de variables asociadas a la transformación de las coberturas, siendo posible identificar cuáles de ellas se asocian a la fragmentación en cada caso. Las variables seleccionadas responden principalmente a dos dimensiones del uso de la tierra, las cuales hacen referencia a la intensidad del uso de la tierra y a la vulnerabilidad biofísica. Dichas variables, además de resumir las diferentes causas de la fragmentación del paisaje, articulan muy bien con los análisis posteriores de conectividad. Será posible considerar nuevas variables a través de la caracterización de las formas de uso del territorio, y la identificación de tipos específicos de coberturas asociadas a cada tipo de unidad de análisis.



Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



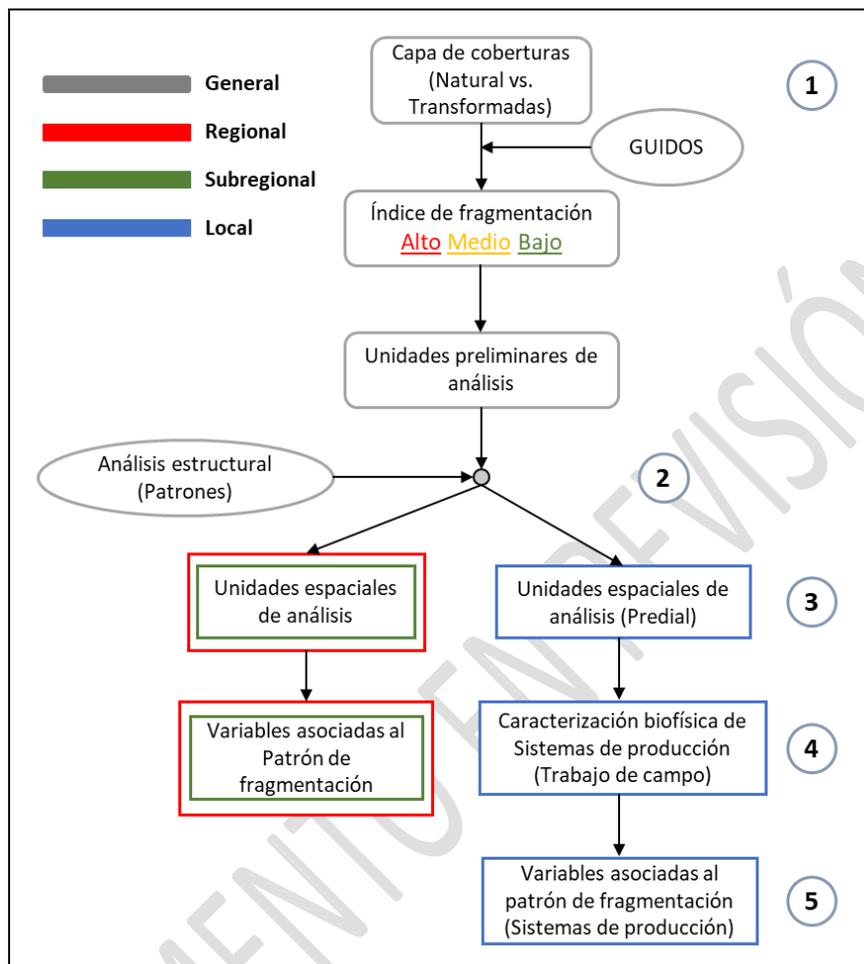


Figura 4.3. Identificación y caracterización biofísica del proceso de fragmentación.

4.4. ÁMBITO REGIONAL

4.4.1. Objetivos específicos

- Identificar los procesos de fragmentación de las coberturas naturales en la región.
- Caracterizar los procesos de fragmentación desde los patrones espaciales de las coberturas
- Identificar y caracterizar variables asociadas a procesos de fragmentación.

4.4.2. Metodología¹

4.4.2.1. Índice general de fragmentación

El índice de fragmentación se calcula utilizando información espacial de coberturas de la tierra, diferenciando las coberturas naturales y las transformadas, la cual es procesada con el software GUIDOS (Vogt & Riitters, 2017; Soille & Vogt, 2008). Específicamente se utiliza el índice de fragmentación fundamentado en el concepto de entropía, entendiendo esta como un grado de desorden (heterogeneidad) en la distribución de píxeles (ej. vegetación transformada), que se asocia al grado de fragmentación (Vogt 2015). En tal sentido a mayor grado de entropía mayor grado de fragmentación de un área, lo que espacialmente se asemejaría a un tablero de ajedrez (Vogt 2015).

A partir del cálculo del índice se obtiene un mapa continuo con valores de 1 a 100, en donde los valores más altos indican una mayor fragmentación y los más bajos una menor. Este mapa es clasificado en tres categorías de resistencia: Bajo (0-33), Medio (34-66) y alto (67-100) (Tabla 4.2).

- **Insumos de información cartográfica**
 - Polígono delimitación del ámbito de análisis.
 - Mapa de coberturas de la tierra.
- **Procedimientos generales**
 - Clasificación de coberturas en natural y transformado
 - Cálculo del índice de fragmentación (GUIDOS)
 - Generación de un mapa de fragmentación por rangos establecidos (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Clasificación valores de fragmentación

TIPO	ÍNDICE DE FRAGMENTACIÓN		
	VALOR CONTINUO ORIGINAL	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Fragmentación (natural vs transformado)	67-33	Alta	5
	34-66	Media	3
	0-33	Baja	1

4.4.2.2. Delimitación de las unidades preliminares de análisis

Antes de obtener las unidades finales de análisis, las cuales corresponden al cruce espacial entre fisiografía, grado de fragmentación y patrón de fragmentación; y con el fin de tener una descripción del proceso de fragmentación que considere la heterogeneidad espacial de las condiciones de la región amazónica, es importante realizar los análisis por cada una de las unidades fisiográficas presentes, pues las distintas formas de intervención humana y sistemas productivos desarrollados dependen de las características biofísicas predominantes en cada lugar.

¹ La descripción de los procedimientos que se presentan en esta sección son de carácter general. Para conocer el detalle del paso a paso seguido para el desarrollo de la metodología se deberá hacer uso del documento de protocolos metodológicos, desarrollado como documento anexo a la implementación de la metodología en la escala regional (Sinchi 2018). El paso a paso para los ámbitos subregional y local, se deberán desarrollar en el futuro, y como parte de los procesos de validación de la metodología propuesta para dichas escalas.

- **Insumos de información cartográfica**
 - Polígono delimitación del ámbito de estudio.
 - Índice de fragmentación categorizado (1,3,5)
 - Capa unidades fisiográficas (gran paisaje) Amazonía.
- **Procedimientos generales**
 - Recorte de capas insumos al límite del área de estudio correspondiente.
 - Cruce de capas: Fragmentación, Fisiografía.

4.4.2.3. Caracterización estructural de paisajes fragmentados (Patrones)

Elaborado el mapa de fragmentación por rangos, considerando las diferentes unidades fisiográficas, se hará una descripción de cada uno de estos sectores con el propósito de conocer los patrones espaciales que caracterizan cada tipo de unidad preliminar y generando las unidades finales de análisis. Para esto se hace una descripción estructural del paisaje, teniendo en cuenta distintos atributos del paisaje, los cuales se puede leer a través de diferentes indicadores espaciales o métricas espaciales (Tabla 4.3).

Tabla 4.3. Indicadores espaciales para caracterización de fragmentación

	ATRIBUTOS ECOLÓGICOS	DEFINICIÓN	INDICADORES
Análisis de patrones del paisaje (estructura del paisaje)	Heterogeneidad	Complejidad de arreglos espaciales en términos de su riqueza y dominancia	Número de unidades espaciales naturales
			Extensión de unidades espaciales naturales
	Configuración espacial	Forma como se disponen en un área las unidades espaciales y por ende da forma básica a conocer sobre el efecto que tienen los procesos naturales o antrópicos que les afecta	Área (ha)
			Perímetro (m)
			Número de parches
			Área núcleo (ha)
	Continuidad	Conexiones físicas existentes entre unidades espaciales similares o complementarias	Forma
			Distancia euclidiana (m)
			Proximidad
			Continuidad altitudinal (m)

Con los resultados de cada métrica se estima un índice que ayuda a precisar qué tipo de patrón espacial de fragmentación es el que se ha desarrollado en cada unidad predefinida. El índice se calcula a partir de la sumatoria de las métricas que indican parches más grandes, más cohesionados y con mayor área núcleo, diferenciando las métricas que indican mayor número de fragmentos, más irregulares y más o menos distanciados entre ellos.

$$\text{Índice} = \frac{\% + \text{área núcleo} + \text{cohesión}}{\# \text{ de parches} + \text{circle} + \text{distancias}} \times 100$$

Los valores más altos se relacionan con aquellas áreas con menor grado de fragmentación, mientras que los más bajos indican espacios bastante fragmentados, con relictos de coberturas naturales. Los patrones de fragmentación de tipo geométrico, parche y espina de pescado, se asocian a valores bajos, mientras que los patrones difuso, corredor e isla, se asocian a valores del índice más altos para las coberturas naturales.

- **Insumos de información cartográfica**

- Polígono delimitación del ámbito de análisis
- Mapa de coberturas de la tierra.
- Capa de índice de fragmentación x unidad fisiográfica

- **Procedimientos generales**

- Intersección de capa del índice general de patrón de fragmentación por unidad fisiográfica con mapa de coberturas de la tierra.
- Cálculo de métricas del paisaje, sobre la capa de cobertura, por categoría de fragmentación (ArcGis-Fragstast).

4.4.2.4. Variables asociadas a la fragmentación

Para las unidades finales de análisis, resultado final del paso anterior, se hace la asociación espacial con las hipotéticas causas de la fragmentación. En este sentido, se obtendrá con mayor certeza y de manera más detallada, cuales son realmente aquellas variables que explican estos procesos.

A nivel regional la información secundaria puede ser una de las principales fuentes para la identificación de las causas directas y subyacentes de la fragmentación. Geist y Lambin (2002a) identifican cuatro grupos de causas directas: expansión agrícola, extracción de madera, extensión de la infraestructura y otros factores. Dentro de los factores biofísicos se han considerado variables como el clima, los suelos, la litología, la topografía, el relieve, la hidrología, los incendios y la vegetación, que presentan una variación espacio-temporal (Lambin y Geist, 2006a).

En este sentido se plantea la hipótesis de que las causas biofísicas directas y subyacentes de la fragmentación pueden estar relacionadas a factores de suelos, litología, la topografía, el relieve, la hidrología, los incendios y la vegetación, las cuales se pueden sintetizar en variables específicas (Tabla 4.4). Desde el punto de vista socio-económico se plantea la hipótesis de que las principales causas que pueden estar relacionadas con la fragmentación son las vías de acceso, los asentamientos humanos, la gobernabilidad, la densidad poblacional y el uso del suelo, que también se pueden sintetizar en variables particulares (Tabla 4.4). Cada una de estas variables, independientemente de su origen (natural o antrópico) tienen efectos sobre la estructura del paisaje y los patrones que en él se expresen, siendo posibles de evaluar en diferentes periodos del tiempo.

Tabla 4.4. Variables biofísicas y socioeconómicas para identificar causas de fragmentación

TIPO DE CRITERIO	VARIABLE
Criterios biofísicos	Pendiente (%)
	Coberturas de la tierra
	Distancia a explotación recursos no renovables
	Distancia a centros poblados

TIPO DE CRITERIO	VARIABLE
Criterios socio-económicos	Distancia a vías
	Uso del suelo

Para la caracterización espacial de las variables asociadas a la fragmentación, es necesario espacializar cada una de estas, de tal manera que armonicen con todos los requerimientos cartográficos definidos para la escala de trabajo, para el caso del ámbito regional la escala más adecuada es 1:100.00. Pues uno de los análisis principales que contiene la caracterización de estos procesos, es la asociación espacial que existe entre las unidades de análisis para la fragmentación y las variables que los definen. Las variables se pueden agrupar en dos grandes categorías, unas relacionadas a factores biofísicos y otras a factores socio-económicos. A su vez, algunas de estas corresponden a variables continuas y otras a variables categóricas. En este sentido, para la pendiente, por ejemplo, el factor de medida está dado por porcentaje y para la distancia a vías por la categoría de distancia asignado, mientras que, para la vocación del suelo, las unidades son las definidas en el mapa de suelos del IGAC.

Para cada una de las variables se genera un mapa tipo raster, según las unidades de medidas intrínsecas de cada variable. Todo este grupo de variables, entran dentro del modelo como aquellos factores explicativos para modelar espacialmente la distribución de cada unidad. A continuación, se describe los pasos metodológicos para la espacialización de cada variable definida.

4.4.2.4.1. Pendiente

Esta variable es utilizada dado que la pendiente del terreno se asocia con su fragilidad en términos de estabilidad y así con el mantenimiento de coberturas naturales y con la conectividad ecológica. Además, terrenos escarpados, se convierten en una barrera física que impide el flujo de organismos.

La pendiente del terreno, calculada en términos de porcentaje, se estima a partir del procesamiento información topográfica, que para el caso del ámbito regional es posible de obtener de Modelos Digitales de Elevación con resoluciones acordes con las escalas de trabajo propuestas, en este caso 1:100.000. Para este ámbito se propone el uso de un modelo con un tamaño de pixel de 30 m.

Los valores de la matriz de pendiente (matriz de resistencia), son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: pendiente baja, pendiente media y pendiente pronunciada, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 4.5). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos².

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación del área de estudio
- Modelo de Elevación

- **Procedimientos generales:**

² El esquema de clasificación de intervalos geométricos crea rupturas de clase basadas en los intervalos de clase que tienen una serie geométrica. Con esto se garantiza que cada rango de clase tenga aproximadamente el mismo número de valores en cada clase y que el cambio entre intervalos sea bastante coherente.

- Corte DEM a la zona de estudio
- Cálculo de los valores de porcentaje de pendiente
- Categorización de los valores de pendiente

Tabla 4.5. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo a la pendiente del terreno:

PENDIENTE	RESISTENCIA		
	Rango Valores	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Baja	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1
Media	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Pronunciada	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5

4.4.2.4.2. Tipo de cobertura de la tierra

Su inclusión se considera fundamental dado que la evaluación de fragmentación se basa en el grado de la transformación de las coberturas naturales presentes en el área de estudio. Para el cálculo de la matriz correspondiente, se establecen valores de resistencia para cada una de las diferentes categorías de coberturas, los cuales se asocian al grado de conservación (coberturas naturales) o transformación (seminaturales y transformadas). Para la clasificación de las diferentes categorías de coberturas se consideran los valores propuestos previamente: Vanegas et al. (2016), Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (2017). La cantidad de categorías a valorar, variará de acuerdo al ámbito de análisis, cada uno asociado a una escala cartográfica particular. Los insumos cartográficos a utilizar para cada uno de los ámbitos de análisis considerados, corresponden a capas de coberturas de la tierra elaboradas bajo el sistema de clasificación CLC, en el que la leyenda tiene un mayor número de categorías para la clasificación de las coberturas en la medida que se aumenta la escala cartográfica de producción.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación área de estudio
 - Capa actualizada de coberturas de la tierra.
- **Procedimientos generales:**
 - Delimitación (corte) de las capas al límite del área de estudio.
 - Calificación de la resistencia de las diferentes coberturas presentes en la región. La calificación corresponde a valores entre 1 -100, que son categorizados en tres grupos, de acuerdo a los propuesto por el Instituto Sinchi (Vanegas et al., 2016).
 - Resistencia Alta: coberturas transformadas, con valores entre 100 y 66.
 - Resistencia Media: coberturas en transformación, con valores entre 33 y 65.
 - Resistencia Baja: coberturas naturales, con valores entre 1 y 32.

4.4.2.4.3. Distancia a sitios de explotación de recursos no renovables

La explotación minera y de hidrocarburos es un factor que contribuye de manera significativa a la transformación de las coberturas en la Amazonia, determinando el grado de fragmentación del paisaje. En el caso de la

explotación minera, considerando que los polígonos concesionados son explotados de manera diferencial a lo largo del periodo de actividad de los proyectos extractivos existiendo áreas concesionadas, pero sin aprovechamiento presente, se consideran aquellos polígonos bajo la categoría de “en explotación”, de acuerdo a la clasificación de la ANM, que son en los que se generan la mayor cantidad de actividades con impactos sobre las características del medio. En el caso de la explotación de hidrocarburos, dentro de la cartografía consultada se considerarán los elementos correspondientes a pozos en explotación.

En ambos casos (minería e hidrocarburos) los polígonos en explotación se consideran con valores máximos de resistencia, y por fuera de ellos los valores de resistencia se establecen asumiendo una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a los sitios intervenidos para la explotación y la resistencia al flujo de organismos. Los valores de la matriz de resistencia resultante para ambos tipos de actividad, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 4.6). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos. Para el ámbito regional, se plantea el uso de la cartografía generada desde la ANH para el caso de la explotación de hidrocarburos y desde la ANM para minería, ambas a una escala 1:100.000.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación de la zona de estudio
 - Capa explotación Hidrocarburos
 - Capa de títulos Mineros
- **Procedimientos:**
 - Unión capas explotación minera e hidrocarburos.
 - Delimitación (corte) de la capa al límite del área de estudio.
 - Cálculo de valores de probabilidad de resistencia.
 - Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 4.6 Clasificación de la resistencia en relación a la distancia a explotación de recursos no renovables.

DISTANCIA EXPLOTACIÓN	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Polígono	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

4.4.2.4.4. Distancia a centros poblados.

Su inclusión se hace teniendo en cuenta que este tipo de elementos se ha asociado a procesos de transformación del paisaje, al implicar cambios substanciales del uso del suelo. Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a los centros y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006).

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a centros poblados y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006). Los valores de la matriz de resistencia resultante, serán reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 4.7). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos. Para el ámbito regional, se plantea el uso de la cartografía oficial de centros poblados producida a escala 1:100.000 (IGAC).

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación del área de estudio
 - Capa Centros poblados
- **Procedimientos:**
 - Delimitación (corte) de la capa al límite del área de estudio.
 - Cálculo de valores de probabilidad de resistencia.
 - Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 4.7. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia a centros poblados.

CATEGORÍA DISTANCIA CENTROS POBLADOS	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

4.4.2.4.5. Distancia a Vías

Su consideración se fundamenta en que este tipo de infraestructura ha sido identificada como uno de los motores de mayor impacto en lo que se refiere transformación radical de coberturas, en las áreas de trazado y tiene consecuencias sobre las dinámicas futuras de transformación en zonas aledañas al mismo, dando acceso a localidades remotas (Laurence et al., 2009). La construcción de vías, además de traer cambios en los usos de la tierra, tiene como consecuencia el cambio en las dinámicas de uso de los recursos naturales a sus alrededores, al permitir la colonización humana (Laurence et al., 2009).

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a las vías y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006). Los valores de la matriz de resistencia resultante, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, próximas y Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 4.8). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos. Para el ámbito regional, se plantea el uso de la cartografía oficial de vías desarrollada a escala 1:100.000 (IGAC).

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación del área de estudio.
 - Capa de vías
- **Procedimiento**

- Delimitación (corte) de las capas al límite del área de estudio.
- Cálculo de los valores de resistencia
- Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 4.8. Valores de resistencia en relación a la distancia vías.

CATEGORÍA DISTANCIA VÍAS	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

4.4.2.4.6. Vocación de uso de los suelos

Se incluye en esta propuesta considerando dos aspectos: a) que una de las causas de la transformación de las coberturas naturales más influyentes en la Amazonía colombiana, es el desarrollo de actividades productivas no acordes con las capacidades de los suelos de la zona. Este tipo de dinámicas, resulta en el paulatino agotamiento de los suelos e implica la necesidad de trasladarlos regularmente a sectores no explotados, correspondientes a áreas bajo coberturas naturales; y b) que, con el fin de establecer corredores de conectividad, la vocación del uso de los suelos debe ser en el futuro un determinante para el tipo de actividades productivas a desarrollar en sus zonas de influencia. Así, la inclusión de la vocación de los suelos, permite que la espacialización y modelación de corredores incluya los suelos más frágiles (considerados como objetos de conservación) y evite aquellos con mayor aptitud para las actividades productivas.

Para la generación de la matriz de resistencia correspondiente, se establecen valores de resistencia para cada una de las diferentes categorías establecidas en la cartografía de referencia, los cuales se asocian al grado de conservación (coberturas naturales) o transformación (seminaturales y transformadas). La cantidad de categorías a valorar, variará de acuerdo al ámbito de análisis, cada uno asociado a una cartografía particular. En el caso de del ámbito regional, se propone utilizar como insumo la capa existente de Vocación de uso del suelo (IGAC).

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación área de estudio
 - Capa de Vocación de uso de los suelos
- **Procedimientos:**
 - Corte de la capa a la zona de estudio.
 - Categorización y valoración de la resistencia de acuerdo a su vocación.

4.4.2.5. Caracterización de las variables asociadas a la fragmentación

Una vez espacializadas las variables que pueden explicar las unidades de fragmentación (fisiografía-grado de fragmentación-patrón), se estima la asociación entre dichas unidades versus cada una de las variables consideradas. De esta manera, se evidencia cuáles pueden ser las variables que están influyendo de mayor y menor manera en los procesos de fragmentación, por unidad fisiográfica y tipo específico de patrón espacial. Para cada una de las combinaciones posibles, que representan las unidades espaciales, se corren los análisis

de asociación. Así, a manera de ejemplo, se tendría la asociación de las diferentes variables asociadas a las coberturas (ej. pastos) para aquellos sectores en Lomerío con una fragmentación alta y patrones espaciales tipo isla.

La espacialización y análisis de la asociación de las variables, permite encontrar los sitios en donde una causa es más relevante que otra en los procesos de fragmentación, es decir que dentro del área de estudio se evidenciarán zonas en donde por ejemplo el relieve y las vías tengan influencia sobre estos procesos, mientras que se encontrarán zonas en donde dichas variables no tengan mayor relevancia. Para esto, es posible utilizar el programa MaxEnt, el cual, por su desarrollo conceptual, permite modelos para este tipo de ejercicios.

MaxEnt es uno de los programas más empleados para la modelización de distribución potencial de especies con base a la máxima entropía, dentro del mundo de los Sistemas de Información Geográfica. A través de un sencillo entorno visual se puede analizar estadísticamente diversas variables territoriales (pendiente, temperatura, vegetación, altitud, humedad...), junto a la distribución inicial de la especie. Como resultado se obtiene un conjunto de gráficas, tablas y mapas que nos advierten de la distribución potencial de la especie. Esta herramienta presenta interesantes aplicaciones de cara a la reintroducción, la modelización potencial de la distribución de especies invasoras o a la distribución futura de especies frente al cambio climático. Para el caso particular de los análisis de fragmentación, dicha herramienta proporciona potenciales zonas en donde se den estos procesos, bajo unas condiciones biofísicas y socio-económicas predeterminadas.

Con base en lo anterior, MaxEnt resulta un programa que permite modelar y explicar la distribución potencial de cada unidad de fragmentación, con base en una serie de variables predeterminantes que explican la aparición y desarrollo de cada unidad. Para la espacialización en MaxEnt de las probabilidades de ocurrencia de una unidad de análisis, se utilizan como insumos principales, la variable dependiente, que hace referencia a los puntos de cada tipología de unidad de análisis, y el grupo de variables independientes o explicativas que se nombraron anteriormente (Tabla 4.4).

- **Insumos de información cartográfica**
 - Polígono delimitación del ámbito de estudio
 - Capa de índice de fragmentación por cada unidad fisiográfica (Elaboración propia)
 - Mapa de suelos
 - Modelo digital de elevación
 - Mapa de coberturas de la tierra
 - Mapa de centros poblados
 - Mapa de vías
- **Procedimientos generales**
 - Asociación de variables versus unidades de análisis fragmentación

4.4.3. Resultados Esperados

En términos generales los resultados son los mismos para los diferentes ámbitos, aunque las características por cada uno varían de acuerdo a las diferencias en el detalle (espacial y temático) y tipo de las variables consideradas en cada caso.

- Índice general de Fragmentación
- Caracterización de patrones espaciales por grado de fragmentación
- Identificación, caracterización y espacialización de unidades espaciales de análisis
- Identificación de variables asociadas a la fragmentación por tipo de unidad de análisis

4.5. AMBITO SUBREGIONAL

4.5.1. Objetivos específicos

- Identificar los procesos de fragmentación de las coberturas naturales en los sectores de análisis.
- Caracterizar los procesos de fragmentación desde los patrones espaciales de las coberturas
- Identificar y caracterizar variables asociadas a procesos de fragmentación.

4.5.2. Metodología

4.5.2.1. Índice general de fragmentación

El índice de fragmentación se calcula utilizando información espacial de coberturas de la tierra (1:25.000), diferenciando las coberturas naturales y las transformadas, la cual es procesada con el software GUIDOS (Vogt & Riitters, 2017; Soille & Vogt, 2008). Específicamente se utiliza el índice de fragmentación fundamentado en el concepto de entropía, entendiendo esta como un grado de desorden (heterogeneidad) en la distribución de píxeles (ej. vegetación transformada), que se asocia al grado de fragmentación (Vogt 2015). En tal sentido a mayor grado de entropía mayor grado de fragmentación de un área, lo que espacialmente se asemejaría a un tablero de ajedrez (Vogt 2015).

Para el cálculo del índice general de fragmentación para la escala subregional, se debe trabajar con información cartográfica a un nivel de detalle adecuado, sobre todo en lo relacionado al tema de coberturas de la tierra. Se recomienda trabajar con coberturas definidas y delimitadas con la misma metodología y con una leyenda definida bajo el mismo esquema que la utilizada para la escala regional. Así, se propone trabajar con mapas de coberturas con clasificación Corine Land Cover transformada para Colombia (CLC) a escala 1:25.000, lo cual provee un nivel de detalle mayor al tener un área mínima de mapeo de 1.5 ha, lo que permitirá reconocer espacios naturales más pequeños y por lo tanto obtener un análisis de fragmentación más detallado, que permita hacer una descripción estructural del paisaje. Al trabajar con mapas de coberturas que brinden más nivel de detalle, obliga a que las grillas o celdas de análisis también sean más pequeñas, de esta manera no se generaliza la información y el detalle se sigue manteniendo.

A partir del cálculo del índice se obtiene un mapa continuo con valores de 1 a 100, en donde los valores más altos indican una mayor fragmentación y los más bajos una menor. Este mapa es clasificado en tres categorías de resistencia: Bajo (0-33), Medio (34-66) y alto (67-100) (Tabla 4.1). Ahora, con el fin de tener una descripción del proceso de fragmentación que considere la heterogeneidad espacial de las condiciones de la región amazónica, es importante realizar los análisis por cada una de las unidades fisiográficas³ presentes, pues las

³ Comprende aquellas tierras cuya temperatura, promedio anual y humedad disponible son lo suficiente homogéneas para reflejarse en una génesis específica del suelo

distintas formas de intervención humana y sistemas productivos desarrollados dependen de las características biofísicas predominantes en cada lugar.

- **Insumos de información cartográfica**
 - Polígono delimitación del ámbito de análisis.
 - Mapa de coberturas de la tierra (escala depende de ámbito de estudio).
- **Procedimientos generales**
 - Clasificación de coberturas en natural y transformado
 - Cálculo del índice de fragmentación (GUIDOS)
 - Generación de un mapa de fragmentación por rangos establecidos (Tabla 4.9).

Tabla 4.9. Clasificación valores de fragmentación

TIPO	ÍNDICE DE FRAGMENTACIÓN		
	VALOR CONTINUO ORIGINAL	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Fragmentación (natural vs transformado)	67-33	Alta	5
	34-66	Media	3
	0-33	Baja	1

4.5.2.2. Delimitación de las unidades preliminares de análisis

Ante de obtener las unidades finales de análisis, las cuales corresponden al cruce espacial entre fisiografía, grado de fragmentación y patrón de fragmentación; y con el fin de tener una descripción del proceso de fragmentación que considere la heterogeneidad espacial de las condiciones de la región amazónica, es importante realizar los análisis por cada una de las unidades fisiográficas presentes, pues las distintas formas de intervención humana y sistemas productivos desarrollados dependen de las características biofísicas predominantes en cada lugar. Así, independientemente al ámbito de estudio, el índice de fragmentación (alta, media y baja), se cruza con las diferentes unidades fisiográficas de la región amazónica, las cuales podrán corresponder con el nivel de Gran Paisaje, el Paisaje y el Subpaisaje, dependiendo de si el análisis es de carácter regional, subregional o local, respectivamente. Para el caso de análisis en ámbito subregional, se debe trabajar con información a escala 1:25.000, la cual identifica unidades fisiográficas a nivel de paisaje.

Insumos de información cartográfica

- Polígono delimitación del ámbito de estudio.
- Índice de fragmentación categorizado (1,3,5)
- Capa unidades fisiográficas (paisaje) Amazonía
- **Procedimientos generales**
 - Recorte de capas insumos al límite del área de estudio correspondiente.
 - Cruce de capas: Fragmentación, Fisiografía.

4.5.2.3. Caracterización estructural de paisajes fragmentados (Patrones)

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co

Elaborado el mapa de fragmentación por rangos, y considerando las diferentes unidades fisiográficas (paisaje), se hará una descripción de cada uno de estos sectores con el propósito de conocer los patrones espaciales que caracterizan cada tipo de unidad preliminar y generando las unidades finales de análisis. Para esto se hace una descripción estructural del paisaje, teniendo en cuenta distintos atributos del paisaje, los cuales se puede leer a través de diferentes indicadores espaciales o métricas espaciales (Tabla 4.10).

Tabla 4.10. Indicadores espaciales para caracterización de fragmentación

	ATRIBUTOS ECOLÓGICOS	DEFINICIÓN	INDICADORES
Análisis de patrones del paisaje (estructura del paisaje)	Heterogeneidad	Complejidad de arreglos espaciales en términos de su riqueza y dominancia	Número de unidades espaciales naturales
			Extensión de unidades espaciales naturales
	Configuración espacial	Forma como se disponen en un área las unidades espaciales y por ende da forma básica a conocer sobre el efecto que tienen los procesos naturales o antrópicos que les afecta	Área (ha)
			Perímetro (m)
			Número de parches
			Área núcleo (ha)
	Continuidad	Conexiones físicas existentes entre unidades espaciales similares o complementarias	Forma
			Distancia euclidiana (m)
			Proximidad
			Continuidad altitudinal (m)

Con los resultados de cada métrica se estima un índice que ayuda a precisar qué tipo de patrón espacial de fragmentación es el que se ha desarrollado en cada unidad predefinida. El índice se calcula a partir de la sumatoria de las métricas que indican parches más grandes, más cohesionados y con mayor área núcleo, diferenciando las métricas que indican mayor número de fragmentos, más irregulares y más o menos distanciados entre ellos.

$$\text{Índice} = \frac{\% + \text{área núcleo} + \text{cohesión}}{\# \text{ de parches} + \text{circle} + \text{distancias}} \times 100$$

Los valores más altos se relacionan con aquellas áreas con menor grado de fragmentación, mientras que los más bajos indican espacios bastante fragmentados, con relictos de coberturas naturales. Los patrones de fragmentación de tipo geométrico, parche y espina de pescado, se asocian a valores bajos, mientras que los patrones difuso, corredor e isla, se asocian a valores del índice más altos para las coberturas naturales.

Es importante mencionar que, del proceso anterior, se obtienen como resultado las unidades finales de análisis, las cuales son el producto de cruce entre la fisiografía, el grado de fragmentación y los patrones de fragmentación, este último es el resultado del cálculo del índice anteriormente expuesto.

• **Insumos de información cartográfica**

- Polígono delimitación del ámbito de análisis.
- Mapa de coberturas de la tierra.

- Capa de índice de fragmentación x unidad fisiográfica
- **Procedimientos generales**
 - Intersección de capa del índice general de patrón de fragmentación por unidad fisiográfica con mapa de coberturas de la tierra.
 - Cálculo de métricas del paisaje, sobre la capa de cobertura, por categoría de fragmentación (ArcGis-Fragstast).

4.5.2.4. Variables asociadas a la fragmentación

Para las unidades finales de análisis, resultado final del paso anterior, se hace la asociación espacial con las hipotéticas causas de la fragmentación. En este sentido, se obtendrá con mayor certeza y de manera más detallada, cuales son realmente son aquellas variables que explican estos procesos.

A nivel subregional la información secundaria puede ser una de las principales fuentes para la identificación de las causas directas y subyacentes de la fragmentación. Geist y Lambin (2002a) identifican cuatro grupos de causas directas: expansión agrícola, extracción de madera, extensión de la infraestructura y otros factores. Dentro de los factores biofísicos se han considerado variables como el clima, los suelos, la litología, la topografía, el relieve, la hidrología, los incendios y la vegetación, que presentan una variación espacio-temporal (Lambin y Geist, 2006a).

En este sentido se plantea la hipótesis de que las causas biofísicas directas y subyacentes de la fragmentación pueden estar relacionadas a factores de suelos, litología, la topografía, el relieve, la hidrología, los incendios y la vegetación, las cuales se pueden sintetizar en variables específicas (Tabla 4.11). Desde el punto de vista socio-económico se plantea la hipótesis de que las principales causas que pueden estar relacionadas con la fragmentación son las vías de acceso, los asentamientos humanos, la gobernabilidad, la densidad poblacional y el uso del suelo, que también se pueden sintetizar en variables particulares (Tabla 4.11). Cada una de estas variables, independientemente de su origen (natural o antrópico) tienen efectos sobre la estructura del paisaje y los patrones que en él se expresen, siendo posibles de evaluar en diferentes periodos del tiempo.

Tabla 4.11. Variables biofísicas y socioeconómicas para identificar causas de fragmentación

TIPO DE CRITERIO	VARIABLE
Criterios biofísicos	Pendiente (%)
	Coberturas de la tierra
	Distancia a explotación recursos no renovables
Criterios socio-económicos	Distancia a centros poblados
	Distancia a vías
	Uso del suelo

Para la caracterización espacial de las variables asociadas a la fragmentación, es necesario espacializar cada una de estas, de tal manera que armonicen con todos los requerimientos cartográficos definidos para la escala de trabajo. Pues uno de los análisis principales que contiene la caracterización de estos procesos, es la asociación espacial que existe entre las unidades de análisis para la fragmentación y las variables que los definen. Las variables se pueden agrupar en dos grandes categorías, unas relacionadas a factores biofísicos y otras a factores socio-económicos. A su vez, algunas de estas corresponden a variables continuas y otras a

variables categóricas. En este sentido, para la pendiente, por ejemplo, el factor de medida está dado por porcentaje y para la distancia a vías por la categoría de distancia asignado, mientras que, para la vocación del suelo, las unidades son las definidas en el mapa de suelos del IGAC.

Para cada una de las variables se genera un mapa tipo raster, según las unidades de medidas intrínsecas de cada variable. Todo este grupo de variables, entran dentro del modelo como aquellos factores explicativos para modelar espacialmente la distribución de cada unidad. A continuación, se describe los pasos metodológicos para la espacialización de cada variable definida:

4.5.2.4.1. Pendiente

Esta variable es utilizada dado que la pendiente del terreno se asocia con su fragilidad en términos de estabilidad y así con el mantenimiento de coberturas naturales y con la conectividad ecológica. Además, terrenos escarpados, se convierten en una barrera física que impide el flujo de organismos.

La pendiente del terreno, calculada en términos de porcentaje, se estima a partir del procesamiento información topográfica, que para los casos de los ámbitos regional y subregional es posible de obtener de Modelos Digitales de Elevación con resoluciones acordes con las escalas de trabajo propuestas. En el caso subregional se propone el uso de un modelo con un tamaño de pixel de 12.5 m.

Los valores de la matriz de pendiente (matriz de resistencia), son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: pendiente baja, pendiente media y pendiente pronunciada, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 4.12). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos⁴.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación del área de estudio
 - Modelo de Elevación
- **Procedimientos:**
 - Corte DEM a la zona de estudio
 - Cálculo de los valores de porcentaje de pendiente
 - Categorización de los valores de pendiente

Tabla 4.12. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo a la pendiente del terreno:

PENDIENTE	RESISTENCIA		
	Rango Valores	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Baja	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1
Media	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Pronunciada	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5

⁴ El esquema de clasificación de intervalos geométricos crea rupturas de clase basadas en los intervalos de clase que tienen una serie geométrica. Con esto se garantiza que cada rango de clase tenga aproximadamente el mismo número de valores en cada clase y que el cambio entre intervalos sea bastante coherente.

4.5.2.4.2. Tipo de cobertura de la tierra

Su inclusión se considera fundamental dado que la evaluación de fragmentación se basa en el grado de la transformación de las coberturas naturales presentes en el área de estudio. Para el cálculo de la matriz correspondiente, se establecen valores de resistencia para cada una de las diferentes categorías de coberturas, los cuales se asocian al grado de conservación (coberturas naturales) o transformación (seminaturales y transformadas). Para la clasificación de las diferentes categorías de coberturas se consideran los valores propuestos previamente: Vanegas et al. (2016), Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (2017). La cantidad de categorías a valorar, variará de acuerdo al ámbito de análisis, cada uno asociado a una la escala cartográfica particular. Los insumos cartográficos a utilizar para cada uno de los ámbitos de análisis considerados, corresponden a capas de coberturas de la tierra elaboradas bajo el sistema de clasificación CLC, en el que la leyenda tiene un mayor número de categorías para la clasificación de las coberturas en la medida que se aumenta la escala cartográfica de producción.

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación área de estudio.
- Capa actualizada de coberturas de la tierra.

- **Procedimientos generales:**

- Delimitación (corte) de las capas al límite del área de estudio.
- Calificación de la resistencia de las diferentes coberturas presentes en la región. La calificación corresponde a valores entre 1 -100, que son categorizados en tres grupos, de acuerdo a los propuesto por el Instituto Sinchi (Vanegas et al., 2016).
 - Resistencia Alta: coberturas transformadas, con valores entre 100 y 66.
 - Resistencia Media: coberturas en transformación, con valores entre 33 y 65.
 - Resistencia Baja: coberturas naturales, con valores entre 1 y 32.

4.5.2.4.3. Distancia a sitios de explotación de recursos no renovables

La explotación minera y de hidrocarburos son factores identificados que contribuyen de manera significativa a la transformación de las coberturas en la Amazonia, determinando el grado de fragmentación del paisaje. En el caso de la explotación minera, considerando que los polígonos concesionados son explotados de manera diferencial a lo largo del periodo de actividad de los proyectos extractivos existiendo áreas concesionadas, pero sin aprovechamiento presente, se consideran aquellos polígonos bajo la categoría de “en explotación”, de acuerdo a la clasificación de la ANM, que son en los que se generan la mayor cantidad de actividades con impactos sobre las características del medio. En el caso de la explotación de hidrocarburos, dentro de la cartografía consultada se considerarán los elementos correspondientes a pozos en explotación.

En ambos casos (minería e hidrocarburos) los polígonos en explotación se consideran con valores máximos de resistencia, y por fuera de ellos los valores de resistencia se establecen asumiendo una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a los sitios intervenidos para la explotación y la resistencia al flujo de organismos. Los valores de la matriz de resistencia resultante para ambos tipos de actividad, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas,

correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 4.13). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos.

Para el ámbito subregional, se plantea el uso de la cartografía generada desde la ANH para el caso de la explotación de hidrocarburos y desde la ANM para minería, ambas a una escala 1:25.000. Además de lo anterior (aumento en la resolución), de haber información sobre el tamaño de los sitios de explotación, los rangos de valores de la matriz de resistencia podrán ponderarse por este atributo. Además, será posible diferenciar el tipo de recursos explotados (ej. petróleo, gas, oro, coltán, etc), generando matrices de resistencia en cada caso.

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación de la zona de estudio
- Capa explotación Hidrocarburos
- Capa de títulos Mineros

- **Procedimientos:**

- Unión capas explotación minera e hidrocarburos.
- Delimitación (corte) de la capa al límite del área de estudio.
- Cálculo de valores de probabilidad de resistencia.
- Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 4.13. Clasificación de la resistencia en relación a la distancia a explotación de recursos no renovables.

DISTANCIA EXPLOTACIÓN	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Polígono	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

4.5.2.4.4. Distancia a centros poblados.

Su inclusión se hace teniendo en cuenta que este tipo de elementos se ha asociado a procesos de transformación del paisaje, al implicar cambios substanciales del uso del suelo. Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a los centros y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006).

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a centros poblados y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006). Los valores de la matriz de resistencia resultante, serán reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 4.14). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos.

Para el ámbito subregional, dependiendo de la localización de las áreas priorizadas, se podrá usar la cartografía desarrollada por el IDEAM referente a accesos terrestres a una escala 1:25.000, en la que también se han incluido elementos correspondientes a los centros poblados (IDEAM 2018). En este contexto y considerando las características de la cartografía a utilizar, en la que los centros poblados son representados por medio de

polígonos, los rangos de valores de resistencia asociados a cada elemento estarán determinados por su tamaño.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación del área de estudio
 - Capa Centros poblados
- **Procedimientos:**
 - Delimitación (corte) de la capa al límite del área de estudio.
 - Cálculo de valores de probabilidad de resistencia.
 - Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 4.14. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia a centros poblados.

CATEGORÍA DISTANCIA CENTROS POBLADOS	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

4.5.2.4.5. Distancia a Vías

Su consideración se fundamenta en que este tipo de infraestructura ha sido identificada como uno de los motores de mayor impacto en lo que se refiere transformación radical de coberturas, en las áreas de trazado y tiene consecuencias sobre las dinámicas futuras de transformación en zonas aledañas al mismo, dando acceso a localidades remotas (Laurence et al., 2009). La construcción de vías, además de traer cambios en los usos de la tierra, tiene como consecuencia el cambio en las dinámicas de uso de los recursos naturales a sus alrededores, al permitir la colonización humana (Laurence et al., 2009).

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a las vías y la resistencia al flujo de organismos (Etter et al. 2006). Los valores de la matriz de resistencia resultante, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, próximas y Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 4.15). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos.

Para el ámbito subregional, dependiendo de la localización de las áreas priorizadas, se podrá usar cartografía desarrollada por el IDEAM referente a accesos terrestres a una escala 1:25.000 (IDEAM 2018), en la que los valores de resistencia asociados se podrán ponderar de acuerdo a las características de cada trazado (ej. tamaño, condición – pavimentada vs destapada -).

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación del área de estudio.
 - Capa de vías
- **Procedimiento**

- Delimitación (corte) de las capas al límite del área de estudio.
- Cálculo de los valores de resistencia
- Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 4.15. Valores de resistencia en relación a la distancia vías.

CATEGORÍA DISTANCIA VÍAS	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

4.5.2.4.6. Vocación de uso de los suelos

Se incluye en esta propuesta considerando dos aspectos: a) que una de las causas de la transformación de las coberturas naturales más influyentes en la Amazonía colombiana, es el desarrollo de actividades productivas no acordes con las capacidades de los suelos de la zona. Este tipo de dinámicas, resulta en el paulatino agotamiento de los suelos e implica la necesidad de trasladarlos regularmente a sectores no explotados, correspondientes a áreas bajo coberturas naturales; y b) que, con el fin de establecer corredores de conectividad, la vocación del uso de los suelos debe ser en el futuro un determinante para el tipo de actividades productivas a desarrollar en sus zonas de influencia. Así, la inclusión de la vocación de los suelos, permite que la espacialización y modelación de corredores incluya los suelos más frágiles (considerados como objetos de conservación) y evite aquellos con mayor aptitud para las actividades productivas.

Para la generación de la matriz de resistencia correspondiente, se establecen valores de resistencia para cada una de las diferentes categorías establecidas en la cartografía de referencia, los cuales se asocian al grado de conservación (coberturas naturales) o transformación (seminaturales y transformadas). La cantidad de categorías a valorar, variará de acuerdo al ámbito de análisis, cada uno asociado a una cartografía particular. En el caso del ámbito subregional, se podrán utilizar aquellas correspondientes a los determinantes ambientales, en cuya delimitación se consideran la variación de las características generales de los suelos y de su importancia ecológica.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación área de estudio
 - Capa de Vocación de uso de los suelos / determinantes ambientales
- **Procedimientos:**
 - Corte de la capa a la zona de estudio.
 - Categorización y valoración de la resistencia de acuerdo a su vocación / determinantes ambientales.

4.5.2.5. Caracterización de las variables asociadas a la fragmentación

Una vez espacializadas las variables que pueden explicar las unidades de fragmentación (fisiografía-grado de fragmentación-patrón), se estima la asociación entre dichas unidades versus cada una de las variables consideradas. Así, a manera de ejemplo, se tendría la asociación de las diferentes variables asociadas a las

coberturas (ej. pastos) para aquellos sectores en Lomerío con una fragmentación alta y patrones espaciales tipo isla.

La espacialización y análisis de la asociación de las variables, permite encontrar los sitios en donde una causa es más relevante que otra en los procesos de fragmentación, es decir que dentro del área de estudio se evidenciarán zonas en donde por ejemplo el relieve y las vías tengan influencia sobre estos procesos, mientras que se encontrarán zonas en donde dichas variables no tengan mayor relevancia. Para esto, es posible utilizar el programa MaxEnt, el cual, por su desarrollo conceptual, permite modelos para este tipo de ejercicios. Esta herramienta presenta interesantes aplicaciones de cara a la reintroducción, la modelización potencial de la distribución de especies invasoras o a la distribución futura de especies frente al cambio climático. Para el caso particular de los análisis de fragmentación, dicha herramienta proporciona potenciales zonas en donde se den estos procesos, bajo unas condiciones biofísicas y socio-económicas predeterminadas.

Para la espacialización en MaxEnt de las probabilidades de ocurrencia de una unidad de análisis, se utilizan como insumos principales, la variable dependiente, que hace referencia a los puntos de cada tipología de unidad de análisis, y el grupo de variables independientes o explicativas que se nombraron anteriormente.

- **Insumos de información cartográfica**

- Polígono delimitación del ámbito de estudio
- Capa de índice de fragmentación por cada unidad fisiográfica (Elaboración propia)
- Mapa de suelos
- Modelo digital de elevación
- Mapa de coberturas de la tierra
- Mapa de centros poblados
- Mapa de vías

- **Procedimientos generales**

- Asociación de variables versus unidades de análisis de fragmentación

4.5.3. Resultados Esperados

En términos generales los resultados son los mismos para los diferentes ámbitos, aunque las características por cada uno varían de acuerdo a las diferencias en el detalle (espacial y temático) y tipo de las variables consideradas en cada caso.

- Índice general de Fragmentación
- Caracterización de patrones espaciales por grado de fragmentación
- Identificación, caracterización y espacialización de unidades espaciales de análisis
- Identificación de variables asociadas a la fragmentación por tipo de unidad de análisis

4.6. AMBITO LOCAL

4.6.1. Objetivos específicos

- Caracterización biofísica de los predios asociados a los diferentes tipos de sectores fragmentados identificados por ámbito de análisis.
- Identificar los procesos de fragmentación de las coberturas naturales en los sectores de análisis.
- Caracterizar los procesos de fragmentación desde los patrones espaciales de las coberturas
- Identificar y caracterizar variables asociadas a procesos de fragmentación.

4.6.2. Metodología

Dado que los análisis a escala local contemplan información mucho más específica del área de estudio, el proceso metodológico, después del índice de fragmentación y de la delimitación de las unidades de análisis, parte de los resultados de la caracterización biofísica y socio-económica, pues dichos resultados, por un lado, muestran claramente cuales son aquellas causas que están incidiendo en los procesos de transformación y fragmentación de las coberturas naturales; pero también, permiten espacializar las diferentes formas de uso del paisaje a través de las coberturas de la tierra, además de lograr tener un inventario de la flora y fauna características de cada sistema productivo identificado previamente.

La metodología planteada para esta escala local, comparte algunos desarrollos metodológicos y conceptuales que para la escala regional y subregional. El nivel de detalle es uno de los principales factores que debe variar para que los análisis se acomoden a este ámbito. Sin embargo, el factor más importante que acota los análisis en este ámbito local, debe ser las intenciones de manejo y la gestión que se quiere desarrollar en el territorio, la cual utilice como insumos de análisis la evaluación de fragmentación del paisaje.

4.6.2.1. Índice general de fragmentación

El índice de fragmentación se calcula utilizando información espacial de coberturas de la tierra, diferenciando las coberturas naturales y las transformadas, la cual es procesada con el software GUIDOS (Vogt & Riitters, 2017; Soille & Vogt, 2008). Específicamente se utiliza el índice de fragmentación fundamentado en el concepto de entropía, entendiendo esta como un grado de desorden (heterogeneidad) en la distribución de píxeles (ej. vegetación transformada), que se asocia al grado de fragmentación (Vogt 2015). En tal sentido a mayor grado de entropía mayor grado de fragmentación de un área, lo que espacialmente se asemejaría a un tablero de ajedrez (Vogt 2015).

A partir del cálculo del índice se obtiene un mapa continuo con valores de 1 a 100, en donde los valores más altos indican una mayor fragmentación y los más bajos una menor. Este mapa es clasificado en tres categorías de resistencia: Bajo (0-33), Medio (34-66) y alto (67-100) (Tabla 4.1). Ahora, con el fin de tener una descripción del proceso de fragmentación que considere la heterogeneidad espacial de las condiciones de la región amazónica, es importante realizar los análisis por cada una de las unidades fisiográficas⁵ presentes, pues las distintas formas de intervención humana y sistemas productivos desarrollados dependen de las características biofísicas predominantes en cada lugar. Los insumos cartográficos a utilizar, corresponden a capas de coberturas de la tierra elaboradas bajo el sistema de clasificación CLC correspondiente a la escala de análisis (1:10.000), lo cual provee un nivel de detalle mayor al tener un área mínima de mapeo de 0.6 ha, lo que permitirá

⁵ Comprende aquellas tierras cuya temperatura, promedio anual y humedad disponible son lo suficiente homogéneas para reflejarse en una génesis específica del suelo

reconocer espacios naturales más pequeños y por lo tanto obtener un análisis de fragmentación más detallado, que permita hacer una descripción estructural del paisaje.

- **Insumos de información cartográfica**
 - Polígono delimitación del ámbito de análisis.
 - Mapa de coberturas de la tierra.
- **Procedimientos generales**
 - Clasificación de coberturas en natural y transformado
 - Cálculo del índice de fragmentación (GUIDOS)
 - Generación de un mapa de fragmentación por rangos establecidos (Tabla 4.16).

Tabla 4.16. Clasificación valores de fragmentación

TIPO	ÍNDICE DE FRAGMENTACIÓN		
	VALOR CONTINUO ORIGINAL	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Fragmentación (natural vs transformado)	67-33	Alta	5
	34-66	Media	3
	0-33	Baja	1

4.6.2.2. Delimitación de las unidades preliminares de análisis

Ante de obtener las unidades finales de análisis, las cuales corresponden al cruce espacial entre fisiografía, grado de fragmentación y patrón de fragmentación; y con el fin de tener una descripción del proceso de fragmentación que considere la heterogeneidad espacial de las condiciones de la región amazónica, es importante realizar los análisis por cada una de las unidades fisiográficas presentes, pues las distintas formas de intervención humana y sistemas productivos desarrollados dependen de las características biofísicas predominantes en cada lugar.

- **Insumos de información cartográfica**
 - Polígono delimitación del ámbito de estudio.
 - Índice de fragmentación categorizado (1,3,5)
 - Capa unidades fisiográficas (subpaisaje) Amazonía.
- **Procedimientos generales**
 - Recorte de capas insumos al límite del área de estudio correspondiente.
 - Cruce de capas: Fragmentación, Fisiografía.

4.6.2.3. Caracterización estructural de paisajes fragmentados (Patrones)

Elaborado el mapa de fragmentación por rangos, considerando las diferentes unidades fisiográficas, se hará una descripción de cada uno de estos sectores con el propósito de conocer los patrones espaciales que caracterizan cada tipo de unidad preliminar y generando las unidades finales de análisis. Para esto se hace una

descripción estructural del paisaje, teniendo en cuenta distintos atributos del paisaje, los cuales se puede leer a través de diferentes indicadores espaciales o métricas espaciales (Tabla 4.17).

Tabla 4.17. Indicadores espaciales para caracterización de fragmentación

	ATRIBUTOS ECOLÓGICOS	DEFINICIÓN	INDICADORES
Análisis de patrones del paisaje (estructura del paisaje)	Heterogeneidad	Complejidad de arreglos espaciales en términos de su riqueza y dominancia	Número de unidades espaciales naturales
			Extensión de unidades espaciales naturales
	Configuración espacial	Forma como se disponen en un área las unidades espaciales y por ende da forma básica a conocer sobre el efecto que tienen los procesos naturales o antrópicos que les afecta	Área (ha)
			Perímetro (m)
			Número de parches
			Área núcleo (ha)
	Continuidad	Conexiones físicas existentes entre unidades espaciales similares o complementarias	Forma
			Distancia euclidiana (m)
			Proximidad
			Continuidad altitudinal (m)

Con los resultados de cada métrica se estima un índice que ayuda a precisar qué tipo de patrón espacial de fragmentación es el que se ha desarrollado en cada unidad predefinida. El índice se calcula a partir de la sumatoria de las métricas que indican parches más grandes, más cohesionados y con mayor área núcleo, diferenciando las métricas que indican mayor número de fragmentos, más irregulares y más o menos distanciados entre ellos.

$$\text{Índice} = \frac{\% + \text{área núcleo} + \text{cohesión}}{\# \text{ de parches} + \text{circle} + \text{distancias}} \times 100$$

Los valores más altos se relacionan con aquellas áreas con menor grado de fragmentación, mientras que los más bajos indican espacios bastante fragmentados, con relictos de coberturas naturales. Los patrones de fragmentación de tipo geométrico, parche y espina de pescado, se asocian a valores bajos, mientras que los patrones difuso, corredor e isla, se asocian a valores del índice más altos para las coberturas naturales.

Es importante mencionar que, del proceso anterior, se obtienen como resultado las unidades finales de análisis, las cuales son el producto de cruce entre la fisiografía, el grado de fragmentación y los patrones de fragmentación, este último es el resultado del cálculo del índice anteriormente expuesto.

- **Insumos de información cartográfica**
 - Polígono delimitación del ámbito de análisis
 - Mapa de coberturas de la tierra.
 - Capa de índice de fragmentación x unidad fisiográfica
- **Procedimientos generales**



El ambiente
es de todos

Minambiente



- Intersección de capa del índice general de patrón de fragmentación por unidad fisiográfica con mapa de coberturas de la tierra.
- Cálculo de métricas del paisaje, sobre la capa de cobertura, por categoría de fragmentación (ArcGis-Fragstat).

4.6.2.4. Caracterización biofísica

La caracterización de los sistemas productivos debe ser parte de la metodología para los análisis de fragmentación y la caracterización de las causas, pues a partir de las diferentes formas de uso del territorio se pueden identificar cuáles pueden ser aquellas prácticas locales y/o campesinas que conllevan a la fragmentación y además aportan a identificar las acciones de manejo para mitigar aquellos procesos de transformación.

Antes de empezar a generar los análisis de fragmentación y la identificación de las causas, se deben desarrollar protocolos metodológicos que permitan la caracterización biofísica de los procesos de fragmentación del área de estudio, asociada a la población y a la dinámica de todos los factores formadores del paisaje. Lo anterior es un insumo que ayuda a complementar la caracterización de los sistemas productivos y a entender las dinámicas que propician estos efectos.

Las caracterizaciones biofísicas y la identificación de los sistemas productivos, deben estar relacionados a nivel predial. Pues dada la escala de trabajo, el predio se convierte en la unidad de análisis que permitirá empezar ciertas acciones de manejo, que aporten a la recuperación de la estructura, composición y función del paisaje.

Para la caracterización biofísica se propone trabajar sobre la unidad de análisis de sistemas productivos, sobre estos se deben identificar aspectos de coberturas, clima, geomorfología, fauna y vegetación. Dicha caracterización debe ir espacializada, por lo menos en aspectos de geomorfología y coberturas y hacer el cruce a nivel de predio. Es importante la utilización de sensores remotos de alta resolución que permita la interpretación de coberturas a escala muy detallada (1:10.000), con el propósito de identificar y delimitar coberturas naturales, pero también poder llegar a interpretar unidades relacionadas con las diferentes formas de uso. Para la caracterización espacial se deben seguir todos los protocolos y estándares definidos a nivel regional y subregional (metodología y leyenda Corine Land Cover), haciendo los ajustes necesarios en las escalas de captura de la información y agregando la fase de corroboración en campo, la cual se convierte en una etapa clave que permitirá reconocer con exactitud el tipo de uso dado a nivel predial y los sistemas productivos asociados.

Además de lograr una caracterización que permita elaborar mapas detallados de coberturas, se debe también realizar una caracterización de la fauna y la flora presente por cada sistema productivo identificado. Para dichas caracterizaciones, se recomienda seguir muestreos sistemáticos muchos de los cuales están planteados los pasos metodológicos desarrollados en por el instituto Humboldt en el Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad (Villareal et al, 2004).

Con base en la información de la caracterización biofísica relacionada con flora y fauna, se pueden identificar las especies con las cuales se desarrollan los análisis de conectividad y fragmentación, y previamente se lograrán reconocer aquellos remanentes de bosques y áreas naturales que deben ser incluidos en los diseños de corredores, como elementos de importancia para la conservación, pues allí se albergarán los mayores porcentajes de biodiversidad asociada a los territorios. Este hecho permitirá en campo diseñar las diferentes rutas que modificaban el diseño previo de lo que se esperaba implementar como un corredor de conexión, entre los diferentes fragmentos de bosque ubicados en medio de las dos áreas estratégicas. Sin embargo, es



Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



importante mencionar que dicha situación corresponderá a una parte de la estrategia, pues es claro que espacializar los sitios de conexión y definir los diseños finales, dependerán de las negociaciones y concertaciones con los propietarios de los predios.

4.6.2.5. Variables asociadas a la fragmentación

Para el ámbito local la información secundaria no es la principal fuente para la identificación de las causas directas y subyacentes de la fragmentación. Por tal motivo, para este ámbito se debe realizar una fase de caracterización biofísica y socio-económica, con el propósito de identificar las posibles causas de la fragmentación. Estas, serán en esta fase espacializadas utilizando como insumo principal cartografía oficial a escala 1:10.000 y sensores remotos de alta resolución que permitan delimitar e identificar espacialmente cada una de las causas identificadas en las fases anteriores.

Para cada una de las variables se genera un mapa tipo raster, según las unidades de medidas intrínsecas de cada variable. Todo este grupo de variables, entran dentro del modelo como aquellos factores explicativos para modelar espacialmente la distribución de cada unidad. A continuación, se describe los pasos metodológicos para la espacialización de cada variable definida:

- **Insumos de información cartográfica**
 - Polígono delimitación área de estudio
 - Mapa de variable independiente o explicativa
- **Procedimientos:**
 - Delimitación (corte) de la capa al límite del área de estudio.
 - Cálculo de valores de probabilidad de resistencia.
 - Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

4.6.2.6. Caracterización de las variables asociadas a la fragmentación

Una vez espacializadas las variables que pueden explicar las unidades de fragmentación (fisiografía-grado de fragmentación-patrón), se estima la asociación entre dichas unidades versus cada una de las variables consideradas. Así, a manera de ejemplo, se tendría la asociación de las diferentes variables asociadas a las coberturas (ej. pastos) para aquellos sectores en Lomerío con una fragmentación alta y patrones espaciales tipo isla.

La espacialización y análisis de la asociación de las variables, permite encontrar los sitios en donde una causa es más relevante que otra en los procesos de fragmentación, es decir que dentro del área de estudio se evidenciarán zonas en donde por ejemplo el relieve y las vías tengan influencia sobre estos procesos, mientras que se encontrarán zonas en donde dichas variables no tengan mayor relevancia. Para esto, es posible utilizar el programa MaxEnt, el cual, por su desarrollo conceptual, permite modelos para este tipo de ejercicios. Esta herramienta presenta interesantes aplicaciones de cara a la reintroducción, la modelización potencial de la distribución de especies invasoras o a la distribución futura de especies frente al cambio climático. Para el caso particular de los análisis de fragmentación, dicha herramienta proporciona potenciales zonas en donde se den estos procesos, bajo unas condiciones biofísicas y socio-económicas predeterminadas.

Para la espacialización en MaxEnt de las probabilidades de ocurrencia de una unidad de análisis, se utilizan como insumos principales, la variable dependiente, que hace referencia a los puntos de cada tipología de unidad de análisis, y el grupo de variables independientes o explicativas que se identifiquen en la fase de caracterización biofísica y socio-económica.

- **Insumos de información cartográfica**
 - Polígono delimitación del ámbito de estudio (Sinchi)
 - Capa de índice de fragmentación por cada unidad fisiográfica (Elaboración propia)
 - Mapa de variables establecidas (explicativas)
- **Procedimientos generales**
 - Asociación de variables versus unidades de análisis de fragmentación

4.6.3. Resultados Esperados

En términos generales los resultados son los mismos para los diferentes ámbitos, aunque las características por cada uno varían de acuerdo a las diferencias en el detalle (espacial y temático) y tipo de las variables consideradas en cada caso.

- Índice general de Fragmentación a escala predial
- Caracterización estructural áreas bajo diferentes niveles de fragmentación
- Identificación de variables asociadas a procesos de fragmentación
- Caracterización biofísica de los predios asociados a zonas con diferentes grados de fragmentación.

5. ANÁLISIS DE MOTORES DE FRAGMENTACIÓN

5.1. MARCO CONCEPTUAL

5.1.1. Fragmentación

Es el proceso mediante el cual la pérdida de hábitat resulta en la división de un hábitat extenso y continuo, en uno con un gran número de pequeños parches de menor área, aislados unos de otros, disímiles y heterogéneos, inscritos en una matriz de hábitat (Didham, 2010). La fragmentación del paisaje es un fenómeno a escala de paisaje, donde los procesos a nivel de parche (área, efecto de borde y complejidad de formas, entre otros indicadores) solo pueden ser entendidos en el contexto de paisaje (aislamiento y estructura de la matriz, factores determinantes y motores). La fragmentación interactúa fuertemente con otros componentes del cambio global ambiental, incluyendo especies invasoras, intensificación del uso de la tierra y cambio climático. (Didham, 2010)

La fragmentación de los paisajes se encuentra íntimamente relacionada con su conectividad, y en términos generales entre mayor fragmentación, menor el grado de conectividad. Esto dependiendo del tipo de organismo o proceso ecológico en consideración. Es un proceso que genera gran preocupación dado que impacta el balance energético del paisaje, altera la función de los ecosistemas naturales y su condición, y afecta procesos ambientales como el mantenimiento de la biodiversidad, las tasas de extinción y la riqueza de especies y los servicios ecosistémicos, (Renó, Novo, & María, 2016; Saura, 2013; Bennet 2004).



El ambiente es de todos

Minambiente



La fragmentación se debe al desarrollo de actividades humanas intensivas y a disturbios naturales; las primeras con un mayor efecto en hábitats y de ecosistemas, mediante la introducción usos de la tierra para diferentes propósitos. Este tipo de actividades influyen en la transformación del paisaje en escalas temporales cortas, aunque pueden darse durante largos periodos y por lo tanto ser determinantes en el moldeamiento de la estructura de los paisajes en el largo plazo (Forman & Gordon 1986; Zonneveld & Forman 1990; Geist & Lambin 2002). Es así como las áreas para asentamientos humanos, la infraestructura de transporte y el cambio en el área de la superficie del recurso hídrico (represa) influyen la pérdida de hábitat y la fragmentación (Zeller et al 2012). Por tanto, la relación entre fragmentación, recursos naturales y desarrollo socioeconómico en la región deben ser considerados en la planificación del uso y manejo de la tierra (Didham, 2010). El estudio este proceso provee un vínculo significativo entre la ecología del paisaje y la planificación del uso y manejo del mismo.

Lo anterior por cuanto la existencia del ser humano depende de una amplia variedad de servicios provistos por los ecosistemas, para su sobrevivencia y buen vivir, dado que son la fuente de recursos de provisión o abastecimiento, soporte, culturales y regulación. Estos servicios están bajo la presión de la sociedad moderna para satisfacer su creciente demanda, que conlleva a un continuo proceso de deterioro tanto en cantidad como en calidad (Renó, Novo, & María, 2016).

5.1.2. Motor de fragmentación

El motor de fragmentación es la integración e interacción entre los siguientes elementos: causa directa, causa subyacente y agente que desarrolla la actividad que genera el cambio en el paisaje (Fragmentación) (puede ser directo o indirecto) (Zhang, Liu, & Xiaojiang, 2017). Retomando el concepto de motor de deforestación propuesto por Sinchi, 2016, este se define como “... la conjunción entre la causa directa que patrocina una actividad que genera deforestación, la causa indirecta que más la influye y el agente que está vinculado con la actividad”.

La causa directa corresponde a las actividades humanas o acciones que impactan de manera directa los ecosistemas naturales. Pueden ser agrupadas de acuerdo a motores como: expansión de la frontera agrícola, expansión de la ganadería, ampliación de infraestructura vial, y extracción de maderas y otros recursos naturales, caso minería (Zhang, Liu, & Xiaojiang, 2017). Por su parte González y colaboradores (2018) definen las causas directas, en el caso de la deforestación, como las actividades humanas que afectan directamente los bosques y que agrupan los factores que operan a escala local, diferentes a las condiciones iniciales estructurales o sistémicas, que se basan en el cambio de uso de la tierra y que afectan la cobertura natural mediante el aprovechamiento de los recursos existentes, o su sustitución, para dar paso a otros usos. Las causas directas permiten entender cómo se transforma un ecosistema natural.

La causa subyacente trata de las interacciones complejas entre procesos fundamentales sociales, económicos, políticos, tecnológicos y culturales, que frecuentemente están distantes del área de impacto directo de la fragmentación. Este tipo de causa apuntala las causas directas y opera bien a nivel local o teniendo un impacto indirecto en el nivel regional y nacional. Están relacionadas con circunstancias internacionales, (como es el caso de los mercados de materias primas), nacionales (caso crecimiento de la población, mercados, políticas nacionales y gobernabilidad) y locales (cambio en el comportamiento de los hogares) (Zhang, Lui & Xiaojiang, 2017). En el caso del análisis de motores de deforestación éstas son consideradas como aquellos factores que refuerzan las causas directas y que “agrupan complejas variables sociales, políticas, económicas, tecnológicas y culturales, que constituyen las condiciones iniciales en las relaciones estructurales existentes entre sistemas humanos y naturales. Estos factores influyen en las decisiones tomadas por los agentes y ayudan a explicar por qué se presenta el fenómeno de deforestación”. (González, et al, 2018)



Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



Un agente es la persona o grupo de ellas (públicas o privadas) que, influenciadas por diversos factores, toman decisiones sobre el cambio en uso del suelo en el paisaje, convirtiendo los ecosistemas naturales hacia usos que responden a sus intereses particulares, y cuyas acciones se ven manifiestas en el territorio a través de una o más causas directas (González, et al., 2018). Los agentes constituyen el actor más importante dentro de la caracterización, bien sea de la deforestación o de la fragmentación. Los motores de fragmentación son factores relativamente independientes, o poco influenciados, por otros factores en el sistema socio-ecológico del paisaje, por tal razón son los de mayor interés en los estudios de fragmentación. Los motores no son necesariamente aquellos factores que son más importantes en el paisaje.

5.1.3. Factores predeterminantes de la fragmentación del paisaje

Adicionalmente a las causas de un motor, es necesario considerar la existencia de factores predeterminantes de dicho proceso, correspondientes a aquellos los elementos, naturales o antrópicos, que favorecen o propician las condiciones para que la fragmentación se lleve a cabo y persista en una región. Cada vez que esas condiciones se reúnen hacen probable la fragmentación. (SINCHI, 2016). *“Los factores biofísicos definen la capacidad natural o la predisposición para los cambios de uso, particularmente mediante un conjunto de variables como el clima, los suelos, la litología, la topografía, el relieve, la hidrología y la vegetación, que presentan una variación espacio-temporal. Esta variabilidad interactúa con las causas humanas de cambio de cobertura, y en muchos casos, cuando va de la mano de factores institucionales propicios, juega un papel importante en la protección de áreas ante los fenómenos de deforestación y erosión”.* (González, et al., 2018). Los factores antrópicos *“agrupan complejas variables sociales, políticas, económicas, tecnológicas y culturales, que constituyen las condiciones iniciales en las relaciones estructurales existentes entre sistemas humanos y naturales. Estos factores influyen en las decisiones tomadas por los agentes y ayudan a explicar por qué se presenta el fenómeno de deforestación”* (González, et al., 2018).

El conjunto de factores predeterminantes permite diferenciar causas directas y subyacentes, al igual que agentes y sus actividades generales. Al igual que los factores, las causas se determinan según su grado de autonomía, ya que responden a los intereses de los agentes que actúan de manera autónoma, pues tienen control sobre sus acciones y tienen definido un proceso para lograr sus metas y objetivos, si bien interactúan con otros agentes. Los motores y sus agentes son los que interesan para la construcción de políticas, estrategias, programas y proyectos para la neutralización y control de la fragmentación del paisaje regional, pues su análisis permite entender la toma de decisiones, base para orientar la planificación de uso de las tierras en la Amazonia colombiana.

5.1.4. Patrones espaciales de fragmentación del paisaje

El patrón de fragmentación es el modo en que se va transformando el paisaje, es la forma como el agente, mediante la actividad que desarrolla en el paisaje, apropia el territorio para su beneficio. Los patrones de fragmentación tienen un comportamiento espacial y temporal y obedecen al conjunto de factores que los determinan. Según Zhang, Liu, y Xiaojiang (2017) hay cuatro procesos espaciales y temporales de fragmentación del paisaje: perforación, subdivisión, contracción (pérdida en tamaño y calidad) y desgaste (reducción, pérdida de resistencia) o proceso gradual de deterioro.

La perforación se presenta en las primeras fases de cambio del paisaje, mientras que la segunda y tercera se presentan en las fases intermedias del cambio del paisaje, y la cuarta ya se da en los parches aislados. A nivel de paisaje se analiza el patrón, la formación de parches, la subdivisión y el aislamiento. A nivel de subregional o local se analizan procesos, en especial referidos a las fases 2 y 3, que corresponden a las fases medias de

cambio. Para controlar y reducir la fragmentación es necesario actuar en ambos niveles. (Zhang, Liu, & Xiaojiang, 2017)

Por su parte, Arima y colaboradores (2008) identifican cinco patrones de fragmentación en la Amazonia brasilera: geométrico, corredor, espina de pescado, difuso, parches e islas. Estos patrones son descritos la metodología del componente biofísico. El patrón espacial de fragmentación se presenta de manera diferenciada según el paisaje en el que se ubica este fenómeno; para la región amazónica, este patrón difiere también según los grandes paisajes fisiográficos. (Ibídem) Una vez ya identificado cada patrón, no se tendrá en cuenta en la identificación de otros patrones que se presenten en el paisaje.

5.1.5. Impactos generados a los ecosistemas por los motores de fragmentación

Para la identificación de los principales impactos se deben tener en cuenta los siguientes elementos:

- Biodiversidad
- Servicios ecosistémicos
- Motores de fragmentación

Según el Instituto Alexander von Humboldt y siguiendo lo planteado en el Convenio de Biodiversidad, “... el término biodiversidad o diversidad biológica se refiere a la variedad de organismos vivos de cualquier tipo. Esta variedad puede expresarse en términos de diferentes especies (la palma de cera, el caimán llanero, etc.), variabilidad dentro de una sola especie, o de la existencia de distintos ecosistemas (...) Por su parte, un ecosistema es la unidad básica funcional de la naturaleza. Comprende los organismos vivos, el ambiente no viviente, y sus interrelaciones” (<http://www.humboldt.org.co/es/biodiversidad/que-es-la-biodiversidad>).

Los ecosistemas proveen un conjunto de bienes ecosistémicos, su uso por los seres humanos se deriva en lo que se ha denominado como servicios ecosistémicos, por los beneficios que prestan a la sociedad (World Resource Institute, 2005). Pueden ser clasificados en bienes y servicios, diferenciando de esta forma lo que es tangible, de aquello que brinda un beneficio y por tanto es menos perceptible (World Resource Institute, 2005). Cabe precisar que la principal diferencia entre funciones y servicios ecosistémicos radica en que las funciones existen independientemente de su uso, demanda, disfrute o valoración social, traduciéndose en servicios sólo cuando son usadas, consciente o inconscientemente por la población. Los servicios ecosistémicos se agrupan en tres bloques, que la Política Nacional para la Gestión integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos describe de la siguiente forma (MADS, 2014):

- Servicios de Aprovisionamiento:** Son los bienes y productos que se obtienen de los ecosistemas como alimentos, fibras, maderas, leña, agua, suelo, recursos genéticos, pieles, entre otros.
- Los Servicios de regulación:** son los beneficios resultantes de la regulación de los procesos ecosistémicos, incluyendo el mantenimiento de la calidad del aire, la regulación del clima, el control de la erosión, el control de enfermedades humanas y la purificación del agua, entre los más relevantes.
- Los servicios culturales:** son los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas, a través del enriquecimiento espiritual, belleza escénica, inspiración artística e intelectual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas (MEA, 2005).

La relación existente entre biodiversidad – servicios ecosistémicos – beneficios a las comunidades humanas, es el principio para identificar los impactos que genera la fragmentación del paisaje, impactos que se ven

continuamente influenciados por la variabilidad climática⁶ y el cambio climático⁷, que a su vez dependen de la estrecha interacción que existe entre estos y la forma en que usan y manejan los ecosistemas, y en el cómo se desarrollan las actividades humanas. “La biodiversidad tiene una expresión territorial concreta, en sus diferentes niveles de organización, desde genes hasta ecosistemas,...; muchas de estas interacciones ecológicas complejas se expresan como servicios ecosistémicos, los cuales constituyen beneficios directos e indirectos que los seres humanos reciben de la biodiversidad” (Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos, 2012).

La biodiversidad en nuestro país y en los países de América Latina en general es muy vulnerable a los cambios en los ecosistemas, generados por las actividades humanas y por los impactos del cambio climático, dada su alta riqueza y sus endemismos. La afectación de la biodiversidad tiene a su vez consecuencias directas en las comunidades que dependen de los servicios ecosistémicos de los cuales se beneficia, que son base fundamental para el desarrollo de sus diversas actividades fundamentales y productivas.

Los impactos son complejos, dinámicos e interactúan en distintas escalas espaciales y temporales, de tal forma que cualquier impacto en un ecosistema desencadena una red de interacciones con las actividades humanas asociadas y los impactos que ellas generan. Los impactos en los ecosistemas son causados por factores que interactúan entre sí. La interacción entre impactos también es fuente de cambio. Es el caso de los impactos acumulativos y sinérgicos.

Los motores de fragmentación del paisaje amazónico generan una serie de impactos que afectan de manera directa e indirecta los ecosistemas, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. A su vez, desencadenan procesos de deterioro del paisaje y pérdidas irreversibles, dada su interacción por los efectos acumulativos y sinérgicos. Los impactos generados a los ecosistemas inciden de manera directa en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de los que depende el ser humano para su existencia. En la Figura 5.1, se encuentra la relación existente entre la fragmentación, causada por intervenciones físicas (1), sociales y económicas (2) que conducen a cambios biofísicos (3) y sociales (4), y cada uno de éstos puede potencialmente conducir a otros cambios de orden superior (5). Algunos cambios sociales conducen a cambios biofísicos (6). Dentro de su ámbito de influencia y según el tipo de ecosistema en el que se influya (7), los cambios biofísicos pueden actuar en diferentes aspectos de la diversidad biológica. Si estos impactos son importantes, causan un impacto en los servicios de los ecosistemas proporcionados por la diversidad biológica (8). Los impactos en los servicios de los ecosistemas conducirán a un cambio en la valoración de estos servicios de parte de los diversos interesados de la sociedad (9) y por ende afectarán al bienestar del ser humano. Las personas pueden responder a los cambios en el valor de los servicios de los ecosistemas y actuar en consecuencia (10), produciendo así nuevos cambios sociales.

6 “Desviación de las estadísticas del clima de un determinado período (mes, estación o año) respecto a las estadísticas a largo plazo de dicho lapso (OMM, 2012). Oscilaciones del clima en períodos de años y decenios”. (MADS, 2018)

7 “Variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo”. (MADS, 2018)



Figura 5.1. Relación existente entre los motores de fragmentación y sus impactos, con la biodiversidad y los servicios ecosistémicos

Es de tener en cuenta que los motores de fragmentación interactúan en el mismo territorio, de tal forma que se generan impactos que son causados por su articulación e interacción, es decir por la sinergia entre ellos. Los impactos que tienen los seis motores de fragmentación del nivel regional, identificados y caracterizados, generan impactos de diferente magnitud y algunos de ellos inciden a los tres niveles: regional, sub-regional y local.

De otra parte, la relación causal entre las causas de la fragmentación, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos y los impactos que se generan, puede ser observada en la Figura 5.2. Tanto las causas directas como indirectas o subyacentes de los motores de fragmentación del paisaje, inciden en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, causas que se retroalimentan e entre sí e interactúan con aquellas que corresponden a otros motores de fragmentación del paisaje, generando impactos en la biodiversidad, los ecosistemas y los servicios ecosistémicos, que sin duda alguna tienen impactos directos en el bienestar humano.

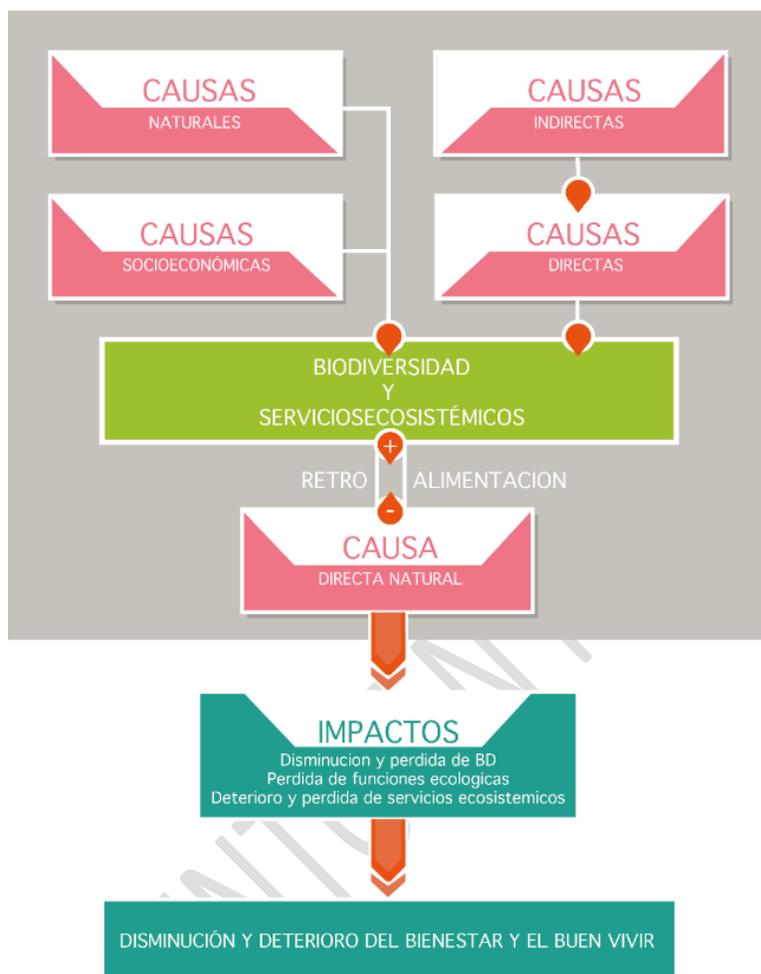


Figura 5.2. Relación causal entre biodiversidad y servicios ecosistémicos, e impactos generados por fragmentación

5.2. OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización socioeconómica de los motores de fragmentación, agentes y causas directas con énfasis en causas subyacentes y la identificación de oportunidades para atenuar los riesgos frente a la fragmentación y potenciar las fortalezas con respecto a la conectividad, la restauración y la conservación en la región amazónica.

5.3. ÁMBITO REGIONAL

5.3.1. Objetivos Específicos

- Identificar y caracterizar con criterios sociales y económicos los agentes y las causas directas y subyacentes que generan la fragmentación a escala regional.
- Priorizar agentes y causas de fragmentación a escala regional.

- Realizar análisis de una línea de tiempo de cómo han actuado los motores de fragmentación identificados.
- Proponer estrategias de manejo para detener y desarticular los motores de fragmentación identificados.
- Caracterizar los principales impactos generados a los ecosistemas o a los componentes de estos, por parte de los motores de fragmentación identificados.

5.3.2. Metodología

Los propósitos finales del análisis de motores de fragmentación a nivel regional son:

- Brindar lineamientos para el diseño de políticas y estrategias orientadas a controlar la fragmentación de ecosistemas naturales y las áreas de especial importancia ecológica.
- Aportar estrategias para la planificación del uso de la tierra a escala 1:100.000 y lineamientos ambientales para los planes de desarrollo rural integral.
- Aportar instrumentos de manejo del territorio para el ordenamiento ambiental.

5.3.2.1. Descripción general de los procedimientos planteados en el ámbito regional

La metodología general para la identificación y caracterización de los motores de fragmentación se encuentra en la Figura 5.3.

Los agentes y motores se van priorizando a medida que se avanza en el análisis de factores predeterminantes. A medida que se avanza en la revisión de fuentes secundarias se pueden establecer criterios de priorización ajustados a la realidad amazónica.

Los criterios de priorización de los motores de la fragmentación del paisaje regional son:

- **Relevancia:** patrones de fragmentación que ocupan un mayor espacio geográfico y que han persistido en el tiempo.
- **Fragmentación versus conectividad:** patrones y unidades fisiográficas que evidencian diversas etapas del proceso de transformación del paisaje y que presentan fragmentación activa donde es posible revertir el proceso para garantizar la conectividad.
- **Similitud:** Similitud en su contribución a la fragmentación del paisaje regional. (SINCHI, 2017).

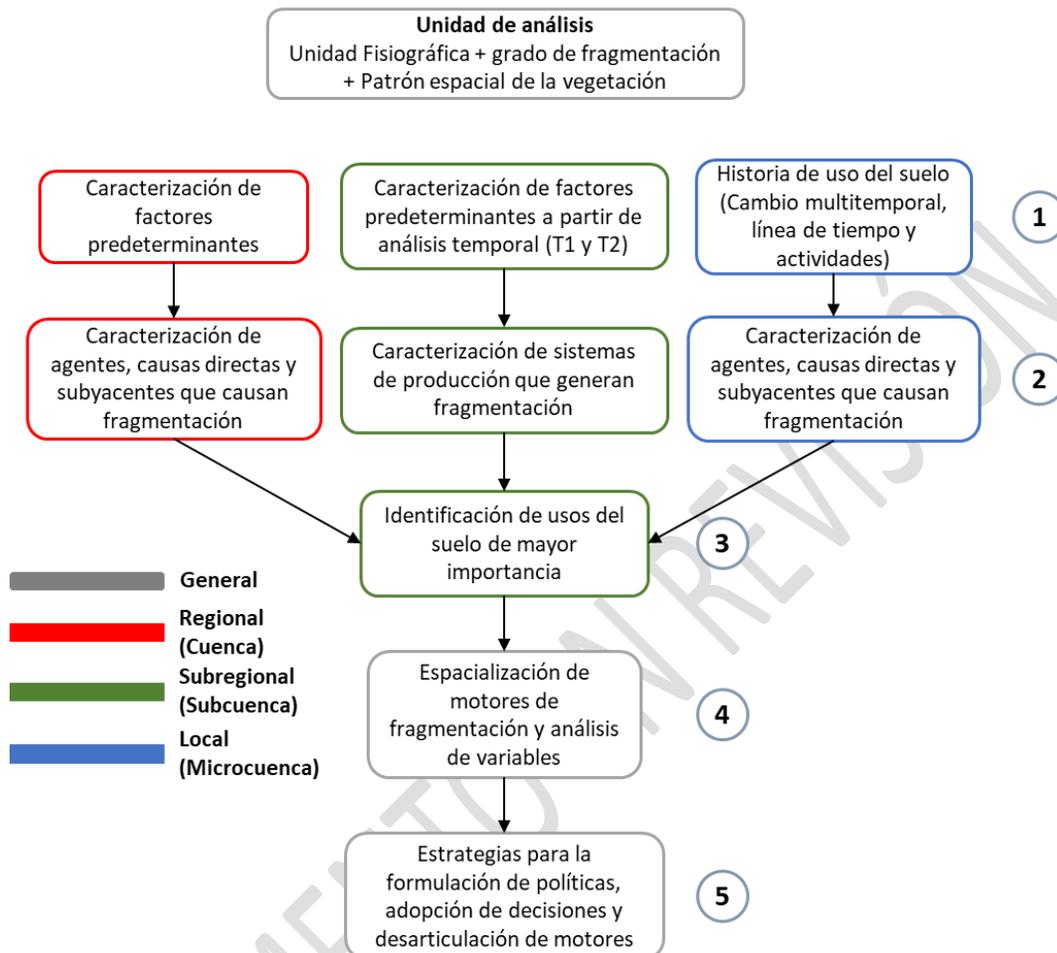


Figura 5.3. Metodología general para la identificación y caracterización de motores de fragmentación

5.3.2.2. Delimitación del área de estudio para el análisis de motores de fragmentación

Si bien el área de estudio es la región amazónica colombiana delimitada por el Instituto Sinchi, el análisis de motores de fragmentación se refiere a aquellas zonas donde se presenta el fenómeno de fragmentación del paisaje, con base en la información generada desde el componente biofísico. Para el presente caso se propone tener en cuenta las áreas que en cada unidad de paisaje fisiográfico presentan diferente tipo de fragmentación (alta, media y baja), según patrón espacial de fragmentación de la vegetación. Así, la unidad espacial de análisis es el área fragmentada, según estratos fisiográficos y patrones de fragmentación, referida a una entidad territorial local (ej. municipio, corregimiento).

5.3.2.3. Identificación y caracterización de los factores predeterminantes de la fragmentación.

Los factores predeterminantes de la fragmentación se identifican a partir de la revisión de fuentes secundarias que permitan identificar aquellas decisiones y acciones sobre el territorio que favorecen y propician de manera directa o indirecta la fragmentación del paisaje. En este orden, es preciso tener en cuenta un análisis que se

aproxime a la complejidad y dinámica del sistema económico, social, político, cultural e institucional que se encuentra en el paisaje, dado que los roles de los diferentes actores son determinantes a la hora de definir acciones que neutralicen y controlen la fragmentación. La información es gestionada, analizada y generada para el área delimitada en la que se presenta la fragmentación del paisaje.

5.3.2.4. Análisis del contexto regional.

Permite identificar los factores predeterminantes de la fragmentación del paisaje, la dinámica de ocupación e intervención del paisaje y la separación de aquellos factores que determinan y permiten precisar las causas directas, de los que determinan las causas subyacentes.

- **Procedimientos generales**

- Identificación de los factores predeterminantes en un período de tiempo de 16 años, que permite identificar las causas con mayor precisión, a su vez que posibilitan establecer tendencias. Este paso se lleva a cabo con base en revisión de fuentes secundarias oficiales (DANE, SINCHI, IDEAM, MADR, MADS, Gobernaciones, Corporaciones de Desarrollo Sostenible – CDS). Se propone tener en cuenta la siguiente agrupación:

Tabla 5.1. Insumos para la identificación de los factores predeterminantes en el ámbito regional

FACTOR	TEMAS	FUENTES DE INFORMACIÓN
Facilidades de acceso	Red hídrica Asentamientos nucleados: primario o principal Red vial: camino y vías (primarias, secundarias y terciarias)	Espacial: Mapa base escala 1:100.00 Mapa de distancias 1:100.000 División político administrativa
Gobernabilidad	Políticas y programas de uso y manejo del territorio, conservación y restauración, control a la ocupación de áreas de importancia ecosistémica. Políticas y medidas de control e interdicción a actividades no permitidas. Interacción entre agencias estatales y actores sociales en los procesos de toma de decisiones. Estrategias y alternativas de manejo del territorio de acuerdo a su aptitud y a su estado legal.	Documental: Planes y programas institucionales Planes de desarrollo territorial (ordenamiento y desarrollo a nivel departamental) Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de Bosques Delimitación de Frontera Agrícola Espacial: Estado Legal del Territorio Frontera Agrícola Zonificación ambiental post-conflicto
Cambio de coberturas/cambio de uso del suelo	Patrones de asentamiento Cambio de coberturas Tipos de uso del suelo Permanencia, pérdida o ganancia por tipo de coberturas (naturales, seminaturales, antrópicas, cuerpos de agua y urbanas)	Documental y atributos: Perfiles urbanos, anillo de poblamiento (Sinchi) Sistemas de producción agropecuarios (Sinchi) Espacial: Sistemas de producción (Sinchi) Análisis multi-temporal de coberturas 2002-2016 (Sinchi)

FACTOR	TEMAS	FUENTES DE INFORMACIÓN
Político y legislativo	Agropecuarias y económicas Ambientales Sociales Tecnológicas Forestales Planeación del uso de la tierra	Documental: Políticas de fomento agropecuario y forestal (MADR). Incentivos. Política Integral de Gestión de la Biodiversidad Ordenamiento ambiental Evaluación de tierras (UPRA): usos agropecuarios y usos forestales.
Económico	Orientación productiva Estructura de mercados Acceso a factores de producción: tierra, capital, trabajo, tecnología e información. Desarrollo de infraestructura vial y de apoyo a la producción agropecuaria	Documental: Cadenas productivas por departamento. (MADR) Atlas de la propiedad rural (IGAC) Principales líneas de crédito (MADR y gremios) Mano de obra (DANE) Oferta tecnológica e institucional (Colciencias, MADR, MADS) Oferta de información: ADR, Sinchi Censo Nacional Agropecuario (DANE) Planes de desarrollo vial (INVIAS) y dotación de infraestructura para la producción
Social	Población: Estructura y distribución Migración Pobreza multidimensional	Documental y atributos: Censo de población y proyecciones por departamento (DANE) Desplazamiento forzado (Unidad de Atención y Registro Integral de Víctimas – UARIV, Observatorio de Derechos Humanos) Espacial: Densidad poblacional en área intervenida (fragmentada) Presiones socioambientales (Sinchi)

5.3.2.5. Identificación de patrones de fragmentación según estrato fisiográfico.

Esta identificación se realiza a nivel espacial y temporal, mediante los siguientes pasos:

- **Procedimientos generales**

- Los patrones de fragmentación en el paisaje regional, según estrato fisiográfico se identifican con ayuda de imágenes de sensores remotos, teniendo en cuenta el período de análisis propuesto (15 años) y se pueden clasificar de dos maneras:
 - Según se trate de abiertos aislados (perforación), subdivisión (ej. en forma de espina de pescado), contracción (pérdida en tamaño y calidad) y desgaste (reducción, pérdida de resistencia) o proceso gradual de deterioro, a medida que avanza la frontera agrícola de manera más continua.
 - Si se trata de patrón geométrico, corredor, espina de pescado, difuso, parches e islas.

Estas dos formas de clasificación se encuentran asociadas y pueden ser complementarias al momento de identificar y clasificar los patrones de fragmentación.

- Análisis de la evolución temporal, en un lapso de 16 años (2000-2016) y del estado actual de fragmentación, con el fin de continuar los análisis.

Tabla 5.2. Insumos para los análisis de la evolución temporal de la fragmentación

PATRONES DE FRAGMENTACIÓN	FISIOGRAFÍA	FUENTES DE INFORMACIÓN
Patrón 1 a n	Unidad fisiográfica 1 a n	Espacial: Imágenes de sensores remotos 2002-2016 (Sinchi) Unidades fisiográficas generales (Sinchi)

5.3.2.6. Identificación de actividades que generan fragmentación del paisaje y sus principales características y actores relacionados.

Los procedimientos para tal identificación se especifican en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Identificación de actividades que generan fragmentación

PATRÓN DE FRAGMENTACIÓN SEGÚN ESTRATO FISIOGRÁFICO	TEMAS	FUENTES DE INFORMACIÓN
Patrón 1 en Montaña (ej) versus factor predeterminante: Facilidades de acceso Gobernabilidad Cambios de cobertura/uso Económicos Sociales	Actividades de ocupación y uso del suelo que generan fragmentación depuradas: Agricultoras, agroindustriales Pecuarias: ganadería bovina Extractivas: aprovechamientos forestales (madera), hidrocarburos y minería Población a nivel departamental y municipal asociada a los patrones de fragmentación Accesibilidad (vial y fluvial) asociada a los patrones de fragmentación	Análisis realizados en los pasos anteriores (factores predeterminantes y patrones) Documental y atributos: Atlas de la propiedad rural en Colombia (IGAC 2012) Población bovina por municipios y departamentos (ICA 2017) Volúmenes de madera otorgados por departamento y municipio (2002 – 2016) (Corporaciones de Desarrollo Sostenible) Análisis de la propiedad rural (UPRA, 2014) Censo Nacional Agropecuario (2017) Encuesta Nacional Agropecuaria (DANE, 2014-2016) Espacial: Uso y cobertura de la tierra en las áreas definidas para el estudio de fragmentación, según departamento y municipio Patrones de fragmentación ya identificados espacialmente Densidad poblacional (habitantes por km ² , en área intervenida) Densidad vial (km vía/km ² , en área intervenida) Mapa de tierras hidrocarburos (ANH) Mapa de explotación minera (ANM)

De acuerdo a la disponibilidad de información espacial y temporal para el nivel regional, se priorizarán las variables de análisis, teniendo en cuenta su calidad, pertinencia y oportunidad para aplicar la metodología.

5.3.2.7. Identificación y caracterización con criterios sociales y económicos de agentes y causas directas y subyacentes de fragmentación

Para continuar el análisis de los motores de fragmentación, se adelantará la identificación y análisis de causas directas y subyacentes, separando aquellos factores que tienen cierta autonomía y comportamiento individual, así se relacionen con los demás en el paisaje. Este análisis se centrará en el estado actual de la fragmentación del paisaje a nivel regional, referido al año 2016, en cuanto a información espacial. Algunos aspectos sociales y económicos definidos en los pasos anteriores permiten establecer una tendencia a 2018.

• Procedimientos generales

1. Priorización de las actividades de cambio según el patrón de fragmentación:
 - a. Con base en el análisis de los factores predeterminantes de la fragmentación, se especifican las actividades generadoras de cambio, apoyado con el mapa de coberturas de la tierra.
 - b. Acopio y organización de datos espaciales y de atributos de los diferentes aspectos relacionados con cada actividad, ya identificados en el punto anterior.
 - c. Procesamiento y análisis de información.
2. Identificación de motores de fragmentación.
3. Identificación y caracterización de agentes directos y sus roles en la fragmentación del paisaje.
4. Identificación de causas subyacentes por cada causa directa y análisis de las relaciones existentes entre ellas.
5. Identificación y caracterización de agentes indirectos y sus roles en la fragmentación del paisaje.

Tabla 5.4. Insumos para la identificación de causas y agentes de fragmentación

AGENTES, CAUSAS DIRECTAS Y SUBYACENTES DE FRAGMENTACIÓN	TEMAS	FUENTES DE INFORMACIÓN
Actividades priorizadas, relacionadas con los patrones de fragmentación	Actividades agropecuarias y extractivas ya priorizadas y mapeadas en el proceso anterior	Documental y espacial: Productos generados en el análisis de factores predeterminantes, en la identificación y espacialización de motores de fragmentación (teniendo en cuenta tipo y patrón de fragmentación, según unidad fisiográfica). Integración de las capas cartográficas generadas. Tipificación y caracterización de sistemas de producción (Corpoica y Sinchi)
Causas directas identificadas y agentes con sus roles analizados	Análisis causal de motores de fragmentación	Productos generados en los procesos anteriores. Espacial: Información espacial integrada generada en los procesos anteriores.

5.3.2.8. Espacialización de motores de fragmentación

Para una completa caracterización de los motores de la fragmentación no es suficiente con su identificación y el reconocimiento de aquellas variables que propician cada motor y que permiten caracterizarlo. Se hace



El ambiente es de todos

Minambiente



necesario también identificar espacialmente donde ocurren cada uno de estos fenómenos y además poder modelar dónde se ubican aquellas zonas que tienen las características que pueden llevar a que cada motor se desarrolle en el futuro. Para esto, es posible utilizar el programa MaxEnt, el cual, por su desarrollo conceptual, permite el modelamiento en este tipo de ejercicios.

MaxEnt es uno de los programas más empleados para el modelamiento de distribución potencial de especies con base en la máxima entropía en un contexto espacialmente explícito. A través de un sencillo entorno visual se pueden analizar estadísticamente diversas variables territoriales (ej. pendiente, temperatura, vegetación, altitud, humedad), junto a la distribución inicial de la especie. Como resultado se obtiene un conjunto de gráficas, tablas y mapas que advierten de la distribución potencial de la especie. Esta herramienta presenta interesantes aplicaciones de cara a la reintroducción, el modelamiento potencial de la distribución de especies invasoras o a la distribución futura de especies frente al cambio climático. Con base en la anterior, MaxEnt resulta un programa que permite modelar la distribución potencial de cada motor de fragmentación, con base en una serie de variables predeterminantes que explican su aparición y desarrollo, a la vez que su comportamiento espacial.

Los motores identificados son utilizados como las variables dependientes (para las cuales se desea modelar su distribución probable), que serán explicadas por un grupo de variables independientes o explicativas. Entre otras variables identificadas, se utilizan como insumos principales las coberturas de la tierra y la capa de cultivos ilícitos del SIMCI, así como las unidades espaciales de análisis definidas en los análisis de fragmentación.

Las coberturas de la tierra se asocian a un uso estrechamente relacionado con cada motor. En este sentido, por ejemplo, el motor de la expansión de la frontera agrícola se relaciona con coberturas tipo mosaico que contengan cultivos, las zonas quemadas y los bosques fragmentados con pastos y cultivos. Mientras que el motor de exploración y explotación de recursos minero energéticos, se relaciona con coberturas de explotación de hidrocarburos y zonas de minería.

Una vez asociadas las coberturas a un motor, estas se convirtieron a un mapa tipo “shape” de puntos, asociado a su presencia confirmada. De esta manera, se obtiene como resultado un mapa, que contiene una nube de puntos que indica dónde está ubicado o puede estar localizado el motor. Dicho mapa, es la variable dependiente que entra dentro del modelo para ejecutar en el MaxEnt.

Las variables independientes se pueden agrupar en dos grandes categorías, unas relacionadas a factores biofísicos y otras a factores socio-económicos. Para las variables relacionadas con factores socio-económicos, las unidades de análisis son la división municipal y corregimental, pues a cada uno, se le asigna un valor relacionado con los datos o variables definidas. Para las variables relacionadas con factores biofísicos, la unidad de análisis depende del factor de medida de cada una de estas. En este sentido, para la pendiente, por ejemplo, los valores están dados por porcentaje y cada pixel tiene un valor, mientras que, para la vocación del suelo, las unidades son las definidas en el mapa de suelos del IGAC.

Para cada una de las variables independientes se generó un mapa tipo “raster”, en donde algunas variables se delimitaron con base en los municipios y otras según las unidades de medidas intrínsecas de cada variable. Todo este grupo de variables, entraron como aquellos factores explicativos para modelar espacialmente la distribución de cada uno de los motores.

Al modelar la distribución de los motores a través del MaxEnt, es posible identificar espacialmente donde están ocurriendo cada uno de estos procesos, además de encontrar cuales son las principales causas que generan el desarrollo de cada motor. Entre los principales resultados que genera el MaxEnt, es un mapa con valores de 0 a 100, en donde los valores más altos indican una mayor probabilidad de ocurrencia del motor y los valores



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



más bajos menos posibilidad. También el programa arroja tablas y gráficas que ayudan a entender la participación de cada variable explicativa en la ocurrencia del motor.

Para presentar el mapa final de la modelación de cada motor, se organizan los resultados en cinco rangos iguales de probabilidad de presencia, saber; muy baja (0-20) baja (20-40), media (40-60), alta (60-80) y presencia comprobada (80-100). De esta manera, es posible identificar con mayor claridad donde se predican el desarrollo de los diferentes motores.

- **Insumos cartográficos**

- Polígono delimitación del ámbito de estudio (Sinchi)
- Mapa de coberturas de la tierra
- Otras capas temáticas que aporten a la espacialización de motores
- Mapa de división administrativa según ámbito de estudio
- Información de Unidades de Producción Agropecuaria
- Mapas de información biofísica

- **Procedimientos generales:**

- Agrupación de motores de fragmentación con base en coberturas de la tierra u otras capas temáticas
- Convertir los motores de fragmentación en un shape de puntos
- Relacionar información de Unidades de Producción Agropecuaria a mapa de división administrativa
- Generar mapas de información biofísica
- Análisis de distribución de fragmentación en MaxEnt.

5.3.2.9. Priorización motores de fragmentación.

La identificación, caracterización y priorización de factores predeterminantes está en función de la información disponible, de acuerdo a su calidad, pertinencia para el propósito definido. Este análisis permite adelantar la priorización de motores de fragmentación, complementada con la identificación y análisis de las actividades que generan fragmentación, para posteriormente ser refinada con los análisis de correlación entre motores.

La priorización anterior se puede complementar con el desarrollo de talleres con actores de carácter regional (ej. Corporaciones Autónomas, Sinchi, y expertos de la Mesa Técnica Ambiental), para validar información acopiada y resultados preliminares obtenidos. En este punto se pueden utilizar herramientas participativas, una de ellas son los Mapas Cognitivos Difusos –MCD (Fuzzy Cognitive Mapping) que permiten una efectiva participación pública para elaborar medidas de gestión del territorio. Esta herramienta permite la visualización de una red de conceptos y factores sistémicos que se vinculan mediante relaciones causa – efecto. (Solana et al., 2015). La MCD ayuda a describir los cambios en el paisaje que se deben a condiciones ambientales, políticas de escala multinivel y esquemas de gobernabilidad del paisaje, como también a factores económicos y sociales de los usuarios de la tierra y su población (Van der Sluis, et al., 2018).

Con este tipo de herramientas se propone resolver preguntas como las siguientes: ¿hay motores de cambio en el paisaje regional asociados a factores como apertura de mercados y globalización de la Amazonia?, ¿que se

deban a cambios en la política de uso de suelo?, ¿que respondan a la evolución cultural y social de su población?, ¿al control de la deforestación y las estrategias definidas para controlarla?

A medida que se avanza en la revisión de fuentes secundarias se pueden establecer preguntas más ajustadas a la realidad amazónica, que en materia de fragmentación orienten el ejercicio. El desarrollo de esta herramienta requiere que la identificación y caracterización de los agentes y las causas de fragmentación hayan sido abordadas.

Los criterios de priorización de los motores de la fragmentación del paisaje regional son:

- **Relevancia:** patrones de fragmentación que ocupan un mayor espacio geográfico y que han persistido en el tiempo.
- **Fragmentación versus conectividad:** patrones y unidades fisiográficas que evidencian diversas etapas del proceso de transformación del paisaje y que presentan fragmentación activa donde es posible revertir el proceso para garantizar la conectividad.
- **Similitud:** en su contribución a la fragmentación del paisaje regional. (Sinchi, 2017)

5.3.2.10. Correlación entre motores de fragmentación

La priorización de motores de fragmentación también se hace de una manera espacial, pues puede darse el caso que más de un motor tengan la misma participación en la distribución de los eventos de fragmentación. Para esto, las correlaciones entre motores deben hacerse por las unidades de análisis identificadas previamente para resolver los procesos y análisis anteriores. Es decir, que las correlaciones se hacen entre motores dentro de las unidades de análisis de grado fragmentación-patrón de fragmentación y fisiografía, de esta manera es posible identificar espacialmente donde la correlación de motores es mayor o menor, y así orientar las acciones de manejo sobre el territorio.

Para generar dichas correlaciones se necesitan las capas raster resultado de los procesos de identificación y espacialización de motores de fragmentación, elaborados mediante el MaxEnt y el shape de unidades de análisis. Estos dos insumos, muestran por unidad de análisis los motores que tienen mayores y menores correlaciones, evidenciados a través de una matriz de correlación múltiple.

A través de las herramientas de análisis espaciales de ArcGis, se utiliza la función de estadísticas zonales por tabla, la cual resume los valores de una capa raster dentro de las zonas de otro conjunto de datos e informa los resultados en una tabla. Para este caso en particular, los archivos raster corresponden a la predicción de la distribución de cada motor de fragmentación y las zonas, corresponden a las unidades de análisis que resumen grado de fragmentación, patrón de fragmentación y fisiografía.

El resultado de este proceso, arroja una tabla por unidad de análisis, indicando el área que tiene cada motor por polígono encontrado. Este proceso, se hace para cada unidad de análisis y por cada motor de fragmentación, de tal manera que se obtenga un resultado final en donde se evidencia el área que tienen todos los motores en cada pixel por unidad de análisis (Tabla 5.5).

Tabla 5.5. Estructura de la matriz de valores de los motores por polígono de una unidad de análisis

UNIDAD	ID Polígono	MOTORES					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
X_i	1						
	2						

	3					
	4					

Una vez construida la tabla final en donde se relacionan el área del motor por unidad de análisis, se realiza el análisis de correlación múltiple entre motores. El resultado, muestra la correlación que existe entre motores por unidad de análisis, lo que permite hacer una priorización y desarrollar las acciones de gestión sobre algunos motores en particular, que permitan mitigar la fragmentación del territorio (Tabla 5.6).

Tabla 5.6. Estructura de la matriz de correlación múltiple entre motores de fragmentación

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
M1	1					
M2		1				
M3			1			
M4				1		
M5					1	
M6						1

- **Los insumos de información cartográfica son:**
 - Polígono delimitación del ámbito de estudio (Sinchi)
 - Mapa de unidades de análisis
 - Mapas potenciales de distribución de motores de fragmentación
- **Procedimientos generales:**
 - Cálculo de los valores de un motor de fragmentación en un pixel dentro de las unidades de análisis. Estadísticas zonales por tabla.
 - Cálculo de correlación múltiple.

5.3.2.11. Línea de tiempo de los motores de fragmentación identificados

La construcción de la línea de tiempo referida se realizará con base en el análisis regional mencionado en los pasos 1 y 2, mediante la construcción por consenso en espacios participativos que aborden el tema de motores de fragmentación, con expertos regionales de entidades que desarrollan acciones de investigación, conservación y desarrollo sostenible.

La herramienta consiste en la construcción de una línea que denota los hitos del tiempo en el cual sucedieron hechos significativos que impactaron el territorio y que afectaron positiva o negativamente los cambios en el uso del suelo, o que denotan cambios fundamentales en el paisaje del cual depende el buen vivir de la población. Se toma el período de tiempo que ha sido considerado en los análisis anteriores, es decir 15 años.

5.3.2.12. Estrategias de manejo para detener y desarticular los motores de fragmentación identificados.

Se trata de la identificación de oportunidades para atenuar los riesgos frente a la fragmentación y potenciar las fortalezas con respecto a la conectividad, la restauración y la conservación en la región amazónica colombiana.

Con base en las estrategias identificadas para controlar la deforestación y para el uso adecuado del suelo amazónico, y teniendo en cuenta la situación actual de fragmentación, se identificarán estrategias y acciones sostenibles, que sean viables tanto a nivel económico, como social y político. Así, se tendrán en cuenta las estrategias definidas en Visión Amazonia, Proyecto GEF 5 y 6, la Estrategia Integral de Control de Deforestación y Gestión Integral de Bosques, al igual que las generadas por el Instituto SINCHI y el IDEAM, así como las definidas por la Agencia de Desarrollo Rural en los Planes Departamentales de Acompañamiento Técnico Agropecuario. De igual forma, se considerarán las metas de planes de desarrollo y ordenamiento de las entidades territoriales departamentales, su coherencia y sus avances.

5.3.2.13. Caracterización los principales impactos generados a los ecosistemas o a los componentes de estos, por parte de los motores de fragmentación identificados.

Esta caracterización se basa en la revisión de fuentes secundarias, complementado con lo generado en conjunto con el equipo técnico a nivel biofísico, teniendo en cuenta el impacto de los motores de fragmentación en los servicios ecosistémicos y el buen vivir de la población.

Para el análisis de los impactos se tendrán en cuenta los servicios ecosistémicos y la biodiversidad presente en el área de estudio, para luego identificar los impactos que la fragmentación del paisaje tiene sobre ellos, afectación que impacta a la población que vive en el territorio analizado.

5.3.3. Resultados esperados

- Identificación, caracterización y priorización, en aspectos sociales y económicos, de los factores predeterminantes de fragmentación a nivel regional, según patrón de fragmentación y estrato fisiográfico.
- Identificación y caracterización de los patrones de fragmentación en el paisaje regional, según estrato fisiográfico.
- Identificación de actividades que generan fragmentación.
- Análisis de las causas directas y subyacentes de fragmentación
- Análisis de agentes de fragmentación.
- Análisis de Motores de fragmentación, con sus causas (directas y subyacentes) y sus agentes.
- Mapeo de la distribución potencial de los motores identificados
- Análisis de correlaciones entre motores de fragmentación por tipo de unidad de análisis.
- Análisis temporal del comportamiento de los motores de fragmentación y sus principales impactos en el territorio.

5.4. ÁMBITO SUBREGIONAL

5.4.1. Objetivos específicos

- Diseñar y poner en marcha instrumentos de política que se integren a planes departamentales y POMCA, o a las unidades del manejo del paisaje seleccionadas, articuladas al ordenamiento territorial ambiental.
- Brindar lineamientos que orienten el diseño de herramientas para el manejo sostenible del paisaje con el fin de neutralizar y controlar la fragmentación del paisaje.

- Aportar lineamientos ambientales para la planificación del uso del suelo a escala 1:25.000, para el control de la fragmentación.
- Brindar lineamientos para el desarrollo de instrumentos de planeación e intervención en el territorio, como PDET y PNIS, en cada subregión de análisis, que posibiliten la neutralización de la fragmentación del paisaje.

5.4.2. Metodología

5.4.2.1. Descripción general de los procedimientos planteados

El análisis de la fragmentación del paisaje a nivel subregional comprende los siguientes procesos:

- Delimitación del área de estudio (departamento, subcuenca o cuenca, Región Administrativa y de Planeación Especial - RAPE, corredor de conectividad ecológica, u otro ámbito territorial seleccionado) circunscrita de manera específica a aquella en la que presenta el fenómeno de fragmentación. La unidad espacial de referencia es el área fragmentada según estrato fisiográfico, tipo y patrón de fragmentación, por vereda.
- Análisis del paisaje de la unidad subregional definida, con énfasis en los principales factores predeterminantes de la fragmentación del paisaje, a nivel espacial (1:25.000) y temporal (15 años).
- Identificación de los patrones de fragmentación del paisaje y las actividades relacionadas con la fragmentación, a escala 1:25.000.
- Identificación y caracterización, con criterios sociales y económicos, de los agentes y las causas directas y subyacentes que generan la fragmentación a escala subregional, a escala 1:25.000.
- Espacialización de los motores de fragmentación
- Priorización de motores de fragmentación y análisis de correlación existente entre ellos
- Realización de un análisis histórico de la fragmentación del paisaje y sus impactos
- Diseño de estrategias de uso y manejo del territorio para controlar la fragmentación.

5.4.2.2. Factores predeterminantes de la fragmentación del paisaje

Los factores predeterminantes a nivel sub-regional, se agrupan según se trate de: los aspectos que posibilitan o limitan la gobernabilidad en el territorio, las facilidades de acceso, el cambio de coberturas y usos del suelo, aspectos de política y normatividad que inciden el quehacer en el territorio, las características económicas y productivas y las características sociales y culturales de la población que reside en el área seleccionada, o que se relaciona con el paisaje de alguna manera (desarrollo de actividades económicas, descanso y recreación, inversiones en bienes raíces o en mercados, etc). Estos factores predeterminantes permiten identificar y clasificar las actividades que causan fragmentación y sus causas directas y subyacentes, así como los agentes principales.

Tabla 5.7. Insumos para la caracterización de factores predeterminantes

FACTOR PREDETERMINANTE	TEMAS	FUENTES DE INFORMACIÓN
Gobernabilidad	<p>Programas de uso y ocupación del territorio (ordenamiento ambiental y territorial) y la reglamentación de usos.</p> <p>Políticas y medidas de control del uso y ocupación de áreas de especial interés ecológico o de importancia ambiental y de actividades no permitidas.</p> <p>Interacción entre programas de desarrollo y ordenamiento ambiental y territorial.</p> <p>Estrategias y alternativas de manejo del territorio de acuerdo a su aptitud (o capacidad de uso) y a su estado legal.</p>	<p>Documental:</p> <p>Planes y programas institucionales</p> <p>Planes de desarrollo territorial (ordenamiento y desarrollo a nivel departamental)</p> <p>Planes Regionales de Gestión Ambiental y Planes de Acción de las Corporaciones de Desarrollo Sostenible</p> <p>Delimitación de Frontera Agrícola, mecanismos de control</p> <p>Espacial:</p> <p>Estado Legal del Territorio (incluye la zonificación de POMCA, PIMA, PNNC, POF, delimitación de rondas, entre otros)</p> <p>Frontera Agrícola</p>
Facilidades de acceso	<p>Punta de colonización (punto de apoyo) y frontera de colonización</p> <p>Red hídrica y navegabilidad</p> <p>Asentamientos nucleados: primario o principal</p> <p>Red vial: camino y vías (primarias, secundarias y terciarias)</p>	<p>Espacial:</p> <p>Mapa base escala 1:25.000</p> <p>Mapa de distancias 1:25.000</p> <p>División político administrativa</p>
Cambio de coberturas/cambio de uso del suelo	<p>Patrones de asentamiento</p> <p>Cambio de coberturas</p> <p>Sistemas de producción agropecuaria y forestal</p> <p>Permanencia, pérdida o ganancia por tipo de coberturas (agrupadas en naturales, seminaturales, antrópicas, cuerpos de agua y urbanas)</p>	<p>Documental y atributos:</p> <p>Sistemas de producción agropecuarios (Sinchi)</p> <p>Anillo de poblamiento y presiones socioambientales (Sinchi)</p> <p>Espacial:</p> <p>Sistemas de producción (Sinchi)</p> <p>Análisis multi-temporal de coberturas 2002-2016 (Sinchi)</p>
Política pública y normatividad	<p>Políticas y programas de fomento agropecuario e incentivos a la producción, PNIS y PDET</p> <p>Políticas ambientales e incentivos a la conservación</p> <p>Programas Sociales (víctimas, desplazados)</p> <p>Tecnológicas</p> <p>Forestales (incentivos)</p> <p>Instrumentos de planificación del uso de la tierra y de planificación del paisaje</p>	<p>Documental:</p> <p>Políticas sectoriales (Fondos ganaderos, caucheros, palmicultores, otros)</p> <p>Incentivos y fomento a negocios verdes</p>
Económicos y productivos	<p>Visión deseada y prospectiva del territorio</p> <p>Sistemas de producción y acceso a mercados</p> <p>Cadenas productivas</p>	<p>Documental:</p> <p>Cadenas productivas predominantes en el área seleccionada</p> <p>Tamaño y tenencia de la tierra</p>

FACTOR PREDETERMINANTE	TEMAS	FUENTES DE INFORMACIÓN
	<p>Acceso a factores de producción: tierra, capital, trabajo, tecnología e información.</p> <p>Desarrollo de infraestructura vial y de apoyo a la producción agropecuaria</p> <p>Patrones culturales de producción</p>	<p>Principales líneas de crédito (MADR y grandes gremios) y fomento agropecuario y forestal</p> <p>Proyectos de desarrollo agropecuario y forestal</p> <p>Proyectos de conservación</p> <p>Programas y proyectos de transferencia de tecnología.</p> <p>Planes de desarrollo vial departamental y municipal y dotación de infraestructura para la producción, en el área seleccionada</p> <p>Espacial: Sistemas de producción</p>
Características sociales de la población	<p>Población:</p> <p>Estructura y distribución</p> <p>Migración</p> <p>Pobreza multidimensional</p> <p>Características culturales y diversidad étnica</p>	<p>Documental y atributos:</p> <p>Censo de población y proyecciones por departamento/municipio (DANE)</p> <p>Desplazamiento forzado (Unidad de Atención y Registro Integral de Víctimas, Observatorio de Derechos Humanos)</p> <p>Espacial:</p> <p>Densidad poblacional en área intervenida (fragmentada)</p> <p>Presiones socioambientales (Sinchi)</p>

5.4.2.3. Tipificación y caracterización de los sistemas de producción predominantes

Este análisis se desarrolla teniendo en cuenta tres aspectos fundamentales:

- Construcción de tipología a nivel subregional y caracterización mediante muestreo estratificado (por unidades del paisaje o fisiográficas). Implica selección de la muestra y aplicación de instrumentos como encuestas por consenso.
- Identificación de la historia de uso del suelo en cada tipología de sistema de producción.
- Identificar los principales factores de sostenibilidad de cada tipología.

5.4.2.4. Priorización de sistemas de producción que más contribuyen a la fragmentación del paisaje.

Esta priorización se fundamenta en dos aspectos fundamentales:

- Representatividad espacial y porcentual de los sistemas de producción en el paisaje
- Caracterización de las actividades que dentro de los sistemas de producción inciden en una mayor presión sobre los recursos naturales y generar fragmentación del paisaje

5.4.2.5. Identificación de los usos del suelo de mayor importancia

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co

Con base en las principales conclusiones del punto anterior, para la identificación de los usos del suelo de mayor importancia se considera:

- Seleccionar aquellos usos del suelo que son más importantes para la institucionalidad que los promueve como para las comunidades, según sus patrones culturales y visiones deseadas del territorio.
- Espacialización a la escala seleccionada (1:25.000), con base en el mapa de sistemas de producción y el de coberturas de la tierra.

Un enfoque alternativo al de sistemas de producción, o inclusive complementario, es el análisis de la oferta y demanda de servicios ecosistémicos. Para ello se requiere:

- Precisar la oferta de servicios ecosistémicos a la escala definida para el análisis subregional, tomando como base el análisis de oferta de los servicios ecosistémicos, basado en siete funciones ecosistémicas, adelantado por el MADS como insumo a la zonificación ambiental post-conflicto (disponible a escala 1:100.000). Se complementa con las zonificaciones ambientales de los PIMA (caso AMEM) o de la Reserva Forestal de la Amazonia.
- Analizar la demanda de servicios ecosistémicos de manera participativa con actores sociales estratégicos, a partir de los siguientes pasos:
 - Elaborar el mapa de ecosistemas a la escala definida. Los mapas existentes se encuentran a escala 1:100.000, o trabajar con mapas de coberturas agrupadas (naturales, semi-naturales, antrópicas, cuerpos de agua).
 - Identificar los beneficios (o bienestar) que brindan estos ecosistemas a la población, a partir de la identificación de los servicios ecosistémicos siguiendo la clasificación del IAvH.
 - Ya identificados, con un código cada uno, se ubican en el mapa de ecosistemas.
 - Luego se priorizan, cinco a diez, teniendo en cuenta como criterio, cuáles de ellos son indispensables para los habitantes.
 - Realizar la valoración de importancia y de estado de cada uno de los beneficios identificados y priorizados, mediante el diseño de matrices de valoración.

5.4.2.6. Identificación los patrones de fragmentación del paisaje y las actividades relacionadas

La identificación de patrones de fragmentación se adelanta según el paisaje fisiográfico, mediante la interpretación de imágenes de sensores remotos que permitan su identificación a la escala cartográfica propuesta, con la interpretación de coberturas de la tierra. De igual forma, se realiza su identificación a nivel temporal, en un período de 15 años.

En este proceso también se identifican las actividades que generan fragmentación del paisaje, se definen sus principales características y los actores relacionados. Este paso se basa en la definición de las principales unidades que representan los usos de la tierra de mayor importancia en la unidad de análisis seleccionada (subcuenca o cuenca, departamento, otra), teniendo en cuenta el análisis de los sistemas de producción ya adelantado y definiendo su vínculo con el patrón de fragmentación.

5.4.2.7. Identificación y caracterización, de los agentes, las causas directas y subyacentes de los motores de fragmentación.

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co

Mediante un análisis causal se llevará a cabo la identificación de los motores, sus agentes y causas directas y subyacentes de la fragmentación (Tabla 5.8), tomando como base la identificación de factores predeterminantes de la fragmentación del paisaje.

1. Priorización de las actividades que incentivan la fragmentación del paisaje, según el patrón de fragmentación:
 - a. Con base en el análisis de los factores predeterminantes de la fragmentación, se especifican las actividades generadoras de cambio.
 - b. Acopio y organización de datos espaciales y de atributos de los diferentes aspectos relacionados con cada actividad, ya identificados en el punto anterior.
 - c. Procesamiento y análisis de información.
2. Identificación y mapeo de motores de fragmentación.
3. Identificación y caracterización de agentes directos y sus roles en la fragmentación del paisaje.
4. Identificación de causas subyacentes por cada causa directa y análisis de las relaciones existentes entre ellas.
5. Identificación y caracterización de agentes indirectos y sus roles en la fragmentación del paisaje.

Tabla 5.8. Insumos para la identificación de actividades, causas y agentes asociadas a motores de fragmentación

MOTORES, AGENTES, CAUSAS DIRECTAS Y SUBYACENTES DE FRAGMENTACIÓN	TEMAS	FUENTES DE INFORMACIÓN
Actividades priorizadas, relacionadas con los patrones de fragmentación	Actividades agropecuarias y extractivas ya priorizadas y mapeadas en el análisis previo de los sistemas de producción identificando de manera específica los tipos de uso y las actividades que contribuyen a la fragmentación del territorio. Es de especial importancia considerar sus factores de sostenibilidad, pues permiten precisar las razones por las cuales los sistemas de producción se amplían y reproducen en el paisaje sub-regional.	Documental y espacial: Productos generados en el análisis del paisaje y de los sistemas de producción, o de la oferta y demanda de servicios ecosistémicos. Patrones de asentamiento y configuración espacial de territorio en el área seleccionada, basada en la integración y de las capas cartográficas generadas de patrones de fragmentación y sistemas de producción (o servicios ecosistémicos).
Causas directas y subyacentes identificadas y agentes con sus roles analizados	Análisis causal de motores de fragmentación, con base en revisión de fuentes secundarias y con revisión y ajuste de trabajo de campo. Identificación y mapeo de causas directas y agentes relacionados,	Productos generados en el proceso anterior (actividades priorizadas). Espacial: Información espacial integrada generada en el proceso anterior actividades priorizadas y resultados de la integración espacial allí mencionada.

MOTORES, AGENTES, CAUSAS DIRECTAS Y SUBYACENTES DE FRAGMENTACIÓN	TEMAS	FUENTES DE INFORMACIÓN
	revisión y ajuste con actores relacionados.	Identificación y ubicación espacial de causas.

5.4.2.8. Priorización de motores de fragmentación (agentes, causas directas y causas subyacentes).

La priorización de los motores de fragmentación a nivel sub-regional es base para la definición de las estrategias para su desarticulación. Para esta priorización, en primer lugar, se definen los criterios que orientan este paso. Estos, están en función de:

- Relevancia: patrones de fragmentación que ocupan un mayor espacio geográfico y que han persistido en el tiempo.
- Fragmentación versus conectividad: patrones y unidades fisiográficas que evidencian diversas etapas del proceso de transformación del paisaje y que presentan fragmentación activa donde es posible revertir el proceso para garantizar la conectividad.
- Similitud en su contribución a la fragmentación del paisaje regional. (SINCHI, 2017)

Para la definición de los principales criterios a nivel sub-regional se adelantará un análisis participativo con actores relevantes del área seleccionada para el análisis de motores de fragmentación a este nivel. Las herramientas participativas varían entre los Mapas Cognitivos Difusos –MCD y aplicaciones basadas en el Método Delphi, que propician una consulta a expertos técnicos como locales que son usuarios del paisaje en el área de estudio seleccionada. Ambas se adelantan con actores estratégicos y relacionados con el tema, tanto sociales, sectoriales, institucionales, académicos e investigadores, del ámbito regional.

La priorización también se realiza con el apoyo de los análisis de correlación entre motores, por cada unidad de paisaje.

5.4.2.9. Análisis histórico de la fragmentación del paisaje y sus impactos

Para este análisis se tendrá en cuenta información documental referida a la historia de poblamiento y los principales factores asociados al cambio en los usos de la tierra, los resultados del análisis de cambio de coberturas a nivel multitemporal, ambos en un periodo de tiempo de 15 años.

De igual forma, se realizará un análisis de percepción y conocimiento del tipo de eventos que contribuyen a la fragmentación del paisaje y del comportamiento de los principales motores, apoyado en una línea de tiempo construida con actores interesados del área de análisis.

La línea de tiempo se construye con los actores interesados (estratégicos) que conocen el territorio y que tienen diferentes roles en el territorio: habitantes y productores, delegados institucionales y de los sectores productivos, planificadores del desarrollo, de la conservación y del ordenamiento del territorio, autoridades ambientales e investigadores.

5.4.2.10. Estrategias de uso y manejo del territorio para controlar la fragmentación.

Las estrategias para el uso y manejo del territorio que contribuyan a controlar y neutralizar la fragmentación del paisaje se definirán tanto con actores interesados del área de análisis como con expertos conocedores del territorio pertenecientes a instituciones con presencia en el área de análisis. Se tendrán en cuenta los instrumentos de planeación del desarrollo y ordenamiento, así como los proyectos y programas que se estén desarrollando en el área (caso PDET, PNIS, GEF, Visión Amazonia, planes de desarrollo rural integral, entre otros), teniendo en cuenta lo siguiente:

- Identificación de acciones estratégicas que son potenciales para neutralizar la fragmentación.
- Identificación de estrategias para incidir en los programas y proyectos, buscando coordinación e integralidad en las intervenciones en el territorio, en pro de neutralizar motores de fragmentación del paisaje.
- Construcción de planes de acción conjunta, con responsables y recursos, en plazos definidos y acordados.
- Construcción de alianzas interinstitucionales y acuerdos con asociaciones campesinas o comunitarias (ej. Asojuntas) de introducción de actividades que mejoren los sistemas de producción y reconviertan aquellas que promueven fragmentación y controlen la ampliación de la frontera agrícola, con el acompañamiento técnico y los incentivos económicos, mediante el desarrollo de los proyectos productivos sostenibles.

5.4.3. Resultados esperados

- Factores predeterminantes de la fragmentación del paisaje subregional identificados y caracterizados.
- Análisis de los sistemas de producción asociados a los motores de fragmentación del paisaje sub-regional y de los principales factores de sostenibilidad que inciden en la fragmentación.
- Principales usos del suelo que tienen mayor importancia en la planificación del uso del suelo y en los programas sectoriales que los promueven.
- De realizarse el análisis de servicios ecosistémicos, en lugar del de sistemas de producción, el resultado es la identificación y valoración de aquellos de mayor importancia para la población y la forma como están siendo afectados por la fragmentación del paisaje.
- Agentes de fragmentación, Causas directas y subyacentes de los motores de fragmentación analizados y mapeados a escala 1:25.000

5.5. ÁMBITO LOCAL

5.5.1. Objetivos específicos

- Contribuir a la planificación agroambiental predial, desde la perspectiva de la fragmentación del paisaje.
- Aportar herramientas específicas para el manejo del paisaje a nivel local que contribuyan a los programas que inciden de manera directa en el uso y manejo de la tierra, caso POT, PNIS y PDET.

5.5.2. Metodología

5.5.2.1. Procedimientos generales de análisis local

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co

El análisis de la fragmentación del paisaje a nivel local comprende los siguientes procesos:

- Delimitación del área de estudio en la que se presenta la fragmentación del paisaje (microcuenca, área rural específica del POT, caso UPR p.e), corredor de conectividad ecológica.
- Realización de un análisis histórico de la fragmentación.
- Identificación y caracterización con criterios sociales y económicos los motores de fragmentación local (agentes y las causas directas y subyacentes), a nivel predial.
- Priorización de motores de fragmentación local (agentes, causas directas y causas subyacentes).
- Diseño de estrategias de uso y manejo del territorio a nivel predial, para controlar la fragmentación.

5.5.2.2. Análisis histórico de la fragmentación del paisaje local

Este análisis está orientado a determinar el conjunto de eventos que dieron lugar a la fragmentación del paisaje local y comprende:

- El cambio multi-temporal de coberturas y uso del suelo a escala 1:10.000, para un período de 15 años.
- La historia del uso del suelo a nivel predial, desde que se fundó o adquirió el predio (finca).
- La identificación de las actividades que han incentivado la fragmentación del paisaje local en una línea de tiempo, realizada con los productores y actores locales institucionales.

5.5.2.3. Identificación y caracterización con criterios sociales y económicos los motores de fragmentación local (agentes y las causas directas y subyacentes).

Los motores de fragmentación a nivel local tienen su representación al nivel predial (finca o unidad productiva) y responden a las decisiones que toman los productores en el uso de suelo siguiendo la orientación productiva que tienen proyectada en su predio.

A partir de las actividades identificadas, que incentivan la fragmentación del paisaje local, se realiza el análisis causal (causas directas y subyacentes y los agentes relacionados, con sus principales motivaciones identificadas).

Se realiza el análisis causal con los productores involucrados en el área seleccionada según tipo y patrón de fragmentación, que permita identificar las causas directas y subyacentes, de acuerdo a la actividad generadora de fragmentación. Se identifican de igual forma, otros actores relacionados a cada nivel de análisis causal.

La unidad espacial de referencia es el predio (unidad productiva o finca) en el paisaje fragmentado.

5.5.2.4. Priorización de motores de fragmentación local

La priorización está orientada a determinar aquellos motores de fragmentación que son más determinantes de los cambios en el paisaje a nivel local y se realiza teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Ubicación de los motores relacionados con cada patrón de fragmentación y su representatividad espacial
- Tipología de los sistemas de producción al que pertenecen los predios y descripción de sus características generales y representatividad dentro de la tipología

- Los usos del suelo que promueven la fragmentación y proyectos que la incentivan
- Aplicación o construcción de indicadores de sostenibilidad de los sistemas de producción (siguiendo la metodología del Sinchi). Los sistemas menos sostenibles serán más prioritarios.

Con estos criterios se elabora una matriz de priorización en la cual se tienen en la primera columna los predios seleccionados y en las siguientes van los criterios de priorización que se aplican a cada predio, definiendo con anterioridad su escala de valoración.

5.5.2.5. Estrategias de uso y manejo del territorio a nivel predial, para controlar la fragmentación.

Las estrategias de uso y manejo del territorio a nivel local, tienen como propósito desarticular los motores de fragmentación y establecer acuerdos con los propietarios de los predios están asociados al área en la que se presenta el fenómeno de fragmentación del paisaje. Estas estrategias se basan en el Enfoque Agroambiental desarrollado por el Instituto Sinchi (SINCHI, 2017), que consiste en:

- Priorizar los paisajes para la intervención a nivel predial
- Adelantar la planificación predial en unidades del paisaje seleccionadas a nivel local
- Identificar las medidas y acciones concretas de mejoramiento y cambio de los sistemas de producción, a nivel predial. La propuesta está orientada a la puesta en práctica de acciones tendientes a generar cambios en el predio, teniendo en cuenta los estratos de intervención y la tipología de los sistemas de producción. En el presente caso deberá ajustarse teniendo en cuenta los patrones de fragmentación, en lugar de los estratos de intervención.
- Generar acuerdos con los productores de introducir las prácticas que neutralizan la fragmentación y promueven la conectividad.
- Generar alianzas con entidades estratégicas nacionales y regionales, entidades territoriales y asociaciones gremiales y comunitarias para la financiación de las estrategias y proyectos que se identifiquen.

5.5.3. Resultados esperados

- Delimitación del área de estudio afectada por el fenómeno de fragmentación delimitada a nivel predial (fincas o unidades productivas).
- Primer acercamiento a los actores locales estratégicos para el análisis de la fragmentación del paisaje local.
- Identificación y caracterización de motores de fragmentación
- Espacialización de los motores de fragmentación.
- Identificación del comportamiento de los principales eventos que han incidido en la fragmentación del paisaje local, en un período de 15 años.
- Priorización de los motores de fragmentación a nivel local de manera participativa con los productores involucrados.

6. ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD

6.1. MARCO CONCEPTUAL

6.1.1. Paisajes y conectividad

El paisaje se define como un espacio heterogéneo para alguna variable de interés (ej. coberturas), en el que se desarrollan flujos de materia y energía, involucrando agentes abióticos, bióticos y de origen antrópico (Farina 2010; Gutzwiller 2002; Turner et. al. 2001). El paisaje es una entidad espacio-temporal, cuyas características morfológicas y funcionales son producto de las relaciones entre sus componentes (Farina, 2000; Zonneveld & Forman, 1990), siendo expresiones del funcionamiento de los sistemas ecológicos y socioeconómicos, por lo que tiene carácter dinámico y abierto (Farina, 2000; Zonneveld & Forman, 1990).

Las actuales interacciones hombre – naturaleza, por lo general de carácter intenso y extractivo, significan la degradación ambiental en términos de transformación de las condiciones naturales, que resulta en la pérdida de especies y de servicios ecosistémicos (provisión, regulación, apoyo y culturales) (Thompson et. al. 2017; Maes et al. 2012, Mace et al. 2012). La intervención antrópica hace que la estructuración de un paisaje corresponda al proceso de consolidación de territorios, es decir espacios físicos objeto de planificación, con una gama de contenidos naturales y artificiales. En este sentido, bajo la presencia humana un paisaje debe entenderse como la expresión de una secuencia de intervenciones antrópicas, que con el tiempo configuran una construcción cultural (Turner et al., 2001). Por lo anterior, se considera que el paisaje es un nivel apropiado para analizar los efectos generales de la actividad humana sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que de ella se derivan.

La interrelación de los componentes fundamentales de un paisaje (abiótico, biótico y antrópico), conlleva a la estructuración de mosaicos de diferentes elementos homogéneos, con diferentes estados de conservación, lo que permite su delimitación espacial. Este tipo de configuración ha permitido estructurar modelos conceptuales que describen los paisajes, en términos de: a) la manera en que sus componentes se arreglan en el espacio generando patrones específicos o b) su función, referida a los procesos ecológicos y sociales desarrollados entre sus componentes (Farina 2010; Turner et al 2001). Dentro del abanico de modelos conceptuales desarrollados, es común considerar el conocido como “Mosaico, Matriz – Parche - Corredor” (Figura 4.1), en el que el paisaje se compone de tres tipos de elementos diferenciables; uno presente en mayor abundancia, la matriz, otros que se presentan disgregados en múltiples focos al interior de dicha matriz, los parches, y otros que son espacios diferenciables de su entorno y permiten el flujo de organismos entre de parches (corredores) (Turner et. al. 2001). Este modelo permite la representación de los paisajes, considerando aspectos como la localización, área y forma de sus componentes, y hace posible analizar los procesos que se dan entre la matriz y los diferentes tipos de parches, considerando el efecto de la proximidad y la adyacencia de estos elementos en estas dinámicas (Turner et al. 2001; Baum et al. 2004).

Dentro de ese modo de entender los paisajes, un parche se define como una superficie no lineal de tamaño variable que difiere físicamente de sus alrededores, y que posee un grado de homogeneidad interno (Turner et. al. 2001, Etter 1991, Zonneveld & Forman 1990). De manera complementaria, para la identificación de la matriz dentro de un paisaje es necesario tener en cuenta su extensión y su grado de conectividad, siendo el elemento más extenso e interconectado del paisaje (Turner et. al. 2001, Etter 1991, Zonneveld & Forman 1990). Ahora, aunque es posible encontrar diversas definiciones de lo que es un corredor de conectividad, estas no difieren notablemente siendo posible considerarlos como: elementos lineales del paisaje cuyas características difieren de las circundantes y permiten el flujo de organismos entre parches de hábitat, al asemejarse a las condiciones naturales originales. Los corredores ecológicos permiten entonces la generación



El ambiente
es de todos

Minambiente



de redes de áreas en buen estado de conservación y así la ampliación y consolidación de áreas protegidas, la recuperación de zonas degradadas y la promoción de sistemas productivos amigables con la biodiversidad (Crooks & Sanjayan 2006).

Desde la perspectiva funcional, es necesario considerar el control que la matriz tiene sobre las dinámicas del paisaje, dada su dominancia, es decir sobre los tipos de interacción entre los factores formadores y los elementos del paisaje. En tal sentido, por ejemplo, la matriz es determinante de los flujos de materia y energía dentro de un paisaje, entre ellos los asociados a la movilidad de organismos (conectividad ecológica).

La conectividad es aquella característica del paisaje que define la capacidad movimiento y dispersión de las especies, el intercambio genético, y otros flujos ecológicos a través de sus elementos constituyentes (Saura 2007). La conectividad es un aspecto a considerar en análisis de cambio y monitoreo de los paisajes bajo altas tasas de transformación, en los que se pretenda ejecutar acciones que faciliten el movimiento de individuos, como la construcción de corredores con condiciones favorables que conecten zonas de hábitat naturales remanentes (Gutzwiller, 2002; Pascual-Hortal & Saura, 2006).

Teóricamente se distinguen dos tipos principales de conectividad en sistemas ecológicos. La conectividad estructural, asociada directamente con la configuración espacial del paisaje, es decir con la continuidad de características físicas. Por otra parte, la conectividad funcional o ecológica, que se asocia con el desarrollo de flujos ecológicos, por lo que depende del grupo biológico o procesos considerados (Crooks & Sanjayan, 2006; Calabrese & Fagan, 2004). Lo anterior dadas las diferentes respuestas conductuales de las especies frente a la estructura física del paisaje, que dependen de la escala en que cada una percibe e interactúa con su medio, reflejada en su capacidad de desplazamiento, sus requisitos de hábitat, grado de especialización, nivel de tolerancia ante los cambios y la presencia de depredadores y competidores (Saura 2007). Aun cuando es cierto que condiciones de ambientes transformados, permiten su aprovechamiento o su tránsito por múltiples especies (generalistas) (Saura 2013), la conectividad ecológica tiene su mayor probabilidad bajo condiciones naturales, a las que se han desarrollado procesos evolutivos de adaptación.

La existencia de conectividad ecológica se relaciona con la satisfacción de los requerimientos de los individuos, facilitando el desplazamiento entre las zonas en las que hay disponibilidad de recursos esenciales (Crooks & Sanjayan 2006). Así, la conectividad entre parches con oferta de recursos, significa el incremento del área disponible para el crecimiento de poblaciones silvestres, asegurando su supervivencia en el largo plazo. Por otra parte, la conectividad permite el intercambio de individuos entre áreas con poblaciones crecientes (fuentes) con otras áreas en las que la dinámica poblacional tienda a la baja (sumideros), estructurando sistemas metapoblacionales (Saura 2013; Crooks & Sanjayan 2006). A escalas mayores, la conectividad se asocia a procesos de dispersión y migración (Crooks & Sanjayan 2006). Este intercambio de individuos, en el largo plazo, incide en la conservación de la diversidad genética permitiendo la adaptación a posibles cambios ambientales (Begon et al., 2006). Así, la conectividad es considerada como alternativa frente a las variaciones paulatinas producidas por el cambio climático (ej. temperatura, regímenes de lluvia), permitiendo la adecuación de los rangos de distribución de las especies mediante desplazamientos altitudinales (Crooks & Sanjayan 2006).

La creciente necesidad de asegurar la conectividad de los paisajes, sumado a su representación simplificada a partir de modelos conceptuales como el de "Matriz – Parche – Corredor", ha resultado en la adecuación de desarrollos teóricos hechos en otras áreas del conocimiento, como la teoría de grafos. Un grafo es una estructura topológica formada por nodos y enlaces en la que unos conectan a los otros. En este contexto, el paisaje es concebido como un conjunto de parches hábitat capaces de mantener poblaciones de una(s) especies de interés (nodos) y otros elementos entre ellos, que los conectan o aíslan de manera diferencial



Certificado No. SG 201700059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co





El ambiente
es de todos

Minambiente



(enlaces), lo que representa flujos de individuos, materia o energía a través de la matriz existente que presenta diferentes niveles de resistencia al flujo de los organismos (matriz de resistencia) (Galpern et. al. 2011).

Al representar paisajes de manera simplificada, el enfoque de grafos ha venido ganando interés en la planeación de su conservación, facilitando el modelamiento de la conectividad y la delimitación de corredores ecológicos (Crooks & Sanjayan, 2006). El análisis de grafos proporciona resultados muy similares a los de los modelos de poblaciones espacialmente explícitos, que requieren de mucha más información sobre el paisaje y el uso de hábitat de las especies consideradas (Saura 2013). El análisis de grafos permite generar información útil para la planificación del ordenamiento de los paisajes, y para la evaluación y priorización de sus elementos, en búsqueda de las mejores configuraciones espaciales para el mantenimiento o mejora de la conectividad ecológica. Así, los índices de conectividad basados en estructuras de grafos presentan un buen equilibrio entre el nivel de detalle en la caracterización del paisaje y en los resultados que ofrecen y la cantidad de datos de entrada que requieren para ello (Calabrese & Fagan 2004).

El análisis de la conectividad funcional de paisajes representados como grafos, para la identificación de corredores, requiere definir: 1) tipos de estructuras consideradas como “nodos”, lo cual estará determinado por el tipo de especies objeto de análisis y sus requerimientos de hábitat. Para estos nodos, se consideran atributos, tales como el área, perímetro, tamaño de población, ocupación por la especie, diversidad o calidad del hábitat (Galpern et al., 2011); 2) Los parámetros que determinan las conexiones entre nodos (enlaces), incluidos las distancias de dispersión de dichas especies y la facilidad para moverse por los diferentes elementos que separan los nodos, conformando la matriz del paisaje o de resistencia (Galpern et al., 2011). La determinación de la existencia o no de una conexión entre nodos, corresponde a la estructuración de un “Modelo de Grafos Binario”. Por otra parte, en un “Modelo de Grafos Probabilístico”, más allá de estimar la existencia de una conexión, se determina el grado de conexión. Para ello, se requiere identificar atributos como la distancia geográfica (euclidiana) entre nodos o las distancias ecológicas efectivas, obtenidas como la suma del costo de seguir una ruta específica a través de las diferentes coberturas que los separan, cada una con diferentes grados de resistencia al movimiento (Galpern et al., 2011; Pascual-Hortal & Saura, 2008).

La opción de costos de desplazamiento, si bien puede capturar mejor la probabilidad de conectividad entre nodos que una distancia euclidiana, al considerar la ecología de las especies, requiere de una cuidadosa parametrización de las diferentes variables tenidas en cuenta para definir la resistencia de la matriz del paisaje al movimiento, mediante la construcción de una capas o superficies individuales (Matrices de resistencia) (Saura 2013). Esta superficie representa el costo, riesgo o dificultad que implica para una especie o proceso determinado pasar por cada punto de la matriz según las características de cada una (Saura 2013). Una matriz de resistencia suele representarse como una capa de formato raster en la que los valores de cada pixel son asignados teniendo en cuenta la facilidad para el desplazamiento de la especie de interés. Se han desarrollado diferentes métodos para cuantificar las superficies de resistencia y no existe consenso sobre la forma apropiada de escoger las variables que se tienen en cuenta o las aproximaciones de análisis para su construcción. Existen revisiones que comparan los diferentes métodos e identifican los vacíos existentes en este aspecto, y que pueden servir como guía (Correa et. al., 2017; Zeller, et al., 2012).

De manera análoga a la representación de los paisajes como grafos probabilísticos, se han aprovechado desarrollos en la teoría de circuitos eléctricos, particularmente en lo que se refiere a la configuración de redes eléctricas, para representar los flujos ecológicos a través de paisajes con diversidad de tipos de coberturas (McRae et al., 2008; McRae y Beier 2007). En este sentido, en un paisaje determinado se toma los componentes a conectar (parches/nodos) como fuentes de corriente y se representa el movimiento de los individuos como el flujo eléctrico a través de la superficie de conductividad (Matriz de Resistencia) (McRae et al., 2008; McRae y



Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



Beier 2007). Un espacio con un alto valor será indicador de concentración de carga y por tanto, un punto frágil del sistema de conectividad, mientras que valores bajos indican una mayor.

6.1.2. Análisis de conectividad y el concepto de huella espacial humana

Etter y colaboradores (2006) desarrollaron el “Índice Espacial de Huella Humana” (IEHH), como una matriz de resistencia elaborada a partir de la combinación de diferentes factores. Mediante este índice es posible cuantificar desde una perspectiva espacialmente explícita, el impacto de las actividades humanas sobre la conectividad de los paisajes, en términos de la transformación de las coberturas naturales y por consiguiente, en la funcionalidad ecosistémica y la prestación de servicios ecosistémicos. Lo anterior supone que el impacto humano se relaciona positivamente con la resistencia del paisaje al flujo de organismos. Dicha matriz permite identificar áreas con mayor o menor afectación de origen antrópico y el tipo general de actividades relacionadas, por lo que puede ser utilizada como insumo primario para la determinación de corredores de conectividad entre parches en buen estado de conservación, utilizando herramientas desarrolladas a partir de la conceptualización de los paisajes como grafos y/o superficies de resistencia eléctrica (ej. LinkageMapper, CircuitScape)⁸.

Para la construcción de la matriz de resistencia correspondiente al IEHH se considera la suma de los valores individuales de un conjunto de variables explicativas, representadas como matrices de resistencia individuales agrupadas en tres componentes fundamentales: a) Intensidad de uso del paisaje (F_{int}), b) Tiempo de intervención del paisaje (F_{time}) y c) la vulnerabilidad de los paisajes a su transformación (F_{vul}). Cada uno de los componentes es alimentado por diferentes variables, representadas en las matrices individuales. Aunque en la propuesta original de Etter y colaboradores (2006) se proponen unas variables particulares que nutren cada uno de los factores constituyentes (F_{int} , F_{time} y F_{vul}), es posible realizar adaptaciones en las que se incluyan nuevas variables o se desechen algunas, dependiendo por ejemplo de la disponibilidad de la información o de los objetivos particulares que se persigan. Dichas modificaciones, sin embargo, deberían permitir seguir evaluando cada uno de los factores fundamentales propuestos, pues es su evaluación conjunta la que permite caracterización holística del impacto humano sobre la conectividad.

Considerando el hecho que la conectividad ecológica no es la misma para todos los organismos, Correa y colaboradores (2017) formularon una adaptación del IEHH, incluyendo un cuarto componente (F_{frag}), relacionado con la pérdida y fragmentación de hábitats. Específicamente, desarrollan tres matrices de resistencia individuales adicionales que evalúan: a) el aislamiento de hábitats remanentes (AHR), b) el porcentaje de hábitat transformado (PHT), y c) la extensión de la transformación de hábitats (ETH). Cada una de estas matrices es entonces especie-específica, aunque posible de agrupar para conjuntos de especies con requerimientos ecológicos con mayor o menor grado de semejanza ecológica. Tras dicho complemento el IEHH se expresa:

$$IEHH = \frac{(F_{int} + F_{time} + F_{vul} + F_{frag}) \times 100}{(F_{int} \max + F_{time} \max + F_{vul} \max + F_{frag} \max)}$$

6.1.3. Otros conceptos considerados en los análisis de conectividad

6.1.3.1. Capacidad de resiliencia y de adaptación

⁸ <https://circuitscape.org>



El ambiente
es de todos

Minambiente



La resiliencia es la capacidad que tiene un sistema de responder a los disturbios; por tanto, será más o menos resiliente en la medida en que cuente con los elementos necesarios para responder a los disturbios. Uno de los elementos que tiene estrecha relación con la capacidad de resiliencia de un territorio, es la capacidad adaptativa de la población que en este tiene asiento, en tanto los corredores de conectividad se inscriben en una matriz del paisaje que contiene ecosistemas con diferentes grados de transformación, que presentan diferentes grados de degradación. (Vanegas R & Barón, 2015)

La capacidad adaptativa es la habilidad de un sistema humano de ajustarse a los cambios en el territorio, para moderar y manejar los potenciales daños, aprovechar las oportunidades y hacer frente a las consecuencias; está en función de la calidad de la gobernanza, de la capacidad de los recursos humanos y financieros disponibles, y de las opciones de adaptación que puedan existir para un tipo determinado de impactos generados por los cambios introducidos y por las decisiones tomadas sobre el uso de la tierra. Así mismo, está limitada por la capacidad de las instituciones y de la resiliencia de los sistemas naturales de los cuales depende la sociedad. A mayor resiliencia mayor capacidad de adaptación para enfrentar los cambios y a menor resiliencia del sistema natural, mayor será la vulnerabilidad de la sociedad en su conjunto para soportar los cambios y adaptarse a ellos. (BID, 2015)

La adaptación se desenvuelve en un contexto social, económico, político, tecnológico, y biofísico dinámico, que varía en el tiempo y espacio, y de acuerdo a la actividad en que se deba realizar. Además, su análisis y evaluación varía según se trate del nivel local, subregional o regional. Los sistemas humanos pueden construir de manera planeada y organizada, y poner en práctica, estrategias de adaptación orientadas a reducir la vulnerabilidad y aprovechar oportunidades que resulten de los cambios en curso.

6.1.3.2. Potencial de restauración de la conectividad

Este potencial se analiza en aquellos corredores que se encuentran insertos en paisajes intervenidos mediante diferentes modos de uso de la tierra. Está relacionado con el potencial de restauración ecológica, entendido como la interacción entre la oferta de los factores físicos, bióticos y socioeconómicos que otorgan un valor potencial que puede alcanzar un ecosistema o unidad del paisaje para el desarrollo de un proceso de restauración ecológica, que depende de la calidad de la interacción de estos factores. Se trata de restablecer determinadas condiciones que posibiliten la conectividad en el paisaje. Un alto potencial requerirá una menor inversión (esfuerzo en la restauración) y viceversa. (Barrera-Cataño, et. al., 2010)

En el caso particular del potencial socioeconómico, este se encuentra relacionado con la capacidad y voluntad manifiestas de la sociedad que reside en el sitio o paisaje a restaurar, para restablecer el equilibrio sociedad - naturaleza dadas las posibilidades existentes, o para generar nuevos procesos donde los ecosistemas presentan un alto deterioro. Los indicadores que se pueden considerar varían según el área de trabajo, sin embargo, se pueden mencionar algunos como el perfil sociodemográfico, la fragmentación predial, los conflictos de uso del suelo (Bohórquez, 2013, en: Vanegas R & Barón, 2015)

Cabe precisar que el potencial de restauración está en función de los objetivos de la restauración y de las metas que se propongan en diferentes momentos temporales del proceso de restauración, por tanto, en el presente caso estarán orientados al restablecimiento de la conectividad o su mantenimiento, en los corredores identificados mediante el análisis biofísico. Los objetivos y las metas deben ser consensuados con los diferentes actores interesados, al nivel de análisis que corresponda: regional, subregional o local y están en función del logro del desarrollo sostenible del territorio. (Vanegas R & Barón, 2015).

6.1.4. Herramientas de Manejo del Paisaje



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



Este tipo de herramientas se conocen como Herramientas de Manejo del Paisaje para La Conservación de la Biodiversidad – HMPCB, tienen como propósito promover la conservación en los paisajes rurales, y en su conjunto se constituyen en una estrategia posible a diferentes escalas: local (predio o finca), subregional (vereda, sub-cuenca o microcuenca) o regional (municipio, cuenca, paisaje) (CENICAFE, 2012)

Estas herramientas tratan de un conjunto de elementos del paisaje que constituyen o mejoran el hábitat y mejoran la conectividad funcional, en pro de garantizar las funciones en el paisaje en beneficio de la biodiversidad. (IAvH & CAR, 2009).

Algunos tipos de herramientas de manejo del paisaje son:

- Protección y enriquecimiento de remanentes de vegetación natural: fragmentos de bosque y rondas de nacederos y cuerpos de agua en general
- Utilización de Sistemas Agroforestales
- Cercas vivas
- Restauración ecológica

Las fases en la introducción de herramientas del paisaje son:

- Reconocimiento del territorio rural para el desarrollo del proceso de planeación para la conservación
- Identificación de oportunidades de conservación en el paisaje rural
- Diseño de la estrategia de conservación en paisajes rurales
- Establecimiento de Herramientas de manejo del paisaje para la conservación de biodiversidad (IAvN & CAR, 2009)

El instituto Sinchi, en el Enfoque Agroambiental que ha desarrollado para su trabajo en sistemas de producción en paisajes rurales en la Amazonia colombiana, ha definido los siguientes pasos (SINCHI, 2017):

- Priorizar los paisajes para la intervención a nivel predial
- Adelantar la planificación predial en unidades del paisaje seleccionadas a nivel local
- Identificar las medidas y acciones concretas de mejoramiento y cambio de los sistemas de producción, a nivel predial. La propuesta está orientada a la puesta en práctica de acciones tendientes a generar cambios en el predio, teniendo en cuenta los estratos de intervención y la tipología de los sistemas de producción. En el presente caso deberá ajustarse teniendo en cuenta los patrones de fragmentación, en lugar de los estratos de intervención.
- Generar acuerdos con los productores de introducir las prácticas que neutralizan la fragmentación y promueven la conectividad.
- Generar alianzas con entidades estratégicas nacionales y regionales, entidades territoriales y asociaciones gremiales y comunitarias para la financiación de las estrategias y proyectos que se identifiquen.

6.2. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los patrones de conectividad ecológica e identificar áreas prioritarias para su mantenimiento en las diferentes áreas de estudio.

6.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD

Los análisis de conectividad propuestos toman como referencia la propuesta del “Índice Espacial de Huella Humana” (IEHH) (Correa et al, 2017; Etter et al, 2006), con la intención de generar una matriz de resistencia que permita cuantificar, desde una perspectiva espacialmente explícita, el impacto de actividades humanas sobre la conectividad de los paisajes, en términos de la transformación de las coberturas naturales y la relación positiva de este proceso con la resistencia de los paisajes al flujo de organismos. Con dicha matriz es posible identificar los sectores que representan las mejores opciones para mantener la conexión (Corredores ecológicos), entre áreas que aún permiten la sobrevivencia de diferentes tipos de organismos (áreas núcleo) (Figura 6.1).

Bajo este concepto, a partir de una revisión bibliográfica extensa, se plantea la construcción de una serie de matrices individuales de resistencia, asociadas a variables relacionadas a la transformación de las coberturas naturales, las cuales se agrupan en tres factores principales: a) Intensidad de uso del suelo (F_{int}), b) Tiempo de intervención del paisaje (F_{time}) y c) la vulnerabilidad de los paisajes a su transformación (F_{vul}). Las diferentes matrices generadas son unificadas en una matriz final, correspondiente al IEHH (Figura 6.1). Aunque las propuestas teóricas consideradas (Correa et al., 2017; Etter et al. 2006) incluyen variables específicas asociadas a cada componente propuesto, se considera que dicha selección no es una camisa de fuerza. En tal sentido, aunque si se construyen matrices de resistencia para cada componente, estas no corresponden específicamente con las propuestas originales, y se incluyen variables acordes con las dinámicas específicas los sectores de la Amazonía colombiana bajo evaluación.

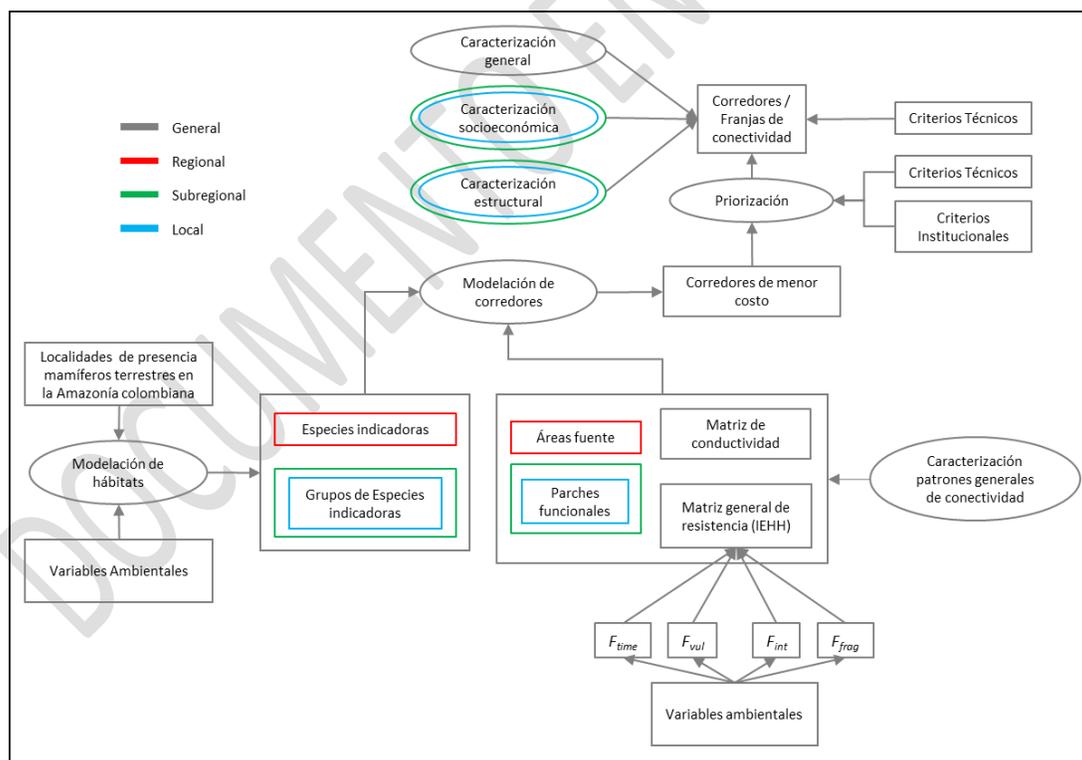


Figura 6.1. Esquema general de la metodología para el análisis de la conectividad ecológica



El ambiente
es de todos

Minambiente



En términos de las áreas núcleo a conectar, su naturaleza, así como los procedimientos propuestos para su identificación y delimitación también varían de acuerdo al ámbito de análisis, buscando un mayor detalle funcional a medida que se incrementa la escala de análisis. Mientras que, en el ámbito regional, estas corresponden a grandes extensiones del territorio bajo condiciones naturales, en los ámbitos más detallados estas corresponden a parches de coberturas cuyas características (ej. tamaño, distribución) los hacen determinantes para lograr la conectividad del paisaje para organismos particulares, con diferentes requerimientos espaciales y capacidades de desplazamiento (Parches funcionales). Bajo esta consideración, se generará una matriz final de resistencia (IEHH) por grupo de especies y se identificarán corredores de conectividad para cada uno de ellos.

Para la identificación de los parches funcionales se recopilará información del tipo de coberturas consideradas como hábitats para las diferentes especies de cada uno de los grupos definidos. Posteriormente, del mapa de coberturas de la tierra se seleccionarán los parches de coberturas de hábitat, para calcular índices de estructura del paisaje, asociados a la presencia de cada especie en términos de una conectividad probable (Ayram et al. 2015). Dichos índices permiten cuantificar espacialmente la estructura de un territorio, siendo posible tomarlas como criterios que orienten las diferentes formas de gestión en el territorio. Los indicadores propuestos se relacionan con el área, perímetro, forma, conectividad y proximidad de los parches de hábitats identificados. De dichos indicadores, se genera un índice de configuración estructural del paisaje, el cual muestra los fragmentos o parches que tiene un mejor o peor estado de conservación, hecho relacionado con su importancia para la conectividad estructural. Tras la caracterización estructural, se consideran aspectos ecológicos de las especies para definir cuáles de los parches de hábitat son importantes para su flujo (conectividad funcional) (Saura y Torné 2009).

En cada ámbito de análisis, con las matrices finales de resistencia (IEHH) e identificadas las áreas núcleo / parches funcionales por grupos de especies, se procede a la modelación de los corredores de conectividad, utilizando herramientas desarrolladas en el contexto de la teoría de grafos y de circuitos eléctricos (CircuitScape®, LinkageMapper®), que permiten identificar las áreas con menor resistencia al flujo de organismos (mayor conectividad funcional).

Los corredores identificados serán caracterizados de manera general en términos político administrativos, el tipo de coberturas predominantes y su afectación por los motores de fragmentación que en ellos se desarrollen⁹. Adicionalmente, para los ámbitos de mayor detalle, se plantea una caracterización estructural de dichos corredores, utilizando métricas enfocadas en la geometría y la distribución de los parches constituyentes, así como una de carácter socioeconómico. Esta última, busca factores que comprometan la conectividad de los corredores modelados, produciendo fragmentación en dichos paisajes. En tal sentido, se consideran los procesos de: a) la capacidad de adaptación (resiliencia) de las actividades económicas que disminuyen la conectividad y b) el potencial de restauración de la conectividad.

Específicamente, la caracterización de los corredores de conectividad en el ámbito local, implica tanto el procesamiento de insumos cartográficos (1:10.000) como de la generación de información a partir de trabajo en campo. En tal sentido, se considera necesario identificar y caracterizar los predios coincidentes con los corredores de conectividad, para el desarrollo de las herramientas de manejo de paisajes rurales a escala local (Sinchi 2016). Herramientas que como se describió previamente, están diseñadas para la planeación del ordenamiento de las actividades productivas y la recuperación de las condiciones naturales a nivel predial, en

⁹ Información generada mediante los procedimientos específicos planteados en las secciones correspondientes a los temas de “fragmentación” y “motores de fragmentación”, para cada ámbito de análisis.



Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



busca del mantenimiento de la conectividad en los corredores delimitados (desarticulación de los motores de fragmentación identificados) y así el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades locales.

6.4. ÁMBITO REGIONAL

6.4.1. Objetivos específicos

- Identificar y caracterizar áreas que, gracias a sus características, deberán mantenerse conectadas mediante corredores ecológicos con el fin de asegurar el flujo de organismos al interior de la Amazonía y entre esta región y los andes y la Orinoquía.
- Identificar y caracterizar aquellos sectores determinantes en el mantenimiento de la conectividad ecológica entre áreas fuente, permitiendo la conectividad al interior de la Amazonía y entre esta región y Los Andes y la Orinoquía.
- Caracterizar los patrones generales de conectividad de las áreas bajo análisis.

6.4.2. Metodología ¹⁰

6.4.2.1. Inventario de especies y modelamiento de área de distribución de las especies

Considerando la perspectiva de conectividad funcional a desarrollar, se debe realizar un inventario detallado de las especies de mamíferos terrestres presentes en la Amazonía (polígono Sinchi de la Amazonia). Este inventario será la base para la modelación de hábitats, lo que a su vez será insumo para el cálculo de algunas de las matrices de resistencia individuales asociadas al IEHH (Correa et. al., 2017).

El inventario, en principio, debe nutrirse de la revisión de bases de datos¹¹ y bibliografía especializada (ej. Alberico et. al., 2000; Emmons & Feer, 1997), referidas a los rangos de distribución de especies y de localidades de presencia confirmada (ej. SIB¹², GBIF¹³). Se propone centrar el inventario en el grupo de los mamíferos terrestres no voladores teniendo en cuenta: a) la variabilidad ecológica del grupo, que permite utilizarlos como *proxys* de la variabilidad de organismos presentes en la región, y b) la afectación de su movilidad por transformación de las coberturas, a diferencia de organismo con capacidad de vuelo (ej. murciélagos y aves), y c) la cantidad de información ecológica generada para el grupo, que permite la modelación de hábitats para un mayor número de especies, respecto a otros taxones como los reptiles o anfibios.

6.4.2.2. Modelamiento de área de distribución de especies

Del inventario realizado se deben seleccionar los registros de presencia en sectores bajo coberturas naturales. Lo anterior, considerando la dificultad de conocer si los registros obtenidos bajo coberturas transformadas actuales fueron obtenidos en momentos en los que la cobertura no había sido transformada. Bajo tales circunstancias la utilización de registros sobre coberturas transformadas actuales, podría resultar en

10 La descripción de los procedimientos que se presentan en esta sección son de carácter general. Para conocer el detalle del paso a paso seguido para el desarrollo de la metodología se deberá hacer uso del documento de protocolos metodológicos, desarrollado como documento anexo de la metodología en la escala regional (Sinchi 2018). El paso a paso para los ámbitos subregional y local, se deberán desarrollar en el futuro, y como parte de los procesos de validación de la metodología propuesta para dichas escalas.

11 <http://biomodelos.humboldt.org.co>

12 SIB: Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia, IAvH (www.humboldt.org.co/es/servicios/sib-colombia).

13 Global Biodiversity Information Facility (www.gbif.org/).

modelaciones de hábitats falsos. La selección final de especies para las cuales se hace la modelación de hábitat corresponde a aquellas con más de diez registros de presencia tras la aplicación de los filtros mencionados (Pearson et al., 2007).

Los registros de presencia son utilizados directamente para la modelación del hábitat por especie utilizando el software MaxEnt (Phillips et al., 2006). Este formaliza el principio de que la distribución estimada debe estar de acuerdo con todo lo que es conocido o inferido de las condiciones ambientales donde los individuos de la especie han sido observados. El enfoque del software es encontrar la distribución de probabilidad de máxima entropía, es decir la distribución más cercana a la uniforme, sujeta a las restricciones impuestas por la información disponible sobre la distribución observada de las especies y las condiciones ambientales en el área de estudio (Pearson 2007, Phillips, et al. 2006). MaxEnt ha mostrado grandes ventajas al no requerir datos de ausencia real (Segurado & Araujo 2004). El método se puede utilizar para variables continuas y categóricas y el resultado es una predicción continua (probabilidad de 0 a 100 que indica la idoneidad relativa). En este caso específico las variables consideradas corresponden a variables climáticas¹⁴, la pendiente y las coberturas de la tierra (Correa et. al. 2017).

Los mapas de distribución resultantes son clasificados utilizando el umbral definido por el décimo percentil del umbral logístico de la presencia de entrenamiento, para definir las áreas de hábitat óptimo (Pearson et al., 2007 en: Correa et. al., 2017). Píxeles con valores superiores a dicho valor corresponden a hábitats óptimos, y los que se encuentren por debajo se consideran como zonas de “No hábitat” o “Hábitats Transformados”. Posteriormente, las áreas de hábitat son cruzadas con las coberturas naturales, con el fin de establecer la distribución de hábitats remanentes, los cuales se utilizan en los análisis de conectividad (ver más adelante).

- **Insumos de información:**

- Localidades con presencia de especies de mamíferos terrestres.
- Capa de coberturas de la tierra (Sinchi).
- Capas variables ambientales (clima, topografía, coberturas).

- **Procedimientos generales:**

- Filtrado de localidades de presencia de especies a áreas bajo coberturas naturales.
- Filtrado de especies (más de 10 registros).
- Modelación de hábitat por especie (MaxEnt).
- Identificación de coberturas naturales asociadas a áreas de hábitats por especie

6.4.2.3. Análisis matriciales

Los análisis que se muestran a continuación, tienen por objetivo la generación de una matriz de resistencia correspondiente al Índice Espacial de Huella Humana (IEHH) (Correa et. al., 2017; Etter, et. al., 2006). Lo anterior, a partir de la generación y combinación de matrices de resistencia individuales que describen el impacto de las actividades humanas sobre la conectividad de los paisajes. Para ello, se identifican variables asociadas específicamente con: a) La intensidad del uso de la tierra, b) El tiempo/dinámica de intervención de las coberturas y c) su vulnerabilidad biofísica, así como d) procesos de pérdida y transformación del hábitat

¹⁴ Bioclim: www.worldclim.org/bioclim

(Correa et al., 2017). En el caso de las variables asociadas a transformaciones de hábitats, se generarán para cada especie identificada, y trabajadas en conjunto con las matrices relacionadas con los motores de transformación de coberturas (Correa et. al., 2017).

Para la identificación de las variables, se recurre a la revisión de publicaciones enfocadas en análisis de la conectividad (ej. Zeller et. al., 2012), además de documentos técnicos en la evaluación de la conectividad y la identificación de actividades de alto impacto desarrolladas en la Amazonía colombiana. Ahora, aunque dichas actividades han sido analizadas en el contexto particular de la transformación de coberturas boscosas, dada su carácter genérico y amplia distribución, se considera deben tener también efectos sobre otro tipo de coberturas, siendo posibles relacionarlas con procesos de fragmentación.

Para el ejercicio planteado se usa una base de 12 variables espaciales agrupadas en los 4 criterios asociados al IEHH (Tabla 6.1). Adicionalmente, el conjunto de variables a usar podrá variar dependiendo del tipo de actividades que en el futuro se desarrollen en la región, es decir su dinámica biofísica y socioeconómica, y de acuerdo a la disponibilidad de información que permita su descripción y caracterización bajo el concepto del IEHH.

Con la selección inicial de las 12 variables, se intenta reducir al máximo el número de entradas para el cálculo del IEHH, y la inclusión de aquellas correspondientes a indicadores directos y no a índices compuestos, disponibles y actualizados en la medida de lo posible. Lo anterior, con el objetivo de minimizar el ruido producido en el modelaje, a causa de la redundancia entre variables y poder asociar variables individuales a los procesos de pérdida o mantenimiento de la conectividad, lo que es de vital importancia a la hora de diseñar estrategias de gestión de los paisajes que busquen el mejoramiento de la conectividad. Adicionalmente, a partir de la distribución de hábitats para las especies de mamíferos terrestres, se construyen tres matrices de resistencia asociadas a la pérdida y fragmentación de hábitat tal y como lo proponen Correa et al. (2017) (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Variables incluidas en los análisis de conectividad para el ámbito regional.

CRITERIO	VARIABLE INDICADORA	
Uso de la tierra	Tipo de cobertura de la tierra	CT
	Distancia Drenajes	DD
	Distancia a Vías	DV
	Distancia a centros poblados	DP
	Distancia a sitios de explotación de recursos no renovables	DNR
	Índice de fragmentación	IF
Tiempo/Dinámicas de Intervención	Dinámicas de transformación de las coberturas	DT
Vulnerabilidad	Vocación de los suelos	VS
	Pendiente	P
Pérdida /Fragmentación Hábitats	Aislamiento del hábitat remanente	AHR
	Porcentaje de hábitat transformado	PHT
	Índice de extensión de la transformación de hábitats	IET

Cada una de las matrices de resistencia asociada a las diferentes variables, se produce mediante el procesamiento de información cartográfica específica. En el caso de las variables asociadas al uso de la tierra, dicho procesamiento implica, la valoración de categorías o de la variación espacial del aporte de cada variable a la conectividad en términos de su resistencia a los flujos ecológicos (Zeller et al., 2012), lo que se asocia con el grado de transformación de las coberturas respecto a su condición original. En el caso específico de las variables asociadas a la pérdida y fragmentación del paisaje, se siguen los procedimientos generales utilizados por Correa et. al., (2017). En tal sentido se produce un número de mapas del índice espacial de huella humana

(matrices de resistencia), igual al número de especies para las que se modeló el hábitat. Tales mapas se condensarán en una sola matriz, sumando los valores de resistencia de todas las especies, los cuales se reescalarán a valores de 0-100.

La matriz correspondiente al IEHH es útil para describir los patrones espaciales generales de conectividad ecológica en la Amazonia colombiana. Adicionalmente, el análisis de dicha matriz, mediante procedimientos desarrollados en el marco de la teoría de grafos y de circuitos eléctricos (LinkageMapper® y CircuitScape®), permite identificar áreas con la menor resistencia al flujo de organismos (corredores ecológicos), útiles para conectar grandes bloques en buen estado de conservación (áreas núcleo, ver más adelante) (Figura 6.1). A continuación, se presentan una breve descripción de cada una de las variables y los procedimientos generales necesarios para la producción de las matrices de resistencia propuestas por ámbito de análisis.

6.4.2.3.1. Tipo de cobertura de la tierra (CT)

Es una variable normalmente incluida en análisis de conectividad ecológica (Zeller et. al., 2012), particularmente en la propuesta original del IEHH, asociándolo al factor de intensidad de uso de la tierra (Correa et. al., 2017; Etter et. al. 2006) y en los trabajos consultados desarrollados al interior de la Amazonía colombiana¹⁵. Su inclusión se considera fundamental dado que la evaluación de la conectividad se basa en la consideración de la transformación de las coberturas naturales presentes en el área de estudio.

Para el cálculo de la matriz correspondiente, se establecen valores de resistencia para cada una de las diferentes categorías de coberturas, los cuales se asocian al grado de conservación (coberturas naturales) o transformación (seminaturales y transformadas). Para la clasificación de las diferentes categorías de coberturas se consideran los valores propuestos previamente: Vanegas et al. (2016), Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (2017). Los insumos cartográficos a utilizar, corresponden a capas de coberturas de la tierra elaboradas bajo el sistema de clasificación CLC correspondiente a la escala de análisis (1:100.000).

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación área de estudio
- Capa actualizada de coberturas de la tierra.

- **Procedimientos generales:**

- Delimitación (corte) de las capas al límite del área de estudio.
- Calificación de la resistencia de las diferentes coberturas presentes en la región. La calificación corresponde a valores entre 1 -100, que son categorizados en tres grupos, de acuerdo a los propuesto por el Instituto Sinchi (Vanegas et al., 2016).
 - Resistencia Alta: coberturas transformadas, con valores entre 100 y 66.
 - Resistencia Media: coberturas en transformación, con valores entre 33 y 65.
 - Resistencia Baja: coberturas naturales, con valores entre 1 y 32.

6.4.2.3.2. Distancia a drenajes (DD)

¹⁵ Para mayor detalle de estos estudios previos consultados, referirse a la sección introductoria de este documento, en particular a lo referente a antecedentes.

Es una variable considerada regularmente en los análisis de conectividad ecológica (Zeller et. al, 2012), particularmente en la propuesta original del IEHH, asociándola al factor de intensidad de uso de la tierra (Correa et. al., 2017; Etter et. al. 2006) y en trabajos consultados desarrollados al interior de la Amazonía colombiana⁸. Su inclusión se hace considerando que los cursos de agua y las coberturas naturales asociadas son las rutas de desplazamiento de organismos. Así, la resistencia se establece en relación positiva con la distancia a los drenajes.

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal directa entre la distancia (euclidiana) a los drenajes y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006). Adicionalmente, para la generación de una matriz de resistencia continua para la totalidad del área de estudio, se asignarán valores de menor resistencia a los polígonos correspondientes a la delimitación de las rondas. Los valores de la matriz de resistencia resultante, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas de drenajes (polígono de delimitación), Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.2). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos¹⁶, el cual minimiza la suma de cuadrados de los elementos de cada clase, garantizando que cada rango de clase tenga un número similar de valores y que el cambio entre intervalos sea coherente. Para este ámbito de análisis se propone el uso de cartografía asociada a drenajes dobles.

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación área de estudio
- Capa de rondas hídricas

- **Procedimientos:**

- Delimitación (corte) de las capas al límite del área de estudio.
- Calculo de los valores de resistencia
- Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 6.2. Valores de resistencia en relación a la distancia a la red fluvial. Fuente: Vanegas et al., 2016.

CATEGORÍA DISTANCIA DRENAJES	RESISTENCIA		
	RANGO DISTANCIA	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Contiguo	Interior polígono	Baja	1

6.4.2.3.3. Distancia a Vías (DV)

La distancia a vías es una variable también utilizada con regularidad en el análisis de conectividad ecológica (ej. Zeller et. al., 2012), particularmente en la propuesta original del IEHH en lo que se refiere al componente de intensidad de uso de la tierra (Correa et. al. 2017; Etter et. al. 2006) y en trabajos consultados desarrollados al interior de la Amazonía colombiana⁸. Su consideración se fundamenta en que este tipo de infraestructura ha sido identificada como uno de los motores de mayor impacto en lo que se refiere a transformación radical de coberturas, en las áreas de trazado y tiene consecuencias sobre las dinámicas futuras de transformación en zonas aledañas al mismo, dando acceso a localidades remotas (Laurence et al., 2009). La construcción de vías,

16 <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/mapping/symbols-and-styles/data-classification-methods.htm>

además de traer cambios en los usos de la tierra, tiene como consecuencia el cambio en las dinámicas de uso de los recursos naturales a sus alrededores, al permitir la colonización humana (Laurence et al., 2009).

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a las vías y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006). Los valores de la matriz de resistencia resultante, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, próximas y Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.3). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos. Para este ámbito de análisis, se plantea el uso de la cartografía oficial de vías desarrollada a escala 1:100.000 (IGAC).

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación del área de estudio.
- Capa de vías

- **Procedimientos:**

- Delimitación (corte) de las capas al límite del área de estudio.
- Calculo de los valores de resistencia
- Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 6.3. Valores de resistencia en relación a la distancia vías.

CATEGORÍA DISTANCIA VÍAS	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

6.4.2.3.4. Distancia a centros poblados (DP).

Esta variable también utilizada con regularidad en análisis de conectividad ecológica (Zeller et. al. 2012), particularmente en la propuesta original del IEHH en lo que se refiere al componente de intensidad de uso de la tierra (Correa et. al. 2017; Etter et. al. 2006) y en trabajos consultados desarrollados al interior de la Amazonía colombiana⁸. Su inclusión se hace teniendo en cuenta que este tipo de elementos se ha asociado a procesos de transformación del paisaje, al implicar cambios substanciales del uso del suelo. Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a los centros y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006).

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a centros poblados y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006). Los valores de la matriz de resistencia resultante, serán reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.4). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos. Para este ámbito de análisis, se plantea el uso de la cartografía oficial de centros poblados producida a escala 1:100.000 (IGAC).

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación del área de estudio

- Capa Centros poblados
- **Procedimientos:**
 - Delimitación (corte) de la capa al límite del área de estudio.
 - Cálculo de valores de probabilidad de resistencia.
 - Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 6.4. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia a centros poblados.

CATEGORÍA DISTANCIA CENTROS POBLADOS	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

6.4.2.3.5. Distancia a sitios de explotación de recursos no renovables (DNR)

La explotación minera y de hidrocarburos son variables que, aunque no han sido utilizadas en las evaluaciones de conectividad a nivel regional consultadas, se incluyen en la presente propuesta, como parte de los aspectos asociados a la intensidad de uso de la tierra del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006). Lo anterior, teniendo en cuenta que son uno de los factores identificados que contribuye de manera significativa a la transformación de las coberturas en la Amazonía⁸, afectando el grado de conectividad del paisaje.

En el caso de la explotación minera, considerando que los polígonos concesionados son explotados de manera diferencial a lo largo del periodo de actividad de los proyectos extractivos existiendo áreas concesionadas, pero sin aprovechamiento presente, se consideran aquellos polígonos bajo la categoría de “en explotación”, de acuerdo a la clasificación de la ANM, que son en los que se generan la mayor cantidad de actividades con impactos sobre las características del medio. En el caso de la explotación de hidrocarburos, dentro de la cartografía consultada se considerarán los elementos correspondientes a pozos en explotación.

En ambos casos (minería e hidrocarburos) los polígonos en explotación se consideran con valores máximos de resistencia, y por fuera de ellos los valores de resistencia se establecen asumiendo una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a los sitios intervenidos para la explotación y la resistencia al flujo de organismos. Los valores de la matriz de resistencia resultante para ambos tipos de actividad, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.5). Para dicha clasificación se hace uso del método de intervalos geométricos. Para este ámbito de análisis, se plantea el uso de la cartografía generada desde la ANH para el caso de la explotación de hidrocarburos y desde la ANM para minería, ambas a una escala 1:100.000.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación de la zona de estudio
 - Capa explotación Hidrocarburos (ANH)
 - Capa de títulos Mineros (ANM)

- **Procedimientos:**
 - Unión capas explotación minera e hidrocarburos.
 - Delimitación (corte) de la capa al límite del área de estudio.
 - Cálculo de valores de probabilidad de resistencia.
 - Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 6.5. Clasificación de la resistencia en relación a la distancia a explotación de recursos no renovables.

DISTANCIA EXPLOTACIÓN	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Polígono	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

6.4.2.3.6. Índice general de fragmentación de las coberturas (IF)

Esta variable se incluye en los análisis de conectividad planteados dada su consideración dentro de la propuesta del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006). Esto, considerando la estrecha relación entre los procesos de conectividad y fragmentación, y con el fin de identificar áreas críticas para la conectividad de la región que no se encuentren bajo este último tipo de procesos. El índice de fragmentación se calcula utilizando como insumo la capa de coberturas de la tierra con la escala de análisis correspondiente (1:100.000) y el software GUIDOS (Vogt & Riitters, 2017; Soille & Vogt, 2008), específicamente utilizando el índice de fragmentación fundamentado en el concepto de entropía, entendiendo esta como un grado de desorden (heterogeneidad) en la distribución de píxeles (ej. vegetación transformada), que se asocia al grado de fragmentación (Vogt 2015). En tal sentido, a mayor grado de entropía mayor grado de fragmentación de un área, lo que espacialmente se asemejaría a un tablero de ajedrez (Vogt 2015).

A partir del cálculo del índice se obtiene un mapa continuo con valores de 1 a 100, en donde los valores más altos indican una mayor fragmentación y los más bajos una menor fragmentación. Este mapa es clasificado en tres categorías de resistencia: Bajo (0-33), Medio (34-66) y alto (67-100).

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación del área de estudio
 - Capa de Coberturas de la tierra
- **Procedimientos:**
 - Corte de la capa de coberturas a la zona de estudio.
 - Clasificación de la capa de coberturas, diferenciando las naturales vs transformadas, de acuerdo a la clasificación establecida previamente.
 - Cálculo del índice de fragmentación.
 - Reclasificación de los valores de fragmentación por rangos.

6.4.2.3.7. Dinámicas de transformación de las coberturas naturales (DT)

Esta variable se incluye, en asociación al factor de tiempo de intervención de las coberturas, utilizado en la propuesta del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006). La inclusión de esta variable radica en la intención de incrementar la probabilidad de identificar corredores ecológicos, sobre tierras cuya dinámica de transformación sea baja, favoreciendo la permanencia de condiciones naturales y así de la conectividad. En tal sentido, se propone el análisis multitemporal de la transformación de las coberturas naturales, de manera similar a como hizo la FCDS (2014), evaluando específicamente las dinámicas de la deforestación.

Es necesario contar con series temporales de coberturas de la tierra para tres periodos diferentes. Para cada pixel se considera la transformación de coberturas pasada, a partir del contraste de capas de coberturas de la tierra (ej. 2007, 2012, 2016). En la determinación de la transformación se consideran dos categorías principales: coberturas naturales y coberturas transformadas (Seminaturales + Transformadas). Para cada pixel se establece el cambio ocurrido en cada periodo y en el conjunto completo de periodos. Pixeles que no muestren cambios para el conjunto de periodos se califica como “*sin cambio*”. Por otra parte, se toma en cuenta lo ocurrido en el último periodo disponible (ej. 2012-2016), considerándolo como una aproximación al concepto de “*amenaza*” (Tabla 6.6).

Tabla 6.6. Calificación de la amenaza sobre coberturas naturales (2012-2016).

TRANSFORMACIÓN	VALOR CATEGORÍA
No cambio (Natural)	1
Cambio (Transformado - Natural)	2
Cambio (Natural – Transformado)	3
No cambio (Transformado)	4

Por otra parte, como aproximación al concepto de “*presión*” sobre las coberturas, se considera el cambio en los bloques que además de presentar transformación en el último periodo de monitoreo (ej. 2012-2016), presentaron también cambio en el periodo anterior (ej. 2007-2012). Es decir, se trata de pixeles en los cuales la transformación actual de las coberturas es activa y viene con “*presión*” de tiempo atrás. La calificación de la “*presión*” se incluye en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7. Calificación de la presión sobre coberturas naturales (2007-2012)

TRANSFORMACIÓN	VALOR CATEGORÍA
No cambio (Natural)	10
Cambio (Transformado - Natural)	20
Cambio (Natural – Transformado)	30
No cambio (Transformado)	40

Con los resultados obtenidos en la calificación de *amenazas* y *presiones*, y considerando los pixeles “*sin cambio*”, mediante la suma de los valores por pixel se construye la capa de “*Dinámicas de transformación actual*”, la cual es utilizada como insumo (matriz de resistencia) en los análisis de conectividad. Los posibles valores (lógicos¹⁷) de dicha capa son 11, 12, 23, 24, 31, 32, 43 y 44 correspondientes a zonas sin cambio, zonas con cambio reciente y zonas con cambios de vieja data respectivamente. Estos valores son recategorizados en 1, 3 y 5 (Tabla 6.10).

17 Un valor de 33 se considera ilógico puesto que para el periodo 2007-2012 la cobertura termino en estado transformado (Valor 3), pero para el periodo 2012-2016 de dice que inicia como natural (Valor 30), lo cual es imposible, pues un pixel no puede tener dos valores para el año 2012 (Transformado y Natural).

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Capas de “Coberturas de la Tierra” (ej. 2007, 2012, 2016)
 - Polígono delimitación del área de estudio.
- **Procedimientos generales:**
 - Corte de las capas a la zona de estudio
 - Reclasificación de la cobertura de “Dinámicas de transformación” de acuerdo a su valor, en tres categorías de resistencia (Tabla 6.8).

Tabla 6.8. Calificación de las dinámicas de cambio de las coberturas naturales (2007-2016)

TRANSFORMACIÓN	VALOR CATEGORÍA	RECATEGORIZACIÓN
Sin cambio	11	1
Recuperación vieja data	12	1
Recuperación Reciente	23	3
Recuperación Reciente	24	3
Transformación Reciente	31	5
Transformación Reciente	32	5
Transformado vieja data	43	5
Transformado vieja data	44	5

6.4.2.3.8. Vocación de uso de los suelos (VS)

Esta variable se incluye en asociación al factor vulnerabilidad de las coberturas, utilizado en la propuesta del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006), dado que la vocación de los suelos se establece de acuerdo a sus características biofísicas y su correspondiente capacidad para soportar el desarrollo de tipos particulares de actividades. Así, aunque no ha sido tenida en cuenta hasta el momento en los trabajos consultados⁸, se incluye en esta propuesta considerando dos aspectos: a) que una de las causas de la transformación de las coberturas naturales más influyentes en la Amazonia colombiana, es el desarrollo de actividades productivas no acordes con las capacidades de los suelos de la zona. Este tipo de dinámicas, resulta en el paulatino agotamiento de los suelos e implica la necesidad de trasladarlos regularmente a sectores no explotados, correspondientes a áreas bajo coberturas naturales; y b) que, con el fin de establecer corredores de conectividad, la vocación del uso de los suelos debe ser en el futuro un determinante para el tipo de actividades productivas a desarrollar en sus zonas de influencia. Así, la inclusión de la vocación de los suelos, permite que la espacialización y modelación de corredores incluya los suelos más frágiles (considerados como objetos de conservación) y evite aquellos con mayor aptitud para las actividades productivas.

Para la generación de la matriz de resistencia correspondiente, se establecen valores de resistencia para cada una de las diferentes categorías establecidas en la cartografía de referencia, las cuales se asocian al grado de conservación (coberturas naturales) o transformación (seminaturales y transformadas). En este ámbito de análisis, se propone utilizar como insumo la capa de Vocación de uso del suelo (IGAC).

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación área de estudio

- Capa de Vocación de uso de los suelos
- **Procedimientos:**
 - Corte de la capa a la zona de estudio.
 - Categorización y valoración de la resistencia de acuerdo a su vocación.

6.4.2.3.9. Pendiente (P)

Esta variable es utilizada con regularidad en análisis de conectividad ecológica (Zeller et. al, 2012) y hace parte de aquellas consideradas dentro del factor de vulnerabilidad de las coberturas, utilizado en la propuesta del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006), dado que la pendiente del terreno se asocia con su fragilidad en términos de estabilidad y así con el mantenimiento de coberturas naturales y con la conectividad ecológica. Además, terrenos escarpados, se convierten en una barrera física que impide el flujo de organismos.

La pendiente del terreno, calculada en términos de porcentaje, se estima a partir del procesamiento información topográfica, posible de obtener del Modelo Digital de Elevación con resolución acorde a las escalas de trabajo (30 m). Los valores de la matriz de pendiente (matriz de resistencia), son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: pendiente baja, pendiente media y pendiente pronunciada, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.9). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación del área de estudio
 - Modelo de Elevación
- **Procedimientos:**
 - Corte DEM a la zona de estudio
 - Cálculo de los valores de porcentaje de pendiente
 - Categorización de los valores de pendiente.

Tabla 6.9. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo a la pendiente del terreno.

PENDIENTE	RESISTENCIA		
	Rango Valores	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Baja	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1
Media	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Pronunciada	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5

6.4.2.3.10. Aislamiento de hábitats remanentes (AHR)

Esta variable, al igual que la anterior es propuesta originalmente por Correa et. al., (2017) y corresponde a la primera de tres incluidas por dichos autores, asociadas a la pérdida y fragmentación del hábitat (F_{Frag}). Se incluye en los análisis de conectividad planteados, considerando la estrecha relación existente entre los procesos de conectividad y fragmentación, y con el fin de identificar áreas críticas para la conectividad de la región que no se encuentren bajo este tipo de procesos.

La variable corresponde específicamente a la distancia de áreas transformadas a parches de hábitat remanente. Al ser una variable relacionada con la distribución de hábitats, debe ser construida a partir del procesamiento de la capa de hábitat generada para cada una de las especies consideradas. Los valores de la matriz de resistencia resultante, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.10). Para dicha clasificación se hace uso del método de intervalos geométricos.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Capa de hábitat remanente / No hábitat, por especie o grupo de especies considerado.
- **Procedimientos:**
 - Cálculo de distancia de áreas transformadas a parches de hábitat remanente.
 - Categorización de los valores de resistencia (Tabla 6.10).

Tabla 6.10. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia entre parches de hábitat / no hábitat

DISTANCIA	RESISTENCIA		
	Rango Valores	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Baja	Polígonos de hábitat remanente	Baja	1
Media	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Pronunciada	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5

6.4.2.3.11. Porcentaje de hábitat transformado (PHT)

Esta variable, al igual que la anterior es propuesta originalmente por Correa et. al., (2017) y corresponde a la segunda de las tres variables incluidas, asociadas a la pérdida y fragmentación del hábitat (F_{Frag}). Se incluye en los análisis de conectividad planteados, considerando la estrecha relación existente entre los procesos de conectividad y fragmentación, y con el propósito de identificar áreas críticas para la conectividad de la región que no se encuentren bajo este tipo de procesos.

La variable corresponde específicamente al porcentaje de hábitat transformado por unidad de área (concordante con la escala de análisis actual, 1:100.000). Al ser una variable relacionada con la distribución de hábitats, debe ser construida a partir del procesamiento de la capa de hábitat generada para cada una de las especies o grupos de especies considerados en los diferentes ámbitos de análisis.

A partir del cálculo del porcentaje se obtiene un mapa continuo con valores de 1 a 100, en donde los valores más altos indican una mayor resistencia y los más bajos una menor. Este mapa es clasificado en tres categorías de resistencia: Bajo (0-33), Medio (34-66) y alto (67-100).

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Capa de hábitat remanente / No hábitat, por especie o grupo de especies considerado.
- **Procedimientos:**
 - Cálculo del porcentaje de hábitat transformado por unidad de área.

6.4.2.3.12. Índice de extensión de la transformación (IET)

Esta variable, al igual que la anterior es propuesta originalmente por Correa et. al., (2017) y corresponde a la tercera de las tres variables incluidas por dichos autores, asociadas a la pérdida y fragmentación del hábitat (F_{Frag}). Se incluye en los análisis de conectividad planteados, considerando la estrecha relación existente entre los procesos de conectividad y fragmentación, y con la finalidad de identificar áreas críticas para la conectividad de la región que no se encuentren bajo este tipo de procesos. La variable corresponde específicamente a la distancia media entre cada pixel y el centroide de cada parche de hábitats transformados (No hábitat).

Este índice corresponde al “Índice de radio de Giro” (McGarigal et al., 2002) y se asocia a la distancia media que un organismo debe moverse dentro de un parche transformado para salir del mismo. Al ser una variable relacionada con la distribución de hábitats, debe ser construida a partir del procesamiento de la capa de hábitat generada para cada una de las especies consideradas.

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre el valor del índice (distancia media de desplazamiento) y la resistencia al flujo de organismos. Los valores de la matriz de resistencia resultante, serán reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.11). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Capa de hábitat remanente / No hábitat, por especie o grupo de especies considerado.
- **Procedimientos:**
 - Cálculo de la distancia media entre cada pixel y el centroide de cada parche de hábitats transformados (No hábitat).

Tabla 6.11. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo al Índice de extensión de la transformación.

VALOR	RESISTENCIA		
	Rango Valores	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Baja	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1
Media	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Pronunciada	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5

6.4.2.3.13. Otras variables

Dependiendo de las dinámicas ecológicas y socioeconómicas que a través del tiempo tiene el territorio, se debe considerar la necesidad de evaluar la inclusión variable adicionales a las hasta aquí descritas, de manera que se pueda describir acertadamente la realidad del área de estudio a la que se haga referencia. En ese sentido, la selección de dichas variables debe buscar el complemento de los diferentes aspectos considerados para la cuantificación del efecto de las actividades humana sobre la conectividad, en la propuesta del IEHH (Correa et al., 2017). La selección de dichas variables deberá fundamentarse en caracterizaciones que se hagan de los paisajes bajo análisis, como las desarrolladas en el contexto del análisis de motores de fragmentación.

6.4.2.4. Modelación de la matriz general de resistencia.

Siguiendo procedimientos generales utilizados con anterioridad (Correa et al., 2017; Etter et al., 2006), para la generación de la Matriz General de Resistencia por Especie (MGR), en primera instancia se deben sumar los

valores de cada una de las matrices individuales de resistencia generadas, para cada uno de los factores asociados al IEHH (Tabla 6.3).

- $F_{int} = CT + DD + DV + DP + DNR + IF$
- $F_{time} = DT$
- $F_{vul} = VS + P$
- $F_{frag} = AHR + PHT + IET$

Posteriormente, se genera la matriz IEHH por especie, con valores entre 0 -100 de acuerdo a:

$$MGR_i = \frac{(F_{int} + F_{time} + F_{vul} + F_{frag}) \times 100}{(F_{int\ max} + F_{time\ max} + F_{vul\ max} + F_{frag\ max})}$$

Finalmente, para evaluar las diferencias que la actividad humana tiene sobre la conectividad ecológica general del paisaje, se genera una Matriz Final de Resistencia (MFR) (multiespecie), sumando los valores de resistencia calculadas por especie. Los valores de la capa resultante son reescalados nuevamente entre 0 y 100 (Correa et. al., 2017).

6.4.2.5. Descripción de patrones generales de conectividad

La descripción de los patrones generales de conectividad se realiza mediante la evaluación de la MFR generada. Con este insumo es posible describir la variación geográfica del grado de resistencia / conectividad y su representación mediante la definición de sectores relativamente homogéneos y en el contexto de la división político-administrativa y por cuencas. De esta manera, será posible identificar sectores generales con un alto o bajo grado de conectividad.

6.4.2.6. Sectores determinantes a ser conectados

6.4.2.6.1. Áreas Núcleo

Para la identificación de áreas críticas para el mantenimiento de la conectividad, se identifican grandes bloques bajo coberturas naturales cuya extensión en teoría permita el mantenimiento de poblaciones silvestres saludables y desde las cuales se puedan intercambiar individuos incrementando la variabilidad genética y la funcionalidad ecológica regional (áreas núcleo). Es necesario que estas áreas cuenten con una figura legal de ordenamiento, que restrinja su uso para actividades contrarias al propósito de conservación de la biodiversidad y su funcionalidad.

En concordancia con los criterios mencionados, se propone la inclusión de áreas con coberturas naturales al interior de algún área protegida (establecidas o en proceso de creación) o resguardos indígenas presentes en el territorio amazónico. La inclusión de los resguardos como focos de conservación, se hace considerando que el estilo de vida de las comunidades indígenas amazónicas depende del buen estado de conservación del medio, no solo como fuente de los recursos de uso cotidiano, sino también como base fundamental de sus cosmogonías.

Para la identificación de conjuntos de áreas núcleo, entre las cuales se modelarán corredores de conectividad, se realiza un análisis morfológico del paisaje (MSPA), que considera las características geométricas de sus diferentes elementos. Para ello, se utiliza el software "Guidos Toolbox" y sus herramientas "MSPA" y "Components" (Vogt & Riitters, 2017; Soille & Vogt, 2008). El MSPA consta de una secuencia de análisis

matemáticos para la descripción de la conectividad de los componentes de los paisajes. Como primer paso de la modelación se debe generar una capa de coberturas de la tierra de tipo binario (Natural vs Transformado). Sobre dicha capa binaria se corre el análisis MSPA propiamente dicho, que segmentan la capa en siete (7) tipos diferentes de elementos: I: áreas núcleo, II: Islas, III: perforaciones, IV: Bordes, V: Bucles, VI: Puentes y VII: ramas mutuamente excluyentes (Vogt & Riitters, 2017; Soille & Vogt, 2008) (Figura 6.2).

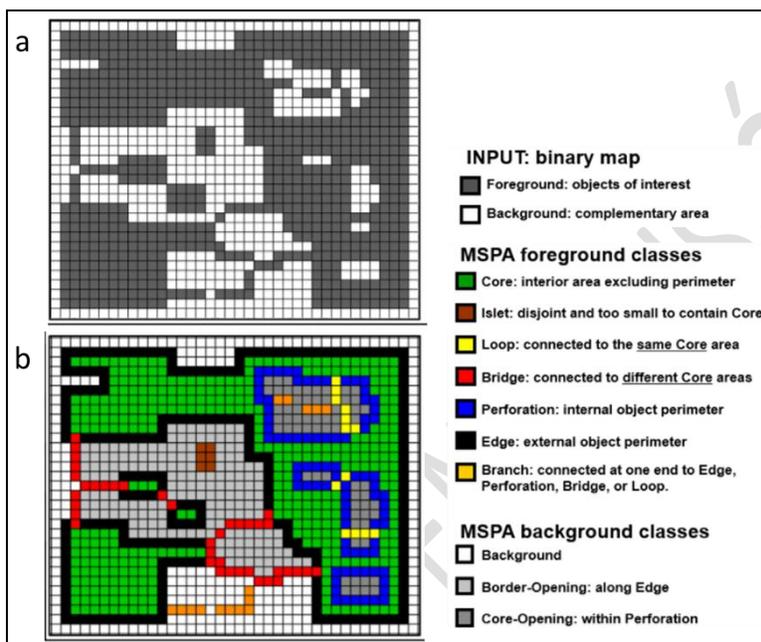


Figura 6.2. Imágenes de entrada (a) y salida (b) para el análisis MSPA. Fuente: sitio web MSPA¹⁸

Para este trabajo se propone el uso de una capa binaria de entrada clasificada con (1) Zonas con coberturas naturales dentro de áreas protegidas (AP's) + resguardos, y (0) el resto del área de estudio. Posteriormente, la capa producto del ejercicio de segmentación es utilizada como insumo para la herramienta "Components", con la que es posible modelar una red de grandes áreas (nodos), que finalmente agrupa en conjuntos, a manera de grandes "componentes", de acuerdo a la terminología utilizada en la bibliografía técnica del software (Vogt & Riitters, 2017).

Teniendo en cuenta la escala de trabajo utilizada, con píxeles de 30 m, es necesario filtrar los resultados del análisis de componentes eliminando aquellos de menor tamaño. En tal sentido, se consideran únicamente los componentes con áreas mayores a las 4.000 ha, correspondiente al tamaño máximo del rango de hogar de jaguares machos en bosques húmedos tropicales (Rabinowitz & Nottingaham 1986). Lo anterior considerando que esta especie, dadas sus características ecológicas de gran carnívoro, puede tener el rango de hogar de mayor tamaño dentro de la comunidad de fauna silvestre por lo que la conservación sectores de ese tamaño en buen estado de conservación, en principio podrían significar la sobrevivencia individuos de esta especie y tener un efecto sombrilla sobre el resto de especies que habitan este tipo de ecosistemas. Los componentes

18 <http://forest.jrc.ec.europa.eu/download/software/guidos/mspa/#param2>

filtrados corresponden a las *áreas fuente* entre las cuales se definirán corredores con menor resistencia para la conectividad.

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación área de estudio
- Capa coberturas de la tierra
- Capa de áreas protegidas
- Capa resguardos indígenas

- **Procedimientos:**

- Corte de las diferentes capas al límite de análisis regional
- Unión capas de AP's y Resguardo (APR)
- Delimitación de sectores de la capa APR bajo coberturas naturales (Intersección de capas).
- Análisis morfológico del paisaje (Guidos: MSPA)
- Identificación de grandes componentes (Guidos: Components)

6.4.2.7. Identificación de sectores importantes para la conectividad

6.4.2.7.1. Corredores de conectividad

La identificación de sectores importantes para la conectividad (Corredores), se realiza mediante una modelación utilizando en primera instancia el software "CircuitScape", que de manera análoga a la teoría de grafos probabilísticos (con nodos conectados por medio de enlaces de mayor o menor resistencia), considera los paisajes como una superficie de conductividad eléctrica. En tal sentido, toma los componentes a conectar (área núcleo) como fuentes de corriente y representa el movimiento de los individuos como el flujo eléctrico a través de la superficie de conductividad (Matriz Final de Resistencia – IEHH -) (McRae et al., 2013). El programa toma en cuenta todas las posibles rutas que pueden ser recorridas en la matriz resistencia y evalúa las contribuciones de cada una de ellas en la zona de análisis. En tal sentido, el resultado final es la valoración de carga (eléctrica) o la probabilidad de tránsito (en el contexto de corredores de conectividad ecológica) que podría llegar a tener cada pixel en el paisaje. Es así como un espacio con un alto valor es indicador de concentración de carga y por tanto, un punto frágil del sistema de conectividad. Por el contrario, los valores bajos indican una mayor permeabilidad y distribución de la energía en una zona más amplia y de manera más homogénea (FCDS, 2018).

La evaluación visual de la matriz de conductividad permite generar una propuesta preliminar de corredores en el área de estudio, incluyendo aquellos que conectan las diferentes áreas núcleo o parches funcionales delimitados. Sin embargo, con la intención de lograr una delimitación con un respaldo cuantitativo, la matriz final de resistencia también es procesada con el software LinkageMapper que identifica entre las áreas núcleo / parches funcionales a) corredores lineales específicos de menor resistencia al flujo de organismos, pero con diferentes grados de probabilidad de flujo dependiendo de su localización, y b) aquellos caminos de menor costo dentro de cada corredor, en términos de resistencia.

- **Insumos de información cartográfica:**

- Matriz general de resistencia

- Capa de áreas fuente / parches funcionales
- **Procedimientos generales:**
 - Modelación de superficies de resistencia entre áreas fuente (CircuitScape).
 - Delimitación visual de corredores
 - Modelación de corredores de conectividad entre áreas fuente (LinkageMapper).

6.4.2.7.2. Franjas de conectividad

Aunque los corredores modelados, corresponden a los espacios con menor resistencia al flujo de organismos entre las diferentes áreas núcleo definidas, el focalizar las iniciativas de manejo del territorio, para el mejoramiento del estado de su estado conservación y el mantenimiento o recuperación de las extensiones de coberturas naturales, debe considerarse una perspectiva restringida o por lo menos poco precavida. La reducida área ocupada por estos corredores tiene implicaciones en términos de su integridad y vulnerabilidad frente a las dinámicas de transformación que se puedan desarrollar en su vecindad. Por lo anterior y considerando que la perspectiva de análisis considera patrones y procesos desarrollados sobre sectores y no sólo sobre trazados lineales, se hace necesario considerar franjas del territorio que incluyan los corredores modelados. Sobre estas franjas es posible desarrollar estrategias generales que propendan por el mejoramiento de la conectividad, por parte de actores institucionales de carácter nacional (ministerios), regional (corporaciones de desarrollo sostenible) o incluso departamental (gubernaciones).

En tal sentido, teniendo como referentes: a) la localización de los corredores modelados, b) la distribución de las cuencas y c) los valores de la matriz de resistencia generada, se propone delimitar franjas dentro de las zonas de estudio, que pueden ser importantes para el mantenimiento de la conectividad en la Amazonía, y entre esta y la región Andina y la Orinoquía, conectando pares de áreas núcleo específicos.

El uso de la figura de cuenca, se fundamenta en dos aspectos principales, relacionados con criterios ecológicos y de manejo. En el primer caso, la delimitación natural de las de estos elementos del paisaje corresponde a espacios en los que se desarrollan flujos particulares de materia y energía, comportándose como límites naturales de sistemas ecológicos. Segundo, estas figuras son espacios geográficos sobre los cuales se han desarrollado herramientas específicas de manejo (ej. POMCA), que pueden ser aprovechadas para asegurar el mantenimiento / mejoramiento de su estado de conservación y así de su función como espacios de conectividad entre área núcleo particulares.

Específicamente, para la delimitación de las franjas importantes para la conectividad, se consideran aquellas cuencas que permitan la conexión directa entre pares de áreas núcleo. Adicionalmente, dado que en algunos casos las cuencas identificadas pueden abarcar territorios extensos que no necesariamente correspondían a zonas entre áreas núcleo, las franjas deben ser delimitadas de tal forma que incluyan los corredores de conectividad modelados y además que tengan representación de un número reducido (3) de rangos de valores de conductividad eléctrica en la matriz generada.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Matriz general de resistencia
 - Capa de áreas núcleo
 - Cartografía cuencas

- **Procedimientos generales:**

- Modelación de superficies de resistencia entre áreas fuente (CircuitScape).
- Delimitación de sectores específicos a partir de:
 - Cuencas
 - Valores de resistencia

6.4.2.8. Priorización de sectores importantes para la conectividad

Las franjas importantes para la conectividad entre áreas núcleo podrán ser priorizadas, teniendo en cuenta dos tipos de criterios: a) técnicos, y b) Institucionales.

En el primer caso, de manera complementaria a la delimitación de los rangos de valores de resistencia asociados a las franjas de conectividad, es necesario considerar el tipo de dinámicas socioeconómicas que en ellas se desarrollan. Lo anterior, dado que ellas determinan el tipo de estrategias a implementar en cada caso, las cuales presentan diferencias en términos de viabilidad de implementación en terreno. Este tipo de afectación por actividades de origen antrópico es posible de cuantificar mediante la evaluación de la presencia de motores de fragmentación¹⁹ en las diferentes franjas identificadas. En este sentido, los mapas de distribución probable de los motores de fragmentación son cruzados con las franjas de conectividad. La estimación del área afectada por cada uno de los niveles de intensidad (1-5) por motor hace posible identificar cual (es) de ellos presentan un mayor impacto sobre cada franja.

Sumado a la evaluación de la afectación por motores de fragmentación, es necesario considerar criterios de carácter institucional, que se relacionan con objetivos misionales, disponibilidad y compromisos presupuestales, antecedentes (procesos previos de gestión territorial desarrollados en las diferentes zonas), disponibilidad de las comunidades locales para el desarrollo procesos en pro del mantenimiento o recuperación de la conectividad ecológica (conversión de las actividades económicas, ordenamiento del uso del territorio).

6.4.2.9. Caracterización de corredores y franjas

6.4.2.9.1. Caracterización general y estructural

Tanto corredores como franjas de conectividad serán delimitados a partir de las cuencas, referenciados al nivel de mayor ajuste de la grilla del Marco Geoestadístico Nacional y caracterizados en términos político-administrativos y por sus valores promedio de resistencia, su variación, el tipo de coberturas que incluyen y su proporción.

6.4.2.9.2. Caracterización socioeconómica

De manera complementaria a las caracterizaciones generales y estructurales, buscando mayor detalle en el conocimiento de los sectores analizados, se realizará también una caracterización socioeconómica. En este sentido se debe mencionar que análisis de conectividad tiene estrecha relación con el estudio de los motores de fragmentación del paisaje, pues es un insumo fundamental en su caracterización. El análisis de fragmentación y sus motores incorpora la integración de aspectos sociales y económicos del territorio como

¹⁹ Para el detalle sobre el planteamiento conceptual y metodológico para la identificación y espacialización de motores de fragmentación por ámbito de trabajo

insumo para determinar dónde la conectividad está comprometida en mayor o menor grado. En tal sentido, para el análisis de conectividad se tendrán en cuenta dos procesos específicos: a) la capacidad de adaptación de las actividades económicas que generan fragmentación y b) el potencial de restauración de la conectividad.

6.4.2.9.3. Capacidad adaptación de las principales actividades económicas

En este ámbito de análisis, la capacidad de adaptación se mide por la inversión realizada para organizar el territorio respondiendo a los objetivos de desarrollo propuestos en los planes de desarrollo económico y sectorial. De igual forma, a la inversión realizada para desarrollar las actividades productivas más determinantes en la fragmentación, en el presente caso a la inversión realizada en los sistemas de producción. La inversión que realizan los productores en los sistemas de producción, es un indicador que permite establecer bien sea una restricción al cambio, dado que se asimila como una inversión realizada que no puede perderse, caso inversión en ganadería, o como una oportunidad de recursos que pueden ser reorientados para reconvertir los sistemas de producción que más generan fragmentación. Esta inversión se analiza a partir de los costos de producción asumidos por los productores.

De igual forma, la capacidad de adaptación está dada por el potencial que ofrece la inversión estatal y de organismos de cooperación, que puede sea reorientada mediante procesos de cooperación específicos.

Con el fin de desarrollar la capacidad adaptativa el proceso a seguir es el siguiente:

• Procedimientos generales

- Delimitación de los corredores de conectividad ecológica.
- Identificación de las actividades y actores que tienen presencia y actúan en cada uno de los corredores y caracterizar sus actividades
- Análisis de coherencia o inconsistencia entre las acciones orientadas al fomento productivo y el desarrollo socioeconómicos y las orientadas a la conservación y el mantenimiento de la conectividad ecológica.
- Analizar de manera conjunta con actores interesados la capacidad adaptativa, dada por:
 - Voluntad para iniciar el cambio. Es tanto política como social
 - Construcción de consensos para armonizar las acciones que requieren cambio y que se pueden orientar hacia el mantenimiento de la conectividad, con actores regionales (autoridades ambientales, entidades territoriales, gremios, asociaciones y federaciones de carácter comunitario)
 - Definición de planes de acción concretos que incluyan las medidas específicas para controlar la pérdida de conectividad (deforestación y fragmentación del paisaje), que incluye responsables, recursos y tiempos.

6.4.2.9.4. Potencial de conservación y restauración de corredores de conectividad

El potencial de restauración a nivel regional responde a las necesidades de restablecimiento y mantenimiento de la conectividad estructural y funcional, así como a las metas que se propongan a nivel temporal del proceso de restauración, en los corredores identificados mediante el análisis biofísico. El potencial de restauración puede ser establecido mediante los siguientes análisis:

- **Procedimientos generales:**

- Análisis del potencial socioeconómico por tipologías de sistemas de producción.
 - Identificación de los sistemas de producción presentes en cada corredor.
 - Construcción/ aplicación de indicadores de sostenibilidad de cada sistema.
 - El índice de sostenibilidad de los sistemas de producción elaborado por el Instituto Sinchi, en los estudios de caracterización y tipificación de los sistemas de producción en Putumayo, Caquetá y Guaviare. A mayor índice de sostenibilidad mayor será la capacidad del sistema de producción para asimilar cambios y responder a acciones encaminadas a la restauración, en tal sentido se convierte en un potencial de restauración. (Vanegas R & Barón, 2015)
- Identificación de recursos potenciales tanto institucionales como gremiales que puedan ser orientados a la construcción y planeación de los corredores y al mantenimiento de la conectividad.
 - Caracterización de los espacios interinstitucionales (estatales y comunitarios) y de sus acciones en el territorio, identificando con precisión proyectos y recursos que pueden ser orientados a garantizar la conectividad o que son complementarios a ella, caso reconversión de los sistemas de producción, iniciativas de conservación, proyectos de acompañamiento técnico y transferencia de tecnología (planes departamentales de acompañamiento técnico de la ADR), ordenamiento social y productivo (UPRA), planes de desarrollo productivo (gremios, secretarías de desarrollo agropecuario), entre otros.
 - Caracterización de espacios interinstitucionales en los que se analiza y proyecta el desarrollo de infraestructura vial y de apoyo productivo. En el caso de vías, el tema de corredores viales de conectividad regional, mejoramiento de vías secundarias y terciarias y los planes asociados, con el fin de incidir en la destinación de recursos de compensación, hacia proyectos y actividades que propicien el restablecimiento de conectividad. Identificar si se consideran acciones orientadas al desarrollo de infraestructura vial verde. En el segundo caso, identificar el tipo de infraestructura de apoyo a la producción y las cadenas productivas y su ubicación actual o proyectada, con el fin de definir acciones que se orienten a compensar pérdidas de conectividad por su construcción.

6.4.3. Resultados Esperados

En términos generales, del análisis de conectividad planteado se obtendrán como productos finales, la identificación y caracterización general de las áreas núcleo presentes en la Amazonía colombiana, así como de corredores y franjas de conectividad entre pares de áreas núcleo. Sin embargo, de acuerdo a lo planteado hasta el momento, a continuación, se especifican los resultados finales esperados de los análisis de conectividad.

- Matrices de resistencia de cada una de las variables consideradas, asociadas a los procesos de transformación de los paisajes
- Matriz de resistencia final (IEHH)
- Identificación, caracterización general y espacialización de áreas núcleo
- Identificación, caracterización general y espacialización de corredores y franjas de conectividad
- Caracterización general de los patrones generales de conectividad regional,

- Identificación de actores estratégicos, con sus roles y actividades
- Análisis de conflictos socioambientales actuales en la región, que deben ser resueltos para garantizar la conectividad ecológica
- Análisis de la capacidad adaptativa para abordar acciones concretas que garanticen la conectividad ecológica.
- Potencial socioeconómico de los principales sistemas de producción regional identificado y orientado a la restauración de la conectividad ecológica
- Identificación de actores y recursos institucionales y gremiales, que potencialmente pueden ser orientados a garantizar el mantenimiento y conservación de la conectividad ecológica en la región.

6.5. ÁMBITO SUBREGIONAL

6.5.1. Objetivos específicos

- Identificar y caracterizar áreas que, gracias a sus características, deberán mantenerse conectadas mediante corredores ecológicos con el fin de asegurar el flujo de organismos al interior de los sectores bajo análisis.
- Identificar y caracterizar aquellos sectores determinantes en el mantenimiento de la conectividad ecológica entre parches funcionales, permitiendo la conectividad al interior de los sectores bajo análisis.
- Caracterizar los patrones generales de conectividad de las áreas bajo análisis

6.5.2. Metodología

6.5.2.1. Inventario de especies y modelamiento de hábitat

Considerando la perspectiva de conectividad funcional a desarrollar, se debe realizar un inventario detallado de las especies de mamíferos terrestres presentes en cada área de estudio definida. Este inventario será la base para la modelación de hábitats, lo que a su vez será insumo para el cálculo de algunas de las matrices de resistencia individuales asociadas al IEHH (Correa et. al., 2017), y la identificación de parches funcionales.

Los inventarios, en principio, deben nutrirse a partir de la revisión de bases de datos²⁰ y bibliografía especializada (ej. Alberico et. al., 2000; Emmons & Feer, 1997), referidas a los rangos de distribución de especies y de localidades de presencia confirmada (ej. SIB²¹, GBIF²²). Se propone centrar el inventario en el grupo de los mamíferos terrestres no voladores teniendo en cuenta: a) la variabilidad ecológica del grupo, que permite utilizarlos como *proxys* de la variabilidad de organismos presentes en la región, y b) la afectación de su movilidad por transformación de las coberturas, a diferencia de organismo con capacidad de vuelo (ej. murciélagos y aves), y c) la cantidad de información ecológica generada para el grupo, que permite la modelación de hábitats para un mayor número de especies, respecto a otros taxones como los reptiles o anfibios.

²⁰ <http://biomodelos.humboldt.org.co>

²¹ SIB: Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia, (www.humboldt.org.co/es/servicios/sib-colombia).

²² Global Biodiversity Information Facility (www.gbif.org/).

Dado el detalle requerido para el análisis subregional, se hace necesaria la diferenciación de las especies en un reducido número de agrupaciones, de acuerdo a sus características ecológicas. Bajo esta consideración, las especies serán diferenciadas en tres grupos de acuerdo a su capacidad de desplazamiento entre parches de hábitat y los requerimientos mínimos de área hábitat considerando la propuesta de Correa et. al., (2017) (Tabla 6.12).

Tabla 6.12. Valores de referencia para determinar grupos de especies indicadoras. Fuente: Correa et. al., 2017.

GRUPO	CAPACIDAD DE DISPERSIÓN (m)	ÁREA MÍNIMA DE HÁBITAT (ha)
G1	>3000	>350
G2	250–1500	3–350
G3	<250	3

6.5.2.2. Modelamiento de hábitats

Del inventario realizado se deben seleccionar los registros de presencia en sectores bajo coberturas naturales. Lo anterior, considerando la dificultad de conocer si los registros obtenidos bajo coberturas transformadas actuales fueron obtenidos en momentos en los que la cobertura no había sido transformada. Bajo tales circunstancias la utilización de registros sobre coberturas transformadas actuales, podría resultar en modelaciones de hábitats falsos. La selección final de especies para las cuales se hace la modelación de hábitat corresponde a aquellas con más de diez registros de presencia tras la aplicación de los filtros mencionados (Pearson et al., 2007).

Los registros de presencia son utilizados directamente para la modelación del hábitat por especie o grupos de especies utilizando el software MaxEnt (Phillips et al., 2006). Este formaliza el principio de que la distribución estimada debe estar de acuerdo con todo lo que es conocido o inferido de las condiciones ambientales donde los individuos de la especie han sido observados. El enfoque del software es entonces encontrar la distribución de probabilidad de máxima entropía, es decir la distribución más cercana a la uniforme, sujeta a las restricciones impuestas por la información disponible sobre la distribución observada de las especies y las condiciones ambientales en el área de estudio (Pearson 2007, Phillips, et al. 2006). MaxEnt ha mostrado grandes ventajas al no requerir datos de ausencia real (Segurado & Araujo 2004). El método se puede utilizar para variables categóricas y el resultado es una predicción continua (probabilidad de 0 a 100 que indica la idoneidad relativa). En este caso específico las variables consideradas corresponden a variables climáticas²³, la pendiente y las coberturas de la tierra (Correa et. al. 2017). Para la eventual producción del mapa de coberturas de la tierra para ámbitos detallados, se deberán utilizar como insumos de información, sensores remotos de alta resolución espacial, que permitan elaborar una interpretación visual a la escala correspondiente (1:25.000).

Los mapas de distribución resultantes son clasificados utilizando el umbral definido por el décimo percentil del umbral logístico de la presencia de entrenamiento, para definir las áreas de hábitat óptimo (Pearson et al., 2007 en: Correa et. al., 2017). Píxeles con valores superiores a dicho valor corresponden a hábitats óptimos, y los que se encuentren por debajo se consideran como zonas de “No hábitat” o “Hábitats Transformados”. Posteriormente, las áreas de hábitat son cruzadas con las coberturas naturales, con el fin de establecer la distribución de hábitats remanentes, los cuales se utilizan en los análisis de conectividad (ver más adelante).

- **Insumos de información:**

²³ Bioclim: www.worldclim.org/bioclim

- Localidades con presencia de especies de mamíferos terrestres.
- Capa de coberturas de la tierra (Sinchi).
- Capas variables ambientales (clima, topografía, coberturas).
- **Procedimientos generales:**
 - Filtrado de localidades de presencia de especies a áreas bajo coberturas naturales.
 - Filtrado de especies (más de 10 registros).
 - Modelación de hábitat por especie (MaxEnt).
 - Identificación de coberturas naturales asociadas a áreas de hábitats por especie

6.5.2.3. Análisis matriciales

Los análisis que se muestran a continuación, tienen por objetivo la generación de una matriz de resistencia correspondiente al Índice Espacial de Huella Humana (IEHH) (Correa et. al., 2017; Etter, et. al., 2006). Lo anterior, a partir de la generación y combinación de matrices de resistencia individuales que describen el impacto de las actividades humanas sobre la conectividad de los paisajes. Para ello, se identifican variables asociadas específicamente con: a) La intensidad del uso de la tierra, b) El tiempo/dinámica de intervención de las coberturas y c) su vulnerabilidad biofísica, así como d) procesos de pérdida y transformación del hábitat (Correa et al., 2017). En el caso de las variables asociadas a transformaciones de hábitats, se generarán para cada especie identificada, y trabajadas en conjunto con las matrices relacionadas con los motores de transformación de coberturas (Correa et. al., 2017).

Para la identificación de las variables, se recurre a la revisión de publicaciones enfocadas en análisis de la conectividad (ej. Zeller et. al., 2012), además de documentos técnicos en la evaluación de la conectividad y la identificación actividades de alto impacto desarrolladas en la Amazonía colombiana. Ahora, aunque dichas actividades han sido analizadas en el contexto particular de la transformación de coberturas boscosas, dada su carácter genérico y amplia distribución, se considera deben tener también efectos sobre otro tipo de coberturas, siendo posibles relacionarlas con procesos de fragmentación aquí considerado.

Para el ejercicio planteado se usa una base de 12 variables espaciales agrupadas en los 4 criterios asociados al IEHH (Tabla 6.13). Adicionalmente, el conjunto de variables a usar en cada uno de los ámbitos considerados podrá variar dependiendo del tipo de actividades que en el futuro se desarrollen en la región, es decir su dinámica biofísica y socioeconómica, y de acuerdo a la disponibilidad de información que permita su descripción y caracterización bajo el concepto de IEHH.

Tabla 6.13. Variables incluidas en los análisis de conectividad para el ámbito regional.

CRITERIO	VARIABLE INDICADORA	
Uso de la tierra	Tipo de cobertura de la tierra	CT
	Distancia Drenajes	DD
	Distancia a Vías	DV
	Distancia a centros poblados	DP
	Distancia a sitios de explotación de recursos no renovables	DNR
	Índice de fragmentación	IF
Tiempo/Dinámicas de Intervención	Dinámicas de transformación de las coberturas	DT

CRITERIO	VARIABLE INDICADORA	
Vulnerabilidad	Vocación de los suelos	VS
	Pendiente	P
Pérdida /Fragmentación Hábitats	Aislamiento del hábitat remanente	AHR
	Porcentaje de hábitat transformado	PHT
	Índice de extensión de la transformación de hábitats	IET

Con la selección inicial de las 12 variables, se intenta reducir al máximo el número de entradas para el cálculo del IEHH, y la inclusión de aquellas correspondientes a indicadores directos y no a índices compuestos, disponibles y actualizados en la medida de lo posible. Lo anterior, con el objetivo de minimizar el ruido producido en el modelaje, a causa de la redundancia entre variables y poder asociar variables individuales a los procesos de pérdida o mantenimiento de la conectividad, lo que es de vital importancia a la hora de diseñar estrategias de gestión de los paisajes que busquen el mejoramiento de la conectividad. Adicionalmente, a partir de la distribución de hábitats para las especies de mamíferos terrestres, se construyen tres matrices de resistencia asociadas a la pérdida y fragmentación de hábitat tal y como lo proponen Correa et al. (2017) (Tabla 6.13).

Cada una de las matrices de resistencia asociada a las diferentes variables, se produce mediante el procesamiento de información cartográfica específica. En el caso de las variables asociadas al uso de la tierra, dicho procesamiento implica, la valoración de categorías o de la variación espacial del aporte de cada variable a la conectividad en términos de su resistencia a los flujos ecológicos (Zeller et al., 2012), lo que se asocia con el grado de transformación de las coberturas respecto a su condición original. En el caso específico de las variables asociadas a la pérdida y fragmentación del paisaje, se siguen los procedimientos generales utilizados por Correa et al., (2017). En tal sentido se produce un número de mapas del índice espacial de huella humana (matrices de resistencia), igual al número de grupos de especies (n=3) para las que se modeló el hábitat. Tales mapas se condensarán en una sola matriz, sumando los valores de resistencia de todas las especies, los cuales se reescalarán a valores de 0-100.

La matriz correspondiente al IEHH es útil para describir los patrones espaciales generales de conectividad ecológica en cada área de análisis. Adicionalmente, el análisis de dicha matriz, mediante procedimientos desarrollados en el marco de la teoría de grafos y de circuitos eléctricos (LinkageMapper® y CircuitScape®), permite identificar áreas con la menor resistencia al flujo de organismos (corredores ecológicos), útiles para conectar grandes bloques en buen estado de conservación (parches funcionales, ver más adelante) (Figura 6.1). A continuación, se presentan una breve descripción de cada una de las variables y los procedimientos generales necesarios para la producción de las matrices de resistencia propuestas por ámbito de análisis.

6.5.2.3.1. Tipo de cobertura de la tierra (CT)

Es una variable normalmente incluida en análisis de conectividad ecológica (Zeller et. al., 2012), particularmente en la propuesta original del IEHH, asociándolo al factor de intensidad de uso de la tierra (Correa et. al., 2017; Etter et. al. 2006) y en los trabajos consultados desarrollados al interior de la Amazonía colombiana²⁴. Su inclusión se considera fundamental dado que la evaluación de la conectividad se basa en la consideración de la transformación de las coberturas naturales presentes en el área de estudio.

²⁴ Para mayor detalle de estos estudios previos consultados, referirse a la sección introductoria de este documento, en particular a lo referente a antecedentes.

Para el cálculo de la matriz correspondiente, se establecen valores de resistencia para cada una de las diferentes categorías de coberturas, los cuales se asocian al grado de conservación (coberturas naturales) o transformación (seminaturales y transformadas). Para la clasificación de las diferentes categorías de coberturas se consideran los valores propuestos previamente: Vanegas et al. (2016), Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (2017). Los insumos cartográficos a utilizar corresponden a capas de coberturas de la tierra elaboradas bajo el sistema de clasificación CLC correspondiente a la escala de análisis (1:25.000).

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación área de estudio
- Capa actualizada de coberturas de la tierra.

- **Procedimientos generales:**

- Delimitación (corte) de las capas al límite del área de estudio.
- Calificación de la resistencia de las diferentes coberturas presentes en la región. La calificación corresponde a valores entre 1 -100, que son categorizados en tres grupos, de acuerdo a los propuesto por el Instituto Sinchi (Vanegas et al., 2016).
 - Resistencia Alta: coberturas transformadas, con valores entre 100 y 66.
 - Resistencia Media: coberturas en transformación, con valores entre 33 y 65.
 - Resistencia Baja: coberturas naturales, con valores entre 1 y 32.

6.5.2.3.2. Distancia a drenajes (DD)

Es una variable considerada regularmente en los análisis de conectividad ecológica (Zeller et. al, 2012), particularmente en la propuesta original del IEHH, asociándola al factor de intensidad de uso de la tierra (Correa et. al., 2017; Etter et. al. 2006) y en trabajos consultados desarrollados al interior de la Amazonía colombiana⁸. Su inclusión se hace considerando que los cursos de agua y las coberturas naturales asociadas son las rutas de desplazamiento de organismos. Así, la resistencia se establece en relación positiva con la distancia a los drenajes.

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal directa entre la distancia (euclidiana) a los drenajes y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006). Adicionalmente, para la generación de una matriz de resistencia continua para la totalidad del área de estudio, se asignarán valores de menor resistencia a los polígonos correspondientes a la delimitación de las rondas. Los valores de la matriz de resistencia resultante, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas de drenajes (polígono de delimitación), Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.14). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos²⁵, el cual minimiza la suma de cuadrados de los elementos de cada clase, garantizando que cada rango de clase tenga un número similar de valores y que el cambio entre intervalos sea coherente.

Para este ámbito de análisis, la información considerada se refiere a drenajes dobles, sencillos y cuerpos de agua. Esta información será ponderada en términos de los valores de resistencia (distancia), de acuerdo al

25 <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/mapping/symbols-and-styles/data-classification-methods.htm>

grado de los drenajes considerados. Es tal sentido, a los drenajes dobles se asociarán franjas de menor resistencia con mayor ancho, que las correspondientes a los drenajes sencillos y cuerpos de agua.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación área de estudio
 - Capa de rondas hídricas
- **Procedimientos:**
 - Delimitación (corte) de las capas al límite del área de estudio.
 - Calculo de los valores de resistencia
 - Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 6.14. Valores de resistencia en relación a la distancia a la red fluvial. Fuente: Vanegas et al., 2016.

CATEGORÍA DISTANCIA DRENAJES	RESISTENCIA		
	RANGO DISTANCIA	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Contiguo	Interior polígono	Baja	1

6.5.2.3.3. Distancia a Vías (DV)

La distancia a vías es una variable también utilizada con regularidad en el análisis de conectividad ecológica (ej. Zeller et. al., 2012), particularmente en la propuesta original del IEHH en lo que se refiere al componente de intensidad de uso de la tierra (Correa et. al. 2017; Etter et. al. 2006) y en trabajos consultados desarrollados al interior de la Amazonía colombiana⁸. Su consideración se fundamenta en que este tipo de infraestructura ha sido identificada como uno de los motores de mayor impacto en lo que se refiere a transformación radical de coberturas, en las áreas de trazado y tiene consecuencias sobre las dinámicas futuras de transformación en zonas aledañas al mismo, dando acceso a localidades remotas (Laurence et al., 2009). La construcción de vías, además de traer cambios en los usos de la tierra, tiene como consecuencia el cambio en las dinámicas de uso de los recursos naturales a sus alrededores, al permitir la colonización humana (Laurence et al., 2009).

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a las vías y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006). Los valores de la matriz de resistencia resultante, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, próximas y Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.15). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos.

Para este ámbito de análisis, dependiendo de la localización de las áreas priorizadas, se podrá usar cartografía desarrollada por el IDEAM referente a accesos terrestres a una escala 1:25.000 (IDEAM 2018), en la que los valores de resistencia asociados se podrán ponderar de acuerdo a las características de cada trazado (ej. tamaño, condición – pavimentada vs destapada).

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación del área de estudio.
 - Capa de accesos terrestres

- **Procedimientos:**

- Delimitación (corte) de las capas al límite del área de estudio.
- Cálculo de los valores de resistencia
- Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 6.15 Valores de resistencia en relación a la distancia vías.

CATEGORÍA DISTANCIA VÍAS	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

6.5.2.3.4. Distancia a centros poblados (DP).

Esta variable también utilizada con regularidad en análisis de conectividad ecológica (Zeller et. al, 2012), particularmente en la propuesta original del IEHH en lo que se refiere al componente de intensidad de uso de la tierra (Correa et. al. 2017; Etter et. al. 2006) y en trabajos consultados desarrollados al interior de la Amazonía colombiana⁸. Su inclusión se hace teniendo en cuenta que este tipo de elementos se ha asociado a procesos de transformación del paisaje, al implicar cambios substanciales del uso del suelo. Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a los centros y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006).

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a centros poblados y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006). Los valores de la matriz de resistencia resultante, serán reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.16). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos.

Para este ámbito de análisis, dependiendo de la localización de las áreas priorizadas, se podrá usar la cartografía desarrollada por el IDEAM referente a accesos terrestres a una escala 1:25.000, en la que también se han incluido elementos correspondientes a los centros poblados (IDEAM 2018). En este contexto y considerando las características de la cartografía a utilizar, en la que los centros poblados son representados por medio de polígonos, los rangos de valores de resistencia asociados a cada elemento estarán determinados por su tamaño.

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación del área de estudio
- Capa Centros poblados

- **Procedimientos:**

- Delimitación (corte) de la capa al límite del área de estudio.
- Cálculo de valores de probabilidad de resistencia.
- Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 6.16. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia a centros poblados.

CATEGORÍA DISTANCIA CENTROS POBLADOS	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

6.5.2.3.5. Distancia a sitios de explotación de recursos no renovables (DNR)

La explotación minera y de hidrocarburos son variables que, aunque no han sido utilizadas en las evaluaciones de conectividad consultadas, se incluyen en la presente propuesta, como parte de los aspectos asociados a la intensidad de uso de la tierra del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006). Lo anterior, teniendo en cuenta que son uno de los factores identificados que contribuye de manera significativa a la transformación de las coberturas en la Amazonía⁸, afectando el grado de conectividad del paisaje.

En el caso de la explotación minera, considerando que los polígonos concesionados son explotados de manera diferencial a lo largo del periodo de actividad de los proyectos extractivos existiendo áreas concesionadas, pero sin aprovechamiento presente, se consideran aquellos polígonos bajo la categoría de “en explotación”, de acuerdo a la clasificación de la ANM, que son en los que se generan la mayor cantidad de actividades con impactos sobre las características del medio. En el caso de la explotación de hidrocarburos, dentro de la cartografía consultada se considerarán los elementos correspondientes a pozos en explotación.

En ambos casos (minería e hidrocarburos) los polígonos en explotación se consideran con valores máximos de resistencia, y por fuera de ellos los valores de resistencia se establecen asumiendo una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a los sitios intervenidos para la explotación y la resistencia al flujo de organismos. Los valores de la matriz de resistencia resultante para ambos tipos de actividad, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.17). Para dicha clasificación se hace uso del método de intervalos geométricos.

Para este ámbito de análisis, se plantea el uso de la cartografía generada desde la ANH para el caso de la explotación de hidrocarburos y desde la ANM para minería, ambas a una escala 1:25.000. De haber información sobre el tamaño de los sitios de explotación, los rangos de valores de la matriz de resistencia podrán ponderarse por este atributo. Además, será posible diferenciar el tipo de recursos explotados (ej. petróleo, gas, oro, coltán, etc), generando matrices de resistencia en cada caso.

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación de la zona de estudio
- Capa explotación Hidrocarburos (ANH)
- Capa de títulos Mineros por tipo (ANM)

- **Procedimientos:**

- Delimitación (corte) de cada capa al límite del área de estudio.
- Cálculo de valores de probabilidad de resistencia.

- Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 6.17. Clasificación de la resistencia en relación a la distancia a explotación de recursos no renovables.

DISTANCIA EXPLOTACIÓN	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Polígono	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

6.5.2.3.6. Índice general de fragmentación de las coberturas (IF)

Esta variable se incluye en los análisis de conectividad planteados dada su consideración dentro de la propuesta del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006). Esto, considerando la estrecha relación entre los procesos de conectividad y fragmentación, y con el fin de identificar áreas críticas para la conectividad de la región que no se encuentren bajo este último tipo de procesos. El índice de fragmentación se calcula utilizando como insumo la capa de coberturas de la tierra con la escala de análisis correspondiente (1:25.000) y el software GUIDOS (Vogt & Riitters, 2017; Soille & Vogt, 2008), específicamente utilizando el índice de fragmentación fundamentado en el concepto de entropía, entendiendo esta como un grado de desorden (heterogeneidad) en la distribución de píxeles (ej. vegetación transformada), que se asocia al grado de fragmentación (Vogt 2015). En tal sentido, a mayor grado de entropía mayor grado de fragmentación de un área, lo que espacialmente se asemejaría a un tablero de ajedrez (Vogt 2015).

A partir del cálculo del índice se obtiene un mapa continuo con valores de 1 a 100, en donde los valores más altos indican una mayor fragmentación y los más bajos una menor fragmentación. Este mapa es clasificado en tres categorías de resistencia: Bajo (0-33), Medio (34-66) y alto (67-100).

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación del área de estudio
 - Capa de Coberturas de la tierra
- **Procedimientos:**
 - Corte de la capa de coberturas a la zona de estudio.
 - Clasificación de la capa de coberturas, diferenciando las naturales vs transformadas, de acuerdo a la clasificación establecida previamente.
 - Cálculo del índice de fragmentación.
 - Reclasificación de los valores de fragmentación por rangos.

6.5.2.3.7. Dinámicas de transformación de las coberturas naturales (DT)

Esta variable se incluye, en asociación al factor de tiempo de intervención de las coberturas, utilizado en la propuesta del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006). La inclusión de esta variable radica en la intención de incrementar la probabilidad de identificar corredores ecológicos, sobre tierras cuya dinámica de transformación sea baja, favoreciendo la permanencia de condiciones naturales y así de la conectividad. En tal

sentido, se propone el análisis multitemporal de la transformación de las coberturas naturales, de manera similar a como hizo la FCDS (2014), evaluando específicamente las dinámicas de la deforestación.

Es necesario contar con series temporales de coberturas de la tierra, para tres periodos diferentes. Para cada pixel se considera la transformación de coberturas pasada, a partir del contraste de capas de coberturas de la tierra (ej. 2007, 2012, 2016). En la determinación de la transformación se consideran dos categorías principales: coberturas naturales y coberturas transformadas (Seminaturales + Transformadas). Para cada pixel se establece el cambio ocurrido en cada período y en el conjunto completo de períodos. Pixeles que no muestren cambios para el conjunto de períodos se califica como “*sin cambio*”. Por otra parte, se toma en cuenta lo ocurrido en el último periodo disponible (ej. 2012-2016), considerándolo como una aproximación al concepto de “*amenaza*” (Tabla 6.18).

Tabla 6.18. Calificación de la amenaza sobre coberturas naturales (2012-2016).

TRANSFORMACIÓN	VALOR CATEGORÍA
No cambio (Natural)	1
Cambio (Transformado - Natural)	2
Cambio (Natural – Transformado)	3
No cambio (Transformado)	4

Por otra parte, como aproximación al concepto de “*presión*” sobre las coberturas, se considera el cambio en los bloques que además de presentar transformación en el último periodo de monitoreo (ej. 2012-2016), presentaron también cambio en el periodo anterior (ej. 2007-2012). Es decir, se trata de pixeles en los cuales la transformación actual de las coberturas es activa y viene con “*presión*” de tiempo atrás. La calificación de la “*presión*” se incluye en la Tabla 6.19.

Tabla 6.19. Calificación de la presión sobre coberturas naturales (2007-2012)

TRANSFORMACIÓN	VALOR CATEGORÍA
No cambio (Natural)	10
Cambio (Transformado - Natural)	20
Cambio (Natural – Transformado)	30
No cambio (Transformado)	40

Con los resultados obtenidos en la calificación de *amenazas* y *presiones*, y considerando los pixeles “*sin cambio*”, mediante la suma de los valores por pixel se construye la capa de “*Dinámicas de transformación actual*”, la cual es utilizada como insumo (matriz de resistencia) en los análisis de conectividad. Los posibles valores (lógicos²⁶) de dicha capa son 11, 12, 23, 24, 31, 32, 43 y 44 correspondientes a zonas sin cambio, zonas con cambio reciente y zonas con cambios de vieja data respectivamente. Estos valores son recategorizados en 1, 3 y 5 (Tabla 6.20).

• **Insumos de información cartográfica:**

- Capas de “Coberturas de la Tierra” (ej. 2007, 2012, 2016)
- Polígono delimitación del área de estudio.

26 Un valor de 33 se considera ilógico puesto que para el periodo 2007-2012 la cobertura termino en estado transformado (Valor 3), pero para el periodo 2012-2016 de dice que inicia como natural (Valor 30), lo cual es imposible, pues un pixel no puede tener dos valores para el año 2012 (Transformado y Natural).

- **Procedimientos generales:**
 - Corte de las capas a la zona de estudio
 - Reclasificación de la cobertura de “Dinámicas de transformación” de acuerdo a su valor, en tres categorías de resistencia (Tabla 6.20).

Tabla 6.20. Calificación de las dinámicas de cambio de las coberturas naturales (2007-2016)

TRANSFORMACIÓN	VALOR CATEGORÍA	RECATEGORIZACIÓN
Sin cambio	11	1
Recuperación vieja data	12	1
Recuperación Reciente	23	3
Recuperación Reciente	24	3
Transformación Reciente	31	5
Transformación Reciente	32	5
Transformado vieja data	43	5
Transformado vieja data	44	5

6.5.2.3.8. Vocación de uso de los suelos (VS)

Esta variable se incluye en asociación al factor vulnerabilidad de las coberturas, utilizado en la propuesta del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006), dado que la vocación de los suelos se establece de acuerdo a sus características biofísicas y su correspondiente capacidad para soportar el desarrollo de tipos particulares de actividades. Así, aunque no ha sido tenida en cuenta hasta el momento en los trabajos consultados⁸, se incluye en esta propuesta considerando dos aspectos: a) que una de las causas de la transformación de las coberturas naturales más influyentes en la Amazonía colombiana, es el desarrollo de actividades productivas no acordes con las capacidades de los suelos de la zona. Este tipo de dinámicas, resulta en el paulatino agotamiento de los suelos e implica la necesidad de trasladarlos regularmente a sectores no explotados, correspondientes a áreas bajo coberturas naturales; y b) que, con el fin de establecer corredores de conectividad, la vocación del uso de los suelos debe ser en el futuro un determinante para el tipo de actividades productivas a desarrollar en sus zonas de influencia. Así, la inclusión de la vocación de los suelos, permite que la espacialización y modelación de corredores incluya los suelos más frágiles (considerados como objetos de conservación) y evite aquellos con mayor aptitud para las actividades productivas.

Para la generación de la matriz de resistencia correspondiente, se establecen valores de resistencia para cada una de las diferentes categorías establecidas en la cartografía de referencia, los cuales se asocian al grado de conservación (coberturas naturales) o transformación (seminaturales y transformadas). La cantidad de categorías a valorar, variará de acuerdo al ámbito de análisis, cada uno asociado a una cartografía particular. Se propone utilizar como insumo capas correspondientes a los determinantes ambientales (1:25.000), en cuya delimitación se consideran la variación de las características generales de los suelos y de su importancia ecológica.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación área de estudio
 - Capas determinantes ambientales

- **Procedimientos:**

- Corte de la capa a la zona de estudio.
- Categorización y valoración de la resistencia de acuerdo determinantes ambientales.

6.5.2.3.9. Pendiente (P)

Esta variable es utilizada con regularidad en análisis de conectividad ecológica (Zeller et. al, 2012) y hace parte de aquellas consideradas dentro del factor de vulnerabilidad de las coberturas, utilizado en la propuesta del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006), dado que la pendiente del terreno se asocia con su fragilidad en términos de estabilidad y así con el mantenimiento de coberturas naturales y con la conectividad ecológica. Además, terrenos escarpados, se convierten en una barrera física que impide el flujo de organismos.

La pendiente del terreno, calculada en términos de porcentaje, se estima a partir del procesamiento información topográfica, posible de obtener del Modelos Digitales de Elevación con resolución acorde con las escalas de trabajo (12.5 m, imágenes ALOS, PALSAR). Los valores de la matriz de pendiente (matriz de resistencia), son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: pendiente baja, pendiente media y pendiente pronunciada, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.21). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos.

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación del área de estudio
- Modelo de Elevación.

- **Procedimientos:**

- Corte DEM a la zona de estudio
- Cálculo de los valores de porcentaje de pendiente
- Categorización de los valores de pendiente.

Tabla 6.21. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo a la pendiente del terreno.

PENDIENTE	RESISTENCIA		
	Rango Valores	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Baja	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1
Media	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Pronunciada	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5

6.5.2.3.10. Aislamiento de hábitats remanentes (AHR)

Esta variable, al igual que la anterior es propuesta originalmente por Correa et. al., (2017) y corresponde a la primera de tres incluidas por dichos autores, asociadas a la pérdida y fragmentación del hábitat (F_{Frag}). Se incluye en los análisis de conectividad planteados, considerando la estrecha relación existente entre los procesos de conectividad y fragmentación, y con el fin de identificar áreas críticas para la conectividad de la región que no se encuentren bajo este tipo de procesos.

La variable corresponde específicamente a la distancia de áreas transformadas a parches de hábitat remanente. Al ser una variable relacionada con la distribución de hábitats, debe ser construida a partir del procesamiento

de la capa de hábitat generada para cada uno de los grupos de especies considerados. Los valores de la matriz de resistencia resultante, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.22). Para dicha clasificación se hace uso del método de intervalos geométricos.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Capa de hábitat remanente / No hábitat, por grupo de especies considerado.
- **Procedimientos:**
 - Cálculo de distancia de áreas transformadas a parches de hábitat remanente.
 - Categorización de los valores de resistencia (Tabla 6.23).

Tabla 6.22. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia entre parches de hábitat / no hábitat

DISTANCIA	RESISTENCIA		
	Rango Valores	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Baja	Polígonos de hábitat remanente	Baja	1
Media	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Pronunciada	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5

6.5.2.3.11. Porcentaje de hábitat transformado (PHT)

Esta variable, al igual que la anterior es propuesta originalmente por Correa et. al., (2017) y corresponde a la segunda de las tres variables incluidas, asociadas a la pérdida y fragmentación del hábitat (F_{Frag}). Se incluye en los análisis de conectividad planteados, considerando la estrecha relación existente entre los procesos de conectividad y fragmentación, y con el propósito de identificar áreas críticas para la conectividad de la región que no se encuentren bajo este tipo de procesos.

La variable corresponde específicamente al porcentaje de hábitat transformado por unidad de área (concordante con la escala de análisis actual, 1:25.000). Al ser una variable relacionada con la distribución de hábitats, debe ser construida a partir del procesamiento de la capa de hábitat generada para cada grupo de especies considerado. A partir del cálculo del porcentaje se obtiene un mapa continuo con valores de 1 a 100, en donde los valores más altos indican una mayor resistencia y los más bajos una menor. Este mapa es clasificado en tres categorías de resistencia: Bajo (0-33), Medio (34-66) y alto (67-100).

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Capa de hábitat remanente / No hábitat, grupo de especies considerado.
- **Procedimientos:**
 - Cálculo del porcentaje de hábitat transformado por unidad de área.

6.5.2.3.12. Índice de extensión de la transformación (IET)

Esta variable, al igual que la anterior es propuesta originalmente por Correa et. al., (2017) y corresponde a la tercera de las tres variables incluidas por dichos autores, asociadas a la pérdida y fragmentación del hábitat (F_{Frag}). Se incluye en los análisis de conectividad planteados, considerando la estrecha relación existente entre

los procesos de conectividad y fragmentación, y con la finalidad de identificar áreas críticas para la conectividad de la región que no se encuentren bajo este tipo de procesos. La variable corresponde específicamente a la distancia media entre cada pixel y el centroide de cada parche de hábitats transformados (No hábitat).

Este índice corresponde al “Índice de radio de Giro” (McGarigal et al., 2002) y se asocia a la distancia media que un organismo debe moverse dentro de un parche transformado para salir del mismo. Al ser una variable relacionada con la distribución de hábitats, debe ser construida a partir del procesamiento de la capa de hábitat generada para cada uno grupos de especies considerados.

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre el valor del índice (distancia media de desplazamiento) y la resistencia al flujo de organismos. Los valores de la matriz de resistencia resultante, serán reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.23). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Capa de hábitat remanente / No hábitat, grupo de especies considerado.
- **Procedimientos:**
 - Cálculo de la distancia media entre cada pixel y el centroide de cada parche de hábitats transformados (No hábitat).

Tabla 6.23. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo al índice de extensión de la transformación.

VALOR	RESISTENCIA		
	Rango Valores	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Baja	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1
Media	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Pronunciada	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5

6.5.2.3.13. Otras variables

Dependiendo de las dinámicas ecológicas y socioeconómicas que a través del tiempo tiene el territorio, se debe considerar la necesidad de evaluar la inclusión de variables adicionales a las hasta aquí descritas, de manera que se pueda describir acertadamente la realidad del área de estudio a la que se haga referencia. En ese sentido, la selección de dichas variables debe buscar el complemento de los diferentes aspectos considerados para la cuantificación del efecto de las actividades humana sobre la conectividad, en la propuesta del IEHH (Correa et al., 2017). La selección de dichas variables deberá fundamentarse en caracterizaciones que se hagan de los paisajes bajo análisis, como las desarrolladas en el contexto del análisis de motores de fragmentación.

6.5.2.4. Modelación de la matriz general de resistencia.

Siguiendo procedimientos generales utilizados con anterioridad (Correa et al., 2017; Etter et al., 2006), para la generación de la Matriz General de Resistencia por Especie (MGR_i), en primera instancia se deben sumar los valores de cada una de las matrices individuales de resistencia generadas, para cada uno de los factores asociados al IEHH (Tabla 6.14).

- $F_{int} = CT + DD + DV + DP + DNR_i + IF$

- $F_{time} = DT$
- $F_{vul} = VS + P$
- $F_{frag} = AHR + PHT + IET$

Posteriormente, se genera la matriz IEHH por especie, con valores entre 0 -100 de acuerdo a:

$$MGR_i = \frac{(F_{int} + F_{time} + F_{vul} + F_{frag}) \times 100}{(F_{intmax} + F_{timemax} + F_{vulmax} + F_{fragmax})}$$

Finalmente, para evaluar las diferencias que la actividad humana tiene sobre la conectividad ecológica general del paisaje, se genera una Matriz Final de Resistencia (MFR) (multiespecie), sumando los valores de resistencia calculadas por especie. Los valores de la capa resultante son reescalados nuevamente entre 0 y 100 (Correa et. al., 2017).

6.5.2.5. Descripción de patrones generales de conectividad

La descripción de los patrones generales de conectividad se realiza mediante la evaluación de la MFR generada. Con este insumo es posible describir la variación geográfica del grado de resistencia / conectividad y su representación mediante la definición de sectores relativamente homogéneos y en el contexto de la división político-administrativa y por cuencas. De esta manera, será posible identificar sectores generales con un alto o bajo grado de conectividad.

6.5.2.6. Sectores determinantes a ser conectados

6.5.2.6.1. Parches funcionales

Para este ámbito la perspectiva de análisis considera la identificación de parches funcionales para cada grupo de especies considerados y el análisis estructural de los paisajes. Para ello, se parte de la modelación de hábitats realizada con MaxEnt. De no contar con un número suficiente de registros por cada una de las especies identificadas, como para realizar el modelamiento de sus hábitats, se deben revisar estudios realizados en ecosistemas similares a los del área de estudio. Utilizando estos estudios se identifican rangos de hogar de machos y hembras y las coberturas que son identificadas como hábitat, y se seleccionan todos aquellos parches que están dentro de alguna cobertura reportada como hábitat.

Para la identificación final de los parches funcionales se utiliza como insumo cartográfico principal los mapas de coberturas de la tierra (1:25.000). Considerando el sistema de clasificación de coberturas de la tierra CLC, estas pueden ser clasificadas por el nivel 2, de tal manera que se le asignen valores de 1 a las coberturas utilizadas como hábitat de la especie y 0 a las que no lo son. Este resultado asociado a una categoría de cobertura permite calcular índices de estructura que están asociados a la presencia de la especie respondiendo a la definición de conectividad de hábitat (Correa et al. 2015).

6.5.2.6.2. Análisis estructural del paisaje

Una vez identificados los parches funcionales, se realiza un análisis de configuración espacial para toda el área de estudio, de tal manera que se estiman distintos patrones o indicadores para cada uno de los parches funcionales identificados. Dichos indicadores son métricas utilizadas para cuantificar espacialmente la estructura de un paisaje, y relacionarla con las distintas formas de intervención antrópica; pueden ser estas las

formas de gestión, el uso de la tierra, las políticas implementadas, la historia de uso, etc. De esta manera, las métricas de paisaje pueden tomarse como criterios que orienten las diferentes formas de gestión en el territorio, el uso y manejo del suelo, políticas para el ordenamiento territorial, entre otros. Los indicadores a utilizar son:

- **Área:** Este indicador calcula la extensión de cada unidad natural dentro de un área, el cual analiza la complejidad de los arreglos espaciales en términos de su riqueza y dominancia. Este grupo de indicadores representa un conjunto disperso de las métricas que tienen que ver con el número, tamaño de los parches y la cantidad de borde creado por estos parches.
- **Perímetro:** Es igual al perímetro (m) del parche, incluyendo los agujeros internos del mismo, es otra medida fundamental de la información disponible de un paisaje y es la base de muchas clases y métricas del paisaje. Específicamente, el perímetro de un parche es tratado como un borde por su intensidad y distribución, características que hacen de este un aspecto importante del patrón del paisaje. Además, la relación entre el perímetro del parche y la superficie del parche es la base para la mayoría de los índices de la forma.
- **Índice de forma:** Corrige el problema del índice de la relación perímetro-área, mediante el ajuste de un cuadrado estándar, como resultado, es el más simple y quizá la medida más directa de la complejidad de forma. Forma = 1 cuando el parche es máximamente compacto (es decir, cuadrado o casi cuadrado) y aumenta si el límite que forma el parche se vuelve más irregular.
- **Área Núcleo Efectiva:** Se refiere al área de cobertura natural que se encuentra fuera de una distancia mínima de influencia a partir del borde; analiza la forma como se disponen en un área las unidades espaciales de análisis y por ende de forma básica a conocer sobre el efecto que tienen los procesos naturales o antrópicos que las afectan. El área núcleo se define como el área dentro de un parche más allá de cierta profundidad o influencia de borde (es decir, la distancia al borde). El efecto de borde es el resultado de la combinación de factores bióticos y abióticos que alteran las condiciones ambientales a lo largo de los bordes de los parches en comparación con los interiores de estos. Así, mientras que un parche puede ser lo suficientemente grande como para soportar una determinada especie, puede que para otra no contenga el área suficiente.
- **Conectividad entre Fragmentos:** Es un indicador que mide la distancia entre los parches o fragmentos de cada unidad natural que se encuentra dentro del área de estudio; responde al atributo ecológico de conectividad, el cual analiza las conexiones físicas existentes entre unidades espaciales similares o complementarias. El indicador permite conocer acerca de la cercanía o vecindad en que se disponen físicamente, los fragmentos que forman parte de la cobertura de una unidad espacial asociada al nivel de paisajes o ecosistemas. Su análisis permite saber acerca de los disturbios estructurales que limitan o favorecen los flujos ecológicos que normalmente ocurren.
- **Índice de proximidad:** Es igual a la suma de la superficie del parche (m^2) dividido por la distancia de borde a borde más cercano cuadrado (m^2) entre el parche bajo análisis y el parche central de todos los parches cuyos bordes están dentro de una distancia especificada (m). El índice fue desarrollado por Gustafson y Parker (1992) considera el tamaño y la proximidad de todos los parches cuyos bordes están dentro de un radio de búsqueda especificados del parche central. El índice es adimensional (es decir, no tiene unidades) y por lo tanto el valor absoluto del índice tiene poco valor interpretativo, sino que se utiliza como un índice comparativo.



El ambiente es de todos

Minambiente



De dichos patrones, se genera un índice compuesto de configuración estructural del paisaje (estado de conservación), que muestra los fragmentos o parches que tiene un mejor o peor estado de conservación. Este atributo lo contiene cada fragmento, de tal modo que se genera un archivo con las características estructurales del paisaje, para ser utilizado como uno de los insumos principales para identificar las áreas importantes para la conectividad. De esta manera, la evaluación de conectividad ecológica incorpora dentro de sus análisis, características estructurales del paisaje como reflejo de las distintas formas de intervención antrópica en la región.

6.5.2.6.3. Análisis funcional del paisaje

En este paso metodológico se incluye más fuertemente las características biológicas y ecológicas de la especie para definir las zonas importantes para la conectividad y los conectores ecológicos que pueden existir dentro del paisaje. En este sentido, con el uso de CONEFOR®, es posible cuantificar la contribución de cada parche de hábitat al mantenimiento o posible mejora de la conectividad ecológica para una especie (Saura y Torné 2009). En este caso específico el software se utiliza para la identificación de dicho tipo de parches de hábitat dentro del set de parches funcionales previamente identificados.

El CONEFOR, además de utilizar como insumo el archivo de estado de conservación o configuración espacial, requiere que se especifiquen las distancias euclidianas entre fragmentos y la distancia de dispersión media de las especies consideradas. El primer archivo es generado también a través del CONEFOR y la segunda información es incorporada manualmente por el usuario. Para este último caso en particular, se utilizarán distancias medias de dispersión para especies de dispersión corta, media y larga, las cuales se escogerán con base en distintos reportes bibliográficos de diferentes autores. Como medida de prevención, se puede escoger el rango de hogar más pequeño, buscando identificar áreas importantes para la conectividad dentro de los pequeños fragmentos de hábitat y coberturas naturales que aún queden en las zonas más fragmentadas.

Como resultado del proceso que realiza el CONEFOR, se obtiene un archivo que le da la importancia de conectividad a cada uno de los parches de la base natural, utilizados como nodos para la modelación de los corredores de conectividad en pasos subsiguientes. Dicha importancia se proporciona en diferentes fracciones de análisis de conectividad ecológica. Uno de los índices más relevantes es el dPC Conector, el cual mide la contribución de cada parche a la conectividad entre el resto, como un elemento conector o parche puente; su valor depende de posibles caminos alternativos.

Los valores más altos del índice dPC conector son seleccionados y resaltados como los más importantes para la conectividad, no obstante, todos los parches en principio son funcionalmente viables para generar paisajes conectados y menos fragmentados. Los parches más importantes para la conectividad, además de ser necesarios conectores dentro del paisaje, son espacios que por sus características funcionales y estructurales proporcionan buenos hábitats para las especies. También el CONEFOR arroja otros índices de conectividad que se pueden tener en cuenta para el análisis. Los índices o métricas de conectividad estimados para cada parche y para las especies agrupadas según su distancia de dispersión son los siguientes (Saura & Rubio, 2010):

Fracción dPCintra: Hábitat disponible proporcionado por la tesela a través del área que contiene

Fracción dPCflux: Flujo a través de las conexiones de la tesela con el resto, cuando ella es el punto de origen o destino de dicho flujo.

Fracción dPCconector: Contribución de la tesela a la conectividad entre el resto, como un elemento conector o puente. Sólo si la tesela está en camino óptimo. Su valor depende de posibles caminos alternativos.



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co



- **Insumos de información cartográfica**
 - Polígono delimitación área de estudio
 - Descripción de características funcionales de la especie
 - Registros de especie
 - Mapa de coberturas de la tierra
 - Capas ambientales
- **Procedimientos generales**
 - Modelación de nicho ecológico (MaxEnt)
 - Clasificación de coberturas de la tierra de acuerdo al hábitat de la especie.
 - Cálculo de indicadores de paisaje (ArcGis - Fragstast)
 - Cálculo de distancias euclidianas entre fragmentos (ArcGis-Conefor)
 - Estimación de áreas (parches) importantes para la conectividad (Conefor)

6.5.2.7. Sectores importantes para la conectividad

6.5.2.7.1. Corredores de conectividad

La identificación de sectores importantes para la conectividad (Corredores), se realiza mediante una modelación utilizando en primera instancia el software “CircuitScape”, que de manera análoga a la teoría de grafos probabilísticos (con nodos conectados por medio de enlaces de mayor o menor resistencia), considera los paisajes como una superficie de conductividad eléctrica. En tal sentido, toma los componentes a conectar (parches funcionales) como fuentes de corriente y representa el movimiento de los individuos como el flujo eléctrico a través de la superficie de conductividad (Matriz Final de Resistencia – IEHH -) (McRae et al., 2013). El programa toma en cuenta todas las posibles rutas que pueden ser recorridas en la matriz resistencia y evalúa las contribuciones de cada una de ellas en la zona de análisis. En tal sentido, el resultado final es la valoración de carga (eléctrica) o la probabilidad de tránsito (en el contexto de corredores de conectividad ecológica) que podría llegar a tener cada pixel en el paisaje. Es así como un espacio con un alto valor es indicador de concentración de carga y por tanto, un punto frágil del sistema de conectividad. Por el contrario, los valores bajos indican una mayor permeabilidad y distribución de la energía en una zona más amplia y de manera más homogénea (FCDS, 2018).

La evaluación visual de la matriz de conductividad permite generar una propuesta preliminar de corredores en el área de estudio, incluyendo aquellos que conectan las diferentes áreas núcleo o parches funcionales delimitados. Sin embargo, con la intención de lograr una delimitación con un respaldo cuantitativo, la matriz final de resistencia también es procesada con el software LinkageMapper que identifica entre las áreas núcleo / parches funcionales a) corredores lineales específicos de menor resistencia al flujo de organismos, pero con diferentes grados de probabilidad de flujo dependiendo de su localización, y b) aquellos caminos de menor costo dentro de cada corredor, en términos de resistencia.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Matriz general de resistencia

- Capa de áreas fuente / parches funcionales
- **Procedimientos generales:**
 - Modelación de superficies de resistencia entre áreas fuente (CircuitScape).
 - Delimitación visual de corredores
 - Modelación de corredores de conectividad entre áreas fuente (LinkageMapper).

6.5.2.7.2. Franjas de conectividad

Aunque los corredores modelados, corresponden a los espacios con menor resistencia al flujo de organismos entre los diferentes parches funcionales definidos, el focalizar las iniciativas de manejo del territorio, para el mejoramiento del estado de su estado conservación y el mantenimiento o recuperación de las extensiones de coberturas naturales, debe considerarse una perspectiva restringida o por lo menos poco precavida. La reducida área ocupada por estos corredores tiene implicaciones en términos de su integridad y vulnerabilidad frente a las dinámicas de transformación que se puedan desarrollar en su vecindad. Por lo anterior y considerando que la perspectiva de análisis considera patrones y procesos desarrollados sobre sectores y no sólo sobre trazados lineales, se hace necesario considerar franjas del territorio que incluyan los corredores modelados. Sobre estas franjas es posible desarrollar estrategias generales que propendan por el mejoramiento de la conectividad, por parte de actores institucionales de carácter regional (corporaciones de desarrollo sostenible), departamental (gobernaciones) o Municipal (alcaldías).

En tal sentido, teniendo como referentes: a) la localización de los corredores modelados, b) la distribución subcuencas y c) los valores de la matriz de resistencia generada, se propone delimitar franjas dentro de las zonas de estudio, que pueden ser importantes para el mantenimiento de la conectividad en la zona de estudio, conectando pares de parches funcionales específicos.

El uso de la figura de las cuencas, se fundamenta en dos aspectos principales, relacionados con criterios ecológicos y de manejo. En el primer caso, la delimitación natural de las de estos elementos del paisaje corresponde a espacios en los que se desarrollan flujos particulares de materia y energía, comportándose como límites naturales de sistemas ecológicos. Segundo, y relacionado el anterior criterio, se tiene que estas figuras son espacios geográficos sobre los cuales se han desarrollado herramientas específicas de manejo (ej. POMCA), que pueden ser aprovechadas para asegurar el mantenimiento / mejoramiento de su estado de conservación y así de su función como espacios de conectividad entre parches funcionales particulares.

Específicamente, para la delimitación de las franjas importantes para la conectividad, se consideran aquellas cuencas que permitan la conexión directa entre pares parches funcionales. Adicionalmente, dado que en algunos casos las cuencas identificadas pueden abarcar territorios extensos que no necesariamente correspondían a zonas entre áreas núcleo, las franjas deben ser delimitadas de tal forma que incluyan los corredores de conectividad modelados y además que tengan representación de un número reducido (3) de rangos de valores de conductividad eléctrica en la matriz generada.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Matriz general de resistencia
 - Capa de parches funcionales
 - Cartografía subcuencas

- **Procedimientos generales:**

- Modelación de superficies de resistencia entre parches funcionales (CircuitScape).
- Delimitación de sectores específicos a partir de:
 - Subcuencas
 - Valores de resistencia

6.5.2.8. Priorización de sectores importantes para la conectividad

Las franjas importantes para la conectividad entre parches funcionales podrán ser priorizados, teniendo en cuenta dos tipos de criterios: a) técnicos, y b) Institucionales.

En el primer caso, de manera complementaria a la delimitación de los rangos de valores de conductividad asociados a las franjas de conectividad, es necesario considerar el tipo de dinámicas socioeconómicas que en ellas se desarrollan. Lo anterior, dado que ellas determinan el tipo de estrategias a implementar en cada caso, las cuales presentan diferencias en términos de viabilidad de implementación en terreno. Este tipo de afectación por actividades de origen antrópico es posible de cuantificar mediante la evaluación de la presencia de motores de fragmentación²⁷ en las diferentes franjas identificadas, dependiendo del ámbito de análisis. En este sentido, los mapas de distribución probable de los motores de fragmentación son cruzados con las franjas de conectividad. La estimación del área afectada por cada uno de los niveles de intensidad (1-5) por motor hace posible identificar cual (es) de ellos presentan un mayor impacto sobre cada franja.

Sumado a la evaluación de la afectación por motores de fragmentación, es necesario considerar criterios de carácter institucional, que se relacionan con objetivos misionales, disponibilidad y compromisos presupuestales, antecedentes (procesos previos de gestión territorial desarrollados en las diferentes zonas), disponibilidad de las comunidades locales para el desarrollo procesos en pro del mantenimiento o recuperación de la conectividad ecológica (conversión de las actividades económicas, ordenamiento del uso del territorio).

6.5.2.9. Caracterización de corredores y franjas

6.5.2.9.1. Caracterización general y estructural

Tanto corredores como franjas de conectividad serán delimitados a partir de las subcuencas, referenciados al nivel de mayor ajuste de la grilla del Marco Geoestadístico Nacional y caracterizados en términos político-administrativos y por sus valores promedio de resistencia, su variación, el tipo de coberturas que incluyen y su proporción.

Además, se realizará también un análisis estructural. Para ello se utilizarán como insumo principal la capa de coberturas de la tierra correspondiente a cada ámbito. La descripción estructural del paisaje permite tipificar los corredores de conectividad en relación a los patrones del paisaje. En este sentido, se propone elaborar los análisis estructurales del paisaje utilizando atributos ecológicos e indicadores asociados (Tabla 6.24).

Tabla 6.24. Indicadores espaciales para caracterización de fragmentación

²⁷ Para el detalle sobre el planteamiento conceptual y metodológico para la identificación y espacialización de motores de fragmentación por ámbito de trabajo

	ATRIBUTOS ECOLÓGICOS	DEFINICIÓN	INDICADORES
Análisis de patrones del paisaje (estructura del paisaje)	Heterogeneidad	Complejidad de arreglos espaciales en términos de su riqueza y dominancia	Número de unidades espaciales naturales
			Extensión de unidades espaciales naturales
	Configuración espacial	Forma como se disponen en un área las unidades espaciales y por ende da forma básica a conocer sobre el efecto que tienen los procesos naturales o antrópicos que les afecta	Área (ha)
			Perímetro (metros)
			Número de parches
			Área núcleo (ha)
	Continuidad	Conexiones físicas existentes entre unidades espaciales similares o complementarias	Forma
			Distancia euclidiana (metros)
			Proximidad
			Continuidad altitudinal (metros)

- **Insumos de información cartográfica**

- Polígono delimitación de corredores / franjas
- Mapa actualizado de coberturas de la tierra
- Modelo digital de elevación / información topográfica

- **Procedimientos generales**

- Cálculo de indicadores en corredores / franjas de conectividad (ArcGis-Fragstast).

6.5.2.9.2. Caracterización socioeconómica

De manera complementaria a las caracterizaciones generales y estructurales, buscando mayor detalle en el conocimiento de los sectores analizados, se realizará también una caracterización socioeconómica. En este sentido se debe mencionar que análisis de conectividad tiene estrecha relación con el estudio de los motores de fragmentación del paisaje, pues es un insumo fundamental en su caracterización. El análisis de fragmentación y sus motores incorpora la integración de aspectos sociales y económicos del territorio como insumo para determinar dónde la conectividad está comprometida en mayor o menor grado. En tal sentido, para el análisis de conectividad se tendrán en cuenta dos procesos específicos: a) la capacidad de adaptación de las actividades económicas que generan fragmentación y b) el potencial de restauración de la conectividad.

6.5.2.9.3. Capacidad adaptación de las principales actividades económicas

Con el objetivo de generar cambios en los patrones actuales de uso de la tierra en el paisaje, en el que se encuentran los corredores / franjas de conectividades ecológicas identificadas, se tendrán en cuenta las siguientes actividades, siguiendo los planteamientos para la introducción de herramientas de manejo del paisaje rural (IAvH & CAR, 2009):

- **Procedimientos generales**

- Reconocimiento del territorio rural para el desarrollo del proceso de planeación para la conservación:
 - Caracterización de actores con miras a establecer acuerdos de conservación y cero fragmentaciones del paisaje.

- Identificación de iniciativas existentes para la conservación en el paisaje rural.
- Revisión instrumentos de planificación y ordenamiento territorial, para identificar acciones y propuestas al nivel sub-regional y los usos del suelo permitidos.
- Identificación y reconocimiento de espacios de coordinación interinstitucional.
- Divulgación y socialización del proceso
- Identificación de oportunidades de conservación en el paisaje rural
 - Presentación a los habitantes que tienen relación con el corredor / franja ecológica.
- Diseño de la estrategia de conservación en paisajes rurales.
 - Evaluación de la viabilidad socioeconómica de la estrategia de conservación definida desde los aspectos biofísicos.
 - Concertación de acciones a nivel veredal y en el paisaje subregional en el que se encuentra el corredor de conectividad subregional.
- Establecimiento de Herramientas de manejo del paisaje para la conservación de biodiversidad (IAVH & CAR, 2009):
 - Iniciar un proceso de planificación a nivel veredal.
 - Reconocimiento de las oportunidades de conservación de biodiversidad y conectividad y de los sitios degradados o en los que ha perdido la conectividad.
 - Establecer acuerdos con Asojuntas y JAC para iniciar un proceso de restablecimiento de la conectividad ecológica, a partir del reconocimiento de las oportunidades de conservación y las herramientas de manejo del paisaje que serán utilizadas.
 - Establecer las bases para suscribir acuerdos interinstitucionales.

6.5.2.9.4. Potencial de conservación y restauración de corredores de conectividad

En este ámbito de análisis, el potencial de restauración responde a las necesidades de restablecimiento y mantenimiento de la conectividad estructural y funcional, así como a las metas que se propongan a nivel temporal del proceso de restauración, en los corredores identificados mediante el análisis biofísico.

• Procedimientos generales:

- Análisis del potencial socioeconómico de los principales sistemas de producción que tienen incidencia en los corredores de conectividad sub-regional.
 - Identificación de los sistemas de producción presentes en cada corredor y de su capacidad para apropiarse de cambios en el sistema, tendientes a restablecer o mantener la conectividad del paisaje. Este análisis se hace a nivel veredal.
 - Análisis de la viabilidad económica de cada sistema para incorporar los cambios que se propongan en su sistema de producción e identificar oportunidades de trabajo con instituciones relacionadas.

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co

- Identificación de recursos potenciales tanto institucionales como gremiales que puedan ser orientados a la construcción y planeación de los corredores y al mantenimiento de la conectividad.
 - Caracterización de los espacios interinstitucionales (estatales y comunitarios) y de sus acciones en el territorio, identificando con precisión proyectos y recursos que pueden ser orientados a garantizar la conectividad o que son complementarios a ella, caso reconversión de los sistemas de producción, iniciativas de conservación, proyectos de acompañamiento técnico y transferencia de tecnología (planes municipales e iniciativas inter-veredales de acompañamiento técnico por parte de Secretarías de Agricultura y Medio Ambiente a nivel departamental y municipal,) planes de desarrollo productivo (gremios, secretarías de desarrollo agropecuario), entre otros.
 - Caracterización de espacios interinstitucionales en los que se analiza y proyecta el desarrollo de infraestructura vial y de apoyo productivo. En el caso de vías, el tema de corredores viales de conectividad regional, analizar las propuestas o proyectos en curso de mejoramiento de vías secundarias y terciarias y los planes asociados, con el fin de incidir en la destinación de recursos de compensación, hacia proyectos y actividades que propicien el restablecimiento de conectividad. Identificar si se consideran acciones orientadas al desarrollo de infraestructura vial verde.

En el caso de infraestructura productiva y de aprovechamiento o extracción de recursos naturales, identificar el tipo de infraestructura de apoyo a la producción y las cadenas productivas y su ubicación actual o proyectada, con el fin de definir acciones que se orienten a compensar pérdidas de conectividad por su construcción.
- Identificar los impactos indirectos generados por el desarrollo de infraestructura física (vial, productiva, de explotación energética y minera) que afectan la conectividad estructural y funcional del paisaje sub-regional (escala 1:25.000).
- Identificar los recursos destinados a la compensación ambiental por la construcción de infraestructura vial, desarrollo energético y otros, con el fin de incidir en su orientación a proyectos que mantengan o restablezcan la conectividad.

6.5.3. Resultados esperados

En términos generales, del análisis de conectividad planteado se obtendrán como productos finales, la identificación y caracterización general de los parches funcionales en los sectores bajo análisis, así como de corredores y franjas de conectividad entre pares de parches funcionales. Sin embargo, de acuerdo a lo planteado hasta el momento, a continuación, se especifican los resultados finales esperados de los análisis de conectividad.

- Matrices de resistencia de cada una de las variables consideradas, asociadas a los procesos de transformación de los paisajes por tipo de especie considerado
- Matriz de resistencia final (IEHH) por tipo de especies
- Identificación, caracterización general y espacialización de áreas núcleo (Parches funcionales) por tipo de especie considerado
- Identificación, caracterización (general y estructural) y espacialización de corredores y franjas conectividad para diferentes tipos de especies

- Caracterización del área de estudio en sus aspectos socioeconómicos e identificados y caracterizados los actores interesados y sus roles
- Identificación de oportunidades de conservación de los corredores de conservación con participación de las JAC y socializadas a la comunidad e instituciones interesadas
- Definición de sitios y procesos para establecer las herramientas de conservación del paisaje, en acuerdo con actores estratégicos.
- Identificación del Potencial socioeconómico de los principales sistemas de producción subregionales, orientado a la restauración de la conectividad ecológica.
- Identificación de actores y recursos institucionales y gremiales, que potencialmente pueden ser orientados a garantizar el mantenimiento y conservación de la conectividad ecológica.
- Identificación y análisis de los impactos indirectos generados por la construcción de infraestructuras viales y de apoyo a la producción, o aprovechamiento y extracción de recursos naturales.
- Caracterización del territorio rural asociado a los corredores de conectividad ecológica en sus aspectos socioeconómicos
- Identificación y caracterización de los actores interesados en la gestión de la conectividad ecológica y sus roles
- Identificación de oportunidades de conservación en los corredores de conservación con participación de las JAC y socializadas a la comunidad e instituciones interesadas
- Definición de los sitios y procesos para establecer las herramientas de conservación del paisaje, en acuerdo con actores estratégicos.

6.6. AMBITO LOCAL

6.6.1. Objetivos específicos

- Identificar y caracterizar áreas que, gracias a sus características, deberán mantenerse conectadas mediante corredores ecológicos con el fin de asegurar el flujo de organismos.
- Identificar y caracterizar aquellos sectores que son determinantes en el mantenimiento de la conectividad ecológica entre áreas fuente, permitiendo la conectividad.
- Caracterizar los patrones generales de conectividad de las áreas bajo análisis

6.6.2. Metodología

6.6.2.1. Inventario de especies y modelamiento de hábitat

Considerando la perspectiva de conectividad funcional a desarrollar, se debe realizar un inventario detallado de las especies de mamíferos terrestres presentes en cada área de estudio definida. Este inventario será la base para la modelación de hábitats, lo que a su vez será insumo para el cálculo de algunas de las matrices de resistencia individuales asociadas al IEHH (Correa et. al., 2017), y la identificación de parches funcionales.

Los inventarios, en principio, deben nutrirse a partir de la revisión de bases de datos²⁸ y bibliografía especializada (ej. Alberico et. al., 2000; Emmons & Feer, 1997), referidas a los rangos de distribución de especies y de localidades de presencia confirmada (ej. SIB²⁹, GBIF³⁰). Este inventario, deberá ser complementado / filtrado a partir de trabajo de campo desarrollado en los sectores (conjuntos de predios) objeto de análisis. Ahora, aunque la definición del diseño metodológico específico dependerá de las condiciones particulares de las zonas de trabajo (ej. extensión, tipos de coberturas), se considera que la realización de inventarios visuales mediante el recorrido de transectos, la instalación de trampas cámara en senderos de tránsito de fauna, el acondicionamiento de trampas de huellas y de caída (ej. Sherman), son opciones tradicionalmente utilizadas, con las cuales sería posible cubrir el espectro de mamíferos terrestres en cualquier sector de la Amazonía. Las entrevistas a la comunidad local también permiten el complemento de los listados de fauna obtenidos por tipo de cobertura existente.

Se propone centrar el inventarios en el grupo de los mamíferos terrestres no voladores teniendo en cuenta: a) la variabilidad ecológica del grupo, que permite utilizarlos como *proxys* de la variabilidad de organismos presentes en la región, y b) la afectación de su movilidad por transformación de las coberturas, a diferencia de organismo con capacidad de vuelo (ej. murciélagos y aves), y c) la cantidad de información ecológica generada para el grupo, que permite la modelación de hábitats para un mayor número de especies, respecto a otros taxones como los reptiles o anfibios.

Dado el detalle requerido para este ámbito de análisis, se hace necesaria la diferenciación de las especies en un reducido número de agrupaciones, de acuerdo a sus características ecológicas. Bajo esta consideración, las especies serán diferenciadas en dos grupos de acuerdo a su capacidad de desplazamiento entre parches de hábitat y los requerimientos mínimos de área hábitat considerando la propuesta de Correa et. al., (2017) (Tabla 6.25).

Tabla 6.25. Valores de referencia para determinar grupos de especies indicadoras. Fuente: Correa et. al., 2017.

GRUPO	CAPACIDAD DE DISPERSIÓN (m)	ÁREA MÍNIMA DE HÁBITAT (ha)
G1	250–1500	3–350
G2	<250	3

6.6.2.2. Modelamiento de hábitats

Del inventario realizado se deben seleccionar los registros de presencia en sectores bajo coberturas naturales. Lo anterior, considerando la dificultad de conocer si los registros obtenidos bajo coberturas transformadas actuales fueron obtenidos en momentos en los que la cobertura no había sido transformada. Bajo tales circunstancias la utilización de registros sobre coberturas transformadas actuales, podría resultar en modelaciones de hábitats falsos. La selección final de especies para las cuales se hace la modelación de hábitat corresponde a aquellas con más de diez registros de presencia tras la aplicación de los filtros mencionados (Pearson et al., 2007).

Los registros de presencia son utilizados directamente para la modelación del hábitat por especie o grupos de especies utilizando el software MaxEnt (Phillips et al., 2006). Este formaliza el principio de que la distribución estimada debe estar de acuerdo con todo lo que es conocido o inferido de las condiciones ambientales donde

28 <http://biomodelos.humboldt.org.co>

29 SIB: Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia, IAvH (www.humboldt.org.co/es/servicios/sib-colombia).

30 Global Biodiversity Information Facility (www.gbif.org/).

los individuos de la especie han sido observados. El enfoque del software es entonces encontrar la distribución de probabilidad de máxima entropía, es decir la distribución más cercana a la uniforme, sujeta a las restricciones impuestas por la información disponible sobre la distribución observada de las especies y las condiciones ambientales en el área de estudio (Pearson 2007, Phillips, et al. 2006). MaxEnt ha mostrado grandes ventajas al no requerir datos de ausencia real (Segurado & Araujo 2004). El método se puede utilizar para variables y categóricas y el resultado es una predicción continua (probabilidad de 0 a 100 que indica la idoneidad relativa). En este caso específico las variables consideradas corresponden a variables climáticas³¹, la pendiente y las coberturas de la tierra (Correa et. al. 2017). Para la eventual producción del mapa de coberturas de la tierra para ámbitos detallados, particularmente el local, se deberán utilizar como insumos de información, sensores remotos de alta resolución espacial, que permitan elaborar una interpretación visual a las escalas correspondientes (1:10.000). Para el caso de las variables climáticas y topográficas, se propone que estas también correspondan a información primaria, modeladas con datos locales y subregionales.

Los mapas de distribución resultantes son clasificados utilizando el umbral definido por el décimo percentil del umbral logístico de la presencia de entrenamiento, para definir las áreas de hábitat óptimo (Pearson et al., 2007 en: Correa et. al., 2017). Píxeles con valores superiores a dicho valor corresponden a hábitats óptimos, y los que se encuentren por debajo se consideran como zonas de “No hábitat” o “Hábitats Transformados”. Posteriormente, las áreas de hábitat son cruzadas con las coberturas naturales, con el fin de establecer la distribución de hábitats remanentes, los cuales se utilizan en los análisis de conectividad (ver más adelante).

• **Insumos de información:**

- Localidades con presencia de especies de mamíferos terrestres.
- Capa de coberturas de la tierra.
- Capas variables ambientales (clima, topografía).

• **Procedimientos generales:**

- Filtrado de localidades de presencia de especies a áreas bajo coberturas naturales.
- Filtrado de especies (más de 10 registros).
- Modelación de hábitat por especie (MaxEnt).
- Identificación de coberturas naturales asociadas a áreas de hábitats por especie

6.6.2.3. Análisis matriciales

Los análisis que a continuación, tienen por objetivo la generación de una matriz de resistencia correspondiente al Índice Espacial de Huella Humana (IEHH) (Correa et. al., 2017; Etter, et. al., 2006). Lo anterior, a partir de la generación y combinación de matrices de resistencia individuales que describen el impacto de las actividades humanas sobre la conectividad de los paisajes amazónicos. Para ellos se identifican variables asociadas específicamente con: a) La intensidad del uso de la tierra, b) El tiempo/dinámica de intervención de las coberturas y c) su vulnerabilidad biofísica, así como d) procesos de pérdida y transformación del hábitat (Correa et al., 2017). En el caso de las variables asociadas a transformaciones de hábitats, se generarán para cada

31 Bioclim: www.worldclim.org/bioclim

especie identificada, y trabajadas en conjunto con las matrices relacionadas con los motores de transformación de coberturas (Correa et. al., 2017).

Para la identificación de las variables se recurre a la revisión de publicaciones enfocadas en análisis de la conectividad (ej. Zeller et. al., 2012), además de documentos técnicos en la evaluación de la conectividad y la identificación actividades de alto impacto desarrolladas en la Amazonía colombiana. Ahora, aunque dichas actividades han sido analizadas en el contexto particular de la transformación de coberturas boscosas, dada su carácter genérico y amplia distribución, se considera deben tener también efectos sobre otro tipo de coberturas, siendo posibles relacionarlas con procesos de fragmentación aquí considerado.

Para el ejercicio planteado se usa una base de 12 variables espaciales agrupados en los 4 criterios asociados al IEHH (Tabla 6.26), las cuales varían en la medida que se incremente el detalle de los análisis (subregional, local). Adicionalmente, el conjunto de variables a usar en cada uno de los ámbitos considerados podrá variar dependiendo del tipo de actividades que en el futuro se desarrollen en la región, es decir su dinámica biofísica y socioeconómica, y de acuerdo a la disponibilidad de información que permita su descripción y caracterización bajo el concepto del IEHH. Otro aspecto a considerar es el incremento en el nivel de detalle de las propiedades (atributos) de cada variable, a medida que se incrementa la escala de análisis.

Tabla 6.26. Variables incluidas en los análisis de conectividad para el ámbito regional.

CRITERIO	VARIABLE INDICADORA	
Uso de la tierra	Tipo de cobertura de la tierra	CT
	Distancia Drenajes	DD
	Distancia a Vías	DV
	Distancia a centros poblados	DP
	Distancia a sitios de explotación de recursos no renovables	DNR
	Índice de fragmentación	IF
Tiempo/Dinámicas de Intervención	Dinámicas de transformación de las coberturas	DT
Vulnerabilidad	Vocación de los suelos	VS
	Pendiente	P
Pérdida /Fragmentación Hábitats	Aislamiento del hábitat remanente	AHR
	Porcentaje de hábitat transformado	PHT
	Índice de extensión de la transformación de hábitats	IET

Con la selección inicial de las 12 variables, se intenta reducir al máximo el número de entradas para el cálculo del IEHH, y la inclusión de aquellas correspondientes a indicadores directos y no a índices compuestos, disponibles y actualizados en la medida de lo posible. Lo anterior, con el objetivo de minimizar el ruido producido en el modelaje, a causa de la redundancia entre variables y poder asociar variables individuales a los procesos de pérdida o mantenimiento de la conectividad, lo que es de vital importancia a la hora de diseñar estrategias de gestión de los paisajes que busquen el mejoramiento de la conectividad. Adicionalmente, a partir de la distribución de hábitats para las especies de mamíferos terrestres, se construyen tres matrices de resistencia asociadas a la pérdida y fragmentación de hábitat tal y como lo proponen Correa et al. (2017) (Tabla 6.26).

Cada una de las matrices de resistencia asociada a las diferentes variables, se produce mediante el procesamiento de información cartográfica específica. En el caso de las variables asociadas al uso de la tierra, dicho procesamiento implica, la valoración de categorías o de la variación espacial del aporte de cada variable a la conectividad en términos de su resistencia a los flujos ecológicos (Zeller et al., 2012), lo que se asocia con el grado de transformación de las coberturas respecto a su condición original. En el caso específico de las variables asociadas a la pérdida y fragmentación del paisaje, se siguen los procedimientos generales utilizados

por Correa et. al., (2017). En tal sentido se produce un número de mapas del índice espacial de huella humana (matrices de resistencia), igual al número de especies para las que se modeló el hábitat. Tales mapas se condensarán en una sola matriz, sumando los valores de resistencia de todas las especies, los cuales se reescalarán a valores de 0-100.

La matriz correspondiente al IEHH es útil para describir los patrones espaciales generales de conectividad ecológica en cada ámbito (ej. Amazonía colombiana). Adicionalmente, el análisis de dicha matriz, mediante procedimientos desarrollados en el marco de la teoría de grafos y de circuitos eléctricos (LinkageMapper® y CircuitScape®), permite identificar áreas con la menor resistencia al flujo de organismos (corredores ecológicos), útiles para conectar grandes bloques en buen estado de conservación (áreas núcleo, ver más adelante) (Figura 6.1). A continuación, se presentan una breve descripción de cada una de las variables y los procedimientos generales necesarios para la producción de las matrices de resistencia propuestas por ámbito de análisis.

6.6.2.3.1. Tipo de cobertura de la tierra (CT)

Es una variable normalmente incluida en análisis de conectividad ecológica (Zeller et. al., 2012), particularmente en la propuesta original del IEHH, asociándolo al factor de intensidad de uso de la tierra (Correa et. al., 2017; Etter et. al. 2006) y en los trabajos consultados desarrollados al interior de la Amazonía colombiana³². Su inclusión se considera fundamental dado que la evaluación de la conectividad se basa en la consideración de la transformación de las coberturas naturales presentes en el área de estudio.

Para el cálculo de la matriz correspondiente, se establecen valores de resistencia para cada una de las diferentes categorías de coberturas, los cuales se asocian al grado de conservación (coberturas naturales) o transformación (seminaturales y transformadas). Para la clasificación de las diferentes categorías de coberturas se consideran los valores propuestos previamente: Vanegas et al. (2016), Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (2017). Los insumos cartográficos a utilizar, corresponden a capas de coberturas de la tierra elaboradas bajo el sistema de clasificación CLC, correspondiente a la escala de análisis (1:10.000).

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación área de estudio
- Capa actualizada de coberturas de la tierra.

- **Procedimientos generales:**

- Delimitación (corte) de las capas al límite del área de estudio.
- Calificación de la resistencia de las diferentes coberturas presentes en la región. La calificación corresponde a valores entre 1 -100, que son categorizados en tres grupos, de acuerdo a los propuesto por el Instituto Sinchi (Vanegas et al., 2016).
 - Resistencia Alta: coberturas transformadas, con valores entre 100 y 66.
 - Resistencia Media: coberturas en transformación, con valores entre 33 y 65.
 - Resistencia Baja: coberturas naturales, con valores entre 1 y 32.

³² Para mayor detalle de estos estudios previos consultados, referirse a la sección introductoria de este documento, en particular a lo referente a antecedentes.

6.6.2.3.2. Distancia a drenajes (DD)

Es una variable considerada regularmente en los análisis de conectividad ecológica (Zeller et. al, 2012), particularmente en la propuesta original del IEHH, asociándola al factor de intensidad de uso de la tierra (Correa et. al., 2017; Etter et. al. 2006) y en trabajos consultados desarrollados al interior de la Amazonía colombiana⁸. Su inclusión se hace considerando que los cursos de agua y las coberturas naturales asociadas son las rutas de desplazamiento de organismos. Así, la resistencia se establece en relación positiva con la distancia a los drenajes.

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal directa entre la distancia (euclidiana) a los drenajes y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006). Adicionalmente, para la generación de una matriz de resistencia continua para la totalidad del área de estudio, se asignarán valores de menor resistencia a los polígonos correspondientes a la delimitación de las rondas. Los valores de la matriz de resistencia resultante, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas de drenajes (polígono de delimitación), Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.27). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos³³, el cual minimiza la suma de cuadrados de los elementos de cada clase, garantizando que cada rango de clase tenga un número similar de valores y que el cambio entre intervalos sea coherente.

Para este ámbito de análisis la información considerada se refiere a drenajes dobles, sencillos, cuerpos de agua y otros elementos espacializables a la escala de análisis correspondiente (ej. nacederos). Esta información será ponderada en términos de los valores de resistencia (distancia), de acuerdo al grado de los drenajes considerados. Es tal sentido, a los drenajes dobles se asociarán franjas de menor resistencia con mayor ancho, que las correspondientes a los drenajes sencillos y cuerpos de agua.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación área de estudio
 - Capa de rondas hídricas
- **Procedimientos:**
 - Delimitación (corte) de las capas al límite del área de estudio.
 - Calculo de los valores de resistencia
 - Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 6.27. Valores de resistencia en relación a la distancia a la red fluvial. Fuente: Vanegas et al., 2016.

CATEGORÍA DISTANCIA DRENAJES	RESISTENCIA		
	RANGO DISTANCIA	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Contiguo	Interior polígono	Baja	1

6.6.2.3.3. Distancia a Vías (DV)

33 <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/mapping/symbols-and-styles/data-classification-methods.htm>

La distancia a vías es una variable también utilizada con regularidad en el análisis de conectividad ecológica (ej. Zeller et. al., 2012), particularmente en la propuesta original del IEHH en lo que se refiere al componente de intensidad de uso de la tierra (Correa et. al. 2017; Etter et. al. 2006) y en trabajos consultados desarrollados al interior de la Amazonía colombiana⁸. Su consideración se fundamenta en que este tipo de infraestructura ha sido identificada como uno de los motores de mayor impacto en lo que se refiere transformación radical de coberturas, en las áreas de trazado y tiene consecuencias sobre las dinámicas futuras de transformación en zonas aledañas al mismo, dando acceso a localidades remotas (Laurence et al., 2009). La construcción de vías, además de traer cambios en los usos de la tierra, tiene como consecuencia el cambio en las dinámicas de uso de los recursos naturales a sus alrededores, al permitir la colonización humana (Laurence et al., 2009).

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a las vías y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006). Los valores de la matriz de resistencia resultante, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, próximas y Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.28). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos.

Para este ámbito de análisis, se deberá indagar la existencia o generar cartografía sobre los accesos terrestres a la escala correspondiente (1:10.000), la cual podrá ser ponderada de acuerdo a las características de cada trazado (ej. tamaño, condición – pavimentada vs destapada -).

• **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación del área de estudio.
- Capa de vías

• **Procedimientos:**

- Delimitación (corte) de las capas al límite del área de estudio.
- Calculo de los valores de resistencia
- Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 6.28. Valores de resistencia en relación a la distancia vías.

CATEGORÍA DISTANCIA VÍAS	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

6.6.2.3.4. Distancia a centros poblados (CP).

Esta variable también utilizada con regularidad en análisis de conectividad ecológica (Zeller et. al. 2012), particularmente en la propuesta original del IEHH en lo que se refiere al componente de intensidad de uso de la tierra (Correa et. al. 2017; Etter et. al. 2006) y en trabajos consultados desarrollados al interior de la Amazonía colombiana⁸. Su inclusión se hace teniendo en cuenta que este tipo de elementos se ha asociado a procesos de transformación del paisaje, al implicar cambios substanciales del uso del suelo. Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a los centros y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006).

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a centros poblados y la resistencia al flujo de organismos (Etter et. al. 2006). Los valores de la matriz de resistencia resultante, serán reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.29). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos.

Para este ámbito, se deberá indagar la existencia de cartografía, como la elaborada con fines catastrales) o generar cartografía a la escala correspondiente (1:10.000), a partir de la interpretación de imágenes de alta resolución y la información recolectada en campo. En este contexto y considerando las características de la cartografía a utilizar, en la que los centros poblados son representados por medio de polígonos, los rangos de valores de resistencia asociados a cada elemento estarán determinados por su tamaño.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación del área de estudio
 - Capa Centros poblados
- **Procedimientos:**
 - Delimitación (corte) de la capa al límite del área de estudio.
 - Cálculo de valores de probabilidad de resistencia.
 - Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 6.29. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia a centros poblados.

CATEGORÍA DISTANCIA CENTROS POBLADOS	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

6.6.2.3.5. Distancia a sitios de explotación de recursos no renovables (DNR)

La explotación minera y de hidrocarburos son variables que, aunque no han sido utilizadas en las evaluaciones de conectividad a nivel regional consultadas, se incluyen en la presente propuesta, como parte de los aspectos asociados a la intensidad de uso de la tierra del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006). Lo anterior, teniendo en cuenta que son uno de los factores identificados que contribuye de manera significativa a la transformación de las coberturas en la Amazonía⁸, afectando el grado de conectividad del paisaje.

En el caso de la explotación minera, considerando que los polígonos concesionados son explotados de manera diferencial a lo largo del periodo de actividad de los proyectos extractivos existiendo áreas concesionadas, pero sin aprovechamiento presente, se consideran aquellos polígonos bajo la categoría de “en explotación”, de acuerdo a la clasificación de la ANM, que son en los que se generan la mayor cantidad de actividades con impactos sobre las características del medio. En el caso de la explotación de hidrocarburos, dentro de la cartografía consultada se considerarán los elementos correspondientes a pozos en explotación.

En ambos casos (minería e hidrocarburos) los polígonos en explotación se consideran con valores máximos de resistencia, y por fuera de ellos los valores de resistencia se establecen asumiendo una relación lineal de

carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a los sitios intervenidos para la explotación y la resistencia al flujo de organismos. Los valores de la matriz de resistencia resultante para ambos tipos de actividad, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.30). Para dicha clasificación se hace uso del método de intervalos geométricos.

Se plantea el uso de la cartografía generada desde la ANH para el caso de la explotación de hidrocarburos y desde la ANM para minería, ambas a una escala 1:10.000, o producida a partir de la interpretación de imágenes de alta resolución e información colectada en campo. De haber información sobre el tamaño de los sitios de explotación, los rangos de valores de la matriz de resistencia podrán ponderarse por este atributo. Además, será posible diferenciar el tipo de recursos explotados (ej. petróleo, gas, oro, coltán, etc), generando matrices de resistencia en cada caso.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación de la zona de estudio
 - Capa explotación Hidrocarburos
 - Capa de títulos Mineros
- **Procedimientos:**
 - Unión capas explotación minera e hidrocarburos.
 - Delimitación (corte) de la capa al límite del área de estudio.
 - Cálculo de valores de probabilidad de resistencia.
 - Reclasificación de los valores de resistencia por rangos.

Tabla 6.30. Clasificación de la resistencia en relación a la distancia a explotación de recursos no renovables.

DISTANCIA EXPLOTACIÓN	RESISTENCIA		
	DISTANCIA AL BORDE	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Contiguo	Polígono	Alta	5
Próximo	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Lejano	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1

6.6.2.3.6. Índice general de fragmentación de las coberturas (IF)

Esta variable se incluye en los análisis de conectividad planteados dada su consideración dentro de la propuesta del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006). Esto, considerando la estrecha relación entre los procesos de conectividad y fragmentación, y con el fin de identificar áreas críticas para la conectividad de la región que no se encuentren bajo este último tipo de procesos. El índice de fragmentación se calcula utilizando el software GUIDOS (Vogt & Riitters, 2017; Soille & Vogt, 2008), específicamente utilizando el índice de fragmentación fundamentado en el concepto de entropía, entendiendo esta como un grado de desorden (heterogeneidad) en la distribución de píxeles (ej. vegetación transformada), que se asocia al grado de fragmentación (Vogt 2015). En tal sentido, a mayor grado de entropía mayor grado de fragmentación de un área, lo que espacialmente se asemejaría a un tablero de ajedrez (Vogt 2015).

A partir del cálculo del índice se obtiene un mapa continuo con valores de 1 a 100, en donde los valores más altos indican una mayor fragmentación y los más bajos una menor fragmentación. Este mapa es clasificado en tres categorías de resistencia: Bajo (0-33), Medio (34-66) y alto (67-100).

- **Insumos de información cartográfica:**

- Polígono delimitación del área de estudio
- Capa de Coberturas de la tierra

- **Procedimientos:**

- Corte de la capa de coberturas a la zona de estudio.
- Clasificación de la capa de coberturas, diferenciando las naturales vs transformadas, de acuerdo a la clasificación establecida previamente.
- Cálculo del índice de fragmentación.
- Reclasificación de los valores de fragmentación por rangos.

6.6.2.3.7. Dinámicas de transformación de las coberturas naturales (DT)

Esta variable se incluye, en asociación al factor de tiempo de intervención de las coberturas, utilizado en la propuesta del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006). La inclusión de esta variable radica en la intención de incrementar la probabilidad de identificar corredores ecológicos, sobre tierras cuya dinámica de transformación sea baja, favoreciendo la permanencia de condiciones naturales y así de la conectividad. En tal sentido, se propone el análisis multitemporal de la transformación de las coberturas naturales, de manera similar a como hizo la FCDS (2014), evaluando específicamente las dinámicas de la deforestación.

Es necesario contar con series temporales de coberturas de la tierra para tres diferentes periodos. Para cada pixel se considera la transformación de coberturas pasada, a partir del contraste de capas de coberturas de la tierra (ej. 2007, 2012, 2016). En la determinación de la transformación se consideran dos categorías principales: coberturas naturales y coberturas transformadas (Seminaturales + Transformadas). Para cada pixel se establece el cambio ocurrido en cada período y en el conjunto completo de períodos. Pixeles que no muestren cambios para el conjunto de períodos se califica como “*sin cambio*”. Por otra parte, se toma en cuenta lo ocurrido en el último periodo disponible (ej. 2012-2016), considerándolo como una aproximación al concepto de “*amenaza*” (Tabla 6.31).

Tabla 6.31. Calificación de la amenaza sobre coberturas naturales (2012-2016).

TRANSFORMACIÓN	VALOR CATEGORÍA
No cambio (Natural)	1
Cambio (Transformado - Natural)	2
Cambio (Natural – Transformado)	3
No cambio (Transformado)	4

Por otra parte, como aproximación al concepto de “**presión**” sobre las coberturas, se considera el cambio en los bloques que además de presentar transformación en el último periodo de monitoreo (ej. 2012-2016), presentaron también cambio en el periodo anterior (ej. 2007-2012). Es decir, se trata de píxeles en los cuales la transformación actual de las coberturas es activa y viene con “**presión**” de tiempo atrás. La calificación de la “presión” se incluye en la Tabla 6.32.

Tabla 6.32. Calificación de la presión sobre coberturas naturales (2007-2012)

TRANSFORMACIÓN	VALOR CATEGORÍA
No cambio (Natural)	10
Cambio (Transformado - Natural)	20
Cambio (Natural – Transformado)	30
No cambio (Transformado)	40

Con los resultados obtenidos en la calificación de **amenazas** y **presiones**, y considerando los píxeles “**sin cambio**”, mediante la suma de los valores por píxel se construye la capa de “**Dinámicas de transformación actual**”, la cual es utilizada como insumo (matriz de resistencia) en los análisis de conectividad. Los posibles valores (lógicos³⁴) de dicha capa son 11, 12, 23, 24, 31, 32, 43 y 44 correspondientes a zonas sin cambio, zonas con cambio reciente y zonas con cambios de vieja data respectivamente. Estos valores son recategorizados en 1, 3 y 5 (Tabla 6.33).

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Capas de “Coberturas de la Tierra” (ej. 2007, 2012, 2016)
 - Polígono delimitación del área de estudio.
- **Procedimientos generales:**
 - Corte de las capas a la zona de estudio
 - Reclasificación de la cobertura de “Dinámicas de transformación” de acuerdo a su valor, en tres categorías de resistencia (Tabla 6.34).

Tabla 6.34. Calificación de las dinámicas de cambio de las coberturas naturales (2007-2016)

TRANSFORMACIÓN	VALOR CATEGORÍA	RECATEGORIZACIÓN
Sin cambio	11	1
Recuperación vieja data	12	1
Recuperación Reciente	23	3
Recuperación Reciente	24	3
Transformación Reciente	31	5
Transformación Reciente	32	5
Transformado vieja data	43	5

34 Un valor de 33 se considera ilógico puesto que para el periodo 2007-2012 la cobertura termino en estado transformado (Valor 3), pero para el periodo 2012-2016 de dice que inicia como natural (Valor 30), lo cual es imposible, pues un píxel no puede tener dos valores para el año 2012 (Transformado y Natural).

Transformado vieja data	44	5
-------------------------	----	---

6.6.2.3.8. Vocación de uso de los suelos (VS)

Esta variable se incluye en asociación al factor vulnerabilidad de las coberturas, utilizado en la propuesta del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006), dado que la vocación de los suelos se establece de acuerdo a sus características biofísicas y su correspondiente capacidad para soportar el desarrollo de tipos particulares de actividades. Así, aunque no ha sido tenida en cuenta hasta el momento en los trabajos consultados⁸, se incluye en esta propuesta considerando dos aspectos: a) que una de las causas de la transformación de las coberturas naturales más influyentes en la Amazonía colombiana, es el desarrollo de actividades productivas no acordes con las capacidades de los suelos de la zona. Este tipo de dinámicas, resulta en el paulatino agotamiento de los suelos e implica la necesidad de trasladarlos regularmente a sectores no explotados, correspondientes a áreas bajo coberturas naturales; y b) que, con el fin de establecer corredores de conectividad, la vocación del uso de los suelos debe ser en el futuro un determinante para el tipo de actividades productivas a desarrollar en sus zonas de influencia. Así, la inclusión de la vocación de los suelos, permite que la espacialización y modelación de corredores incluya los suelos más frágiles (considerados como objetos de conservación) y evite aquellos con mayor aptitud para las actividades productivas.

Para la generación de la matriz de resistencia correspondiente, se establecen valores de resistencia para cada una de las diferentes categorías establecidas en la cartografía de referencia, los cuales se asocian al grado de conservación (coberturas naturales) o transformación (seminaturales y transformadas). La cantidad de categorías a valorar, variará de acuerdo al ámbito de análisis, cada uno asociado a una cartografía particular. Para este ámbito de análisis se propone utilizar como insumo, capas correspondientes a los determinantes ambientales (1:10.000), en cuya delimitación se consideran la variación de las características generales de los suelos y de su importancia ecológica.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación área de estudio
 - Capa de determinantes ambientales
- **Procedimientos:**
 - Corte de la capa a la zona de estudio.
 - Categorización y valoración de la resistencia de acuerdo a determinantes ambientales.

6.6.2.3.9. Pendiente (P)

Esta variable es utilizada con regularidad en análisis de conectividad ecológica (Zeller et. al, 2012) y hace parte de aquellas consideradas dentro del factor de vulnerabilidad de las coberturas, utilizado en la propuesta del IEHH (Correa et. al., 2017; Etter et. al., 2006), dado que la pendiente del terreno se asocia con su fragilidad en términos de estabilidad y así con el mantenimiento de coberturas naturales y con la conectividad ecológica. Además, terrenos escarpados, se convierten en una barrera física que impide el flujo de organismos.

La pendiente del terreno, calculada en términos de porcentaje, se deberá estimar a partir de información generada mediante levantamientos topográficos en campo. Los valores de la matriz de pendiente (matriz de resistencia), son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: pendiente baja, pendiente media

y pendiente pronunciada, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.35). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Polígono delimitación del área de estudio
 - Modelo de Elevación,
- **Procedimientos:**
 - Corte capa altimetría a la zona de estudio
 - Cálculo de los valores de porcentaje de pendiente
 - Categorización de los valores de pendiente.

Tabla 6.35. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo a la pendiente del terreno. Fuente:

PENDIENTE	RESISTENCIA		
	Rango Valores	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Baja	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1
Media	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Pronunciada	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5

6.6.2.3.10. Aislamiento de hábitats remanentes (AHR)

Esta variable, al igual que la anterior es propuesta originalmente por Correa et. al., (2017) y corresponde a la primera de tres incluidas por dichos autores, asociadas a la pérdida y fragmentación del hábitat (F_{Frag}). Se incluye en los análisis de conectividad planteados, considerando la estrecha relación existente entre los procesos de conectividad y fragmentación, y con el fin de identificar áreas críticas para la conectividad que no se encuentren bajo este tipo de procesos.

La variable corresponde específicamente a la distancia de áreas transformadas a parches de hábitat remanente. Al ser una variable relacionada con la distribución de hábitats, debe ser construida a partir del procesamiento de la capa de hábitat generada para cada una de las especies o grupos de especies considerados en los diferentes ámbitos de análisis. Los valores de la matriz de resistencia resultante, son reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.35). Para dicha clasificación se hace uso del método de intervalos geométricos.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Capa de hábitat remanente / No hábitat, por grupo de especies considerado.
- **Procedimientos:**
 - Cálculo de distancia de áreas transformadas a parches de hábitat remanente.
 - Categorización de los valores de resistencia (Tabla 6.35).

Tabla 6.35. Clasificación de los valores de resistencia en relación a la distancia entre parches de hábitat / no hábitat

DISTANCIA	RESISTENCIA		
	Rango Valores	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Baja	Polígonos de hábitat remanente	Baja	1
Media	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Pronunciada	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5

6.6.2.3.11. Porcentaje de hábitat transformado (PHT)

Esta variable, al igual que la anterior es propuesta originalmente por Correa et. al., (2017) y corresponde a la segunda de las tres variables incluidas por dichos autores, asociadas a la pérdida y fragmentación del hábitat (F_{Frag}). Se incluye en los análisis de conectividad planteados, considerando la estrecha relación existente entre los procesos de conectividad y fragmentación, y con el propósito de identificar áreas críticas para la conectividad de la región que no se encuentren bajo este tipo de procesos.

La variable corresponde específicamente al porcentaje de hábitat transformado por unidad de área (concordante con la escala de análisis actual, 1:10.000). Al ser una variable relacionada con la distribución de hábitats, debe ser construida a partir del procesamiento de la capa de hábitat generada para cada grupo de especies considerado. A partir del cálculo del porcentaje se obtiene un mapa continuo con valores de 1 a 100, en donde los valores más altos indican una mayor resistencia y los más bajos una menor. Este mapa es clasificado en tres categorías de resistencia: Bajo (0-33), Medio (34-66) y alto (67-100).

- **Insumos de información cartográfica:**

- Capa de hábitat remanente / No hábitat, grupo de especies considerado.

- **Procedimientos:**

- Cálculo del porcentaje de hábitat transformado por unidad de área.

6.6.2.3.12. Índice de extensión de la transformación (IET)

Esta variable, al igual que la anterior es propuesta originalmente por Correa et. al., (2017) y corresponde a la tercera de las tres variables incluidas por dichos autores, asociadas a la pérdida y fragmentación del hábitat (F_{Frag}). Se incluye en los análisis de conectividad planteados, considerando la estrecha relación existente entre los procesos de conectividad y fragmentación, y con la finalidad de identificar áreas críticas para la conectividad de la región que no se encuentren bajo este tipo de procesos. La variable corresponde específicamente a la distancia media entre cada pixel y el centroide de cada parche de hábitats transformados (No hábitat).

Este índice corresponde al "Índice de radio de giro" (McGarigal et al., 2002) y se asocia a la distancia media que un organismo debe moverse dentro de un parche transformado para salir del mismo. Al ser una variable relacionada con la distribución de hábitats, debe ser construida a partir del procesamiento de la capa de hábitat generada para cada una de las especies o grupos de especies considerados en los diferentes ámbitos de análisis.

Para la estimación de los valores de resistencia se asume una relación lineal de carácter inverso entre el valor del índice (distancia media de desplazamiento) y la resistencia al flujo de organismos. Los valores de la matriz de resistencia resultante, serán reclasificados para obtener tres rangos correspondientes a: Zonas contiguas, Zonas próximas y Zonas Lejanas, correspondientes a diferentes niveles de resistencia (Tabla 6.36). Para dicha clasificación se propone el uso del método de intervalos geométricos.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Capa de hábitat remanente / No hábitat, por grupo de especies considerado.
- **Procedimientos:**
 - Cálculo de la distancia media entre cada pixel y el centroide de cada parche de hábitats transformados (No hábitat).

Tabla 6.36. Clasificación de los valores de resistencia de acuerdo al Índice de extensión de la transformación.

VALOR	RESISTENCIA		
	Rango Valores	CATEGORÍA	VALOR CATEGORÍA
Baja	Calculado mediante intervalos geométricos	Baja	1
Media	Calculado mediante intervalos geométricos	Media	3
Pronunciada	Calculado mediante intervalos geométricos	Alta	5

6.6.2.3.13. Otras variables

Dependiendo de las dinámicas ecológicas y socioeconómicas que a través del tiempo tiene el territorio, en los diferentes ámbitos de análisis considerados, se debe considerar la necesidad de evaluar la inclusión de variables adicionales a las hasta aquí descritas, de manera que se pueda describir acertadamente la realidad del área de estudio a la que se haga referencia. En ese sentido, la selección de dichas variables debe buscar el complemento de los diferentes aspectos considerados para la cuantificación del efecto de las actividades humana sobre la conectividad, en la propuesta del IEHH (Correa et al., 2017). La selección de dichas variables deberá fundamentarse en caracterizaciones que se hagan de los paisajes bajo análisis, como las desarrolladas en el contexto del análisis de motores de fragmentación.

6.6.2.4. Modelación de la matriz general de resistencia.

Siguiendo procedimientos generales utilizados con anterioridad (Correa et al., 2017; Etter et al., 2006), para la generación de la Matriz General de Resistencia por Especie (MGR_i), en primera instancia se deben sumar los valores de cada una de las matrices individuales de resistencia generadas, para cada uno de los factores asociados al IEHH (Tabla 6.37). El siguiente ejemplo corresponde al ámbito regional:

- $F_{int} = CT + DD + DV + DP + DNR_i + IF$
- $F_{time} = DT$
- $F_{vul} = VS + P$
- $F_{frag} = AHR + PHT + IET$

Posteriormente, se genera la matriz IEHH por especie, con valores entre 0 -100 de acuerdo a:

$$MGR_i = \frac{(F_{int} + F_{time} + F_{vul} + F_{frag}) \times 100}{(F_{int\ max} + F_{time\ max} + F_{vul\ max} + F_{frag\ max})}$$

Finalmente, para evaluar las diferencias que la actividad humana tiene sobre la conectividad ecológica general del paisaje, se genera una Matriz Final de Resistencia (MFR) (multiespecie), sumando los valores de resistencia calculadas por especie. Los valores de la capa resultante son reescalados nuevamente entre 0 y 100 (Correa et al., 2017).

6.6.2.5. Descripción de patrones generales de conectividad

La descripción de los patrones generales de conectividad se realiza mediante la evaluación de la MFR generada. Con este insumo es posible describir la variación geográfica del grado de resistencia / conectividad y su representación mediante la definición de sectores relativamente homogéneos y en el contexto de la división político-administrativa y por cuencas. De esta manera, será posible identificar sectores generales con un alto o bajo grado de conectividad.

6.6.2.6. Sectores determinantes a ser conectados

6.6.2.6.1. Parches funcionales

Para este ámbito de análisis, la perspectiva de análisis considera la identificación de parches funcionales para cada grupo de especies considerados y el análisis estructural de los paisajes. Para ello, se parte de la modelación de hábitats realizada con MaxEnt. De no contar con un número suficiente de registros por cada una de las especies identificadas, como para realizar el modelamiento de sus hábitats, se deben revisar estudios realizados en ecosistemas similares a los del área de estudio. Utilizando estos estudios se identifican rangos de hogar de machos y hembras y las coberturas que son identificadas como hábitat, y se seleccionan todos aquellos parches que están dentro de alguna cobertura reportada como hábitat.

Para la identificación final de los parches funcionales se utiliza como insumo cartográfico principal mapas de coberturas de la tierra (1:10.000). Considerando el sistema de clasificación de coberturas de la tierra CLC, estas pueden ser clasificadas por el nivel 3 de la leyenda, de tal manera que se le asignen valores de 1 a las coberturas utilizadas como hábitat de la especie y 0 a las que no lo son. Este resultado asociado a una categoría de cobertura permite calcular índices de estructura que están asociados a la presencia de la especie respondiendo a la definición de conectividad de hábitat (Correa et al. 2015).

6.6.2.6.2. Análisis estructural del paisaje

Una vez identificados los parches funcionales, se realiza un análisis de configuración espacial del paisaje, de tal manera que se estiman distintos patrones o indicadores para cada uno de los parches funcionales identificados. Dichos indicadores son métricas utilizadas para cuantificar espacialmente la estructura de un paisaje, y relacionarla con las distintas formas de intervención antrópica; pueden ser estas las formas de gestión, el uso de la tierra, las políticas implementadas, la historia de uso, etc. De esta manera, las métricas de paisaje pueden tomarse como criterios que orienten las diferentes formas de gestión en el territorio, el uso y manejo del suelo, políticas para el ordenamiento territorial, entre otros. Los indicadores que ha utilizar son los siguientes:

- **Área:** Este indicador calcula la extensión de cada unidad natural dentro de un área, el cual analiza la complejidad de los arreglos espaciales en términos de su riqueza y dominancia. Este grupo de indicadores representa un conjunto disperso de las métricas que tienen que ver con el número, tamaño de los parches y la cantidad de borde creado por estos parches.
- **Perímetro:** Es igual al perímetro (m) del parche, incluyendo los agujeros internos del mismo, es otra medida fundamental de la información disponible de un paisaje y es la base de muchas clases y métricas del paisaje. Específicamente, el perímetro de un parche es tratado como un borde por su intensidad y distribución, características que hacen de este un aspecto importante del patrón del paisaje. Además, la

relación entre el perímetro del parche y la superficie del parche es la base para la mayoría de los índices de la forma.

- **Índice de forma:** Corrige el problema del índice de la relación perímetro-área, mediante el ajuste de un cuadrado estándar, como resultado, es el más simple y quizá la medida más directa de la complejidad de forma. Forma = 1 cuando el parche es máximamente compacto (es decir, cuadrado o casi cuadrado) y aumenta si el límite que forma el parche se vuelve más irregular.
- **Área Núcleo Efectiva:** Se refiere al área de cobertura natural que se encuentra fuera de una distancia mínima de influencia a partir del borde; analiza la forma como se disponen en un área las unidades espaciales de análisis y por ende de forma básica a conocer sobre el efecto que tienen los procesos naturales o antrópicos que las afectan. El área núcleo se define como el área dentro de un parche más allá de cierta profundidad o influencia de borde (es decir, la distancia al borde). El efecto de borde es el resultado de la combinación de factores bióticos y abióticos que alteran las condiciones ambientales a lo largo de los bordes de los parches en comparación con los interiores de estos. Así, mientras que un parche puede ser lo suficientemente grande como para soportar una determinada especie, puede que para otra no contenga el área suficiente.
- **Conectividad entre Fragmentos:** Es un indicador que mide la distancia entre los parches o fragmentos de cada unidad natural que se encuentra dentro del área de estudio; responde al atributo ecológico de conectividad, el cual analiza las conexiones físicas existentes entre unidades espaciales similares o complementarias. El indicador permite conocer acerca de la cercanía o vecindad en que se disponen físicamente, los fragmentos que forman parte de la cobertura de una unidad espacial asociada al nivel de paisajes o ecosistemas. Su análisis permite saber acerca de los disturbios estructurales que limitan o favorecen los flujos ecológicos que normalmente ocurren.
- **Índice de proximidad:** Es igual a la suma de la superficie del parche (m^2) dividido por la distancia de borde a borde más cercano cuadrado (m^2) entre el parche bajo análisis y el parche central de todos los parches cuyos bordes están dentro de una distancia especificada (m). El índice fue desarrollado por Gustafson y Parker (1992) considera el tamaño y la proximidad de todos los parches cuyos bordes están dentro de un radio de búsqueda especificados del parche central. El índice es adimensional (es decir, no tiene unidades) y por lo tanto el valor absoluto del índice tiene poco valor interpretativo, sino que se utiliza como un índice comparativo.

De dichos patrones, se genera un índice compuesto de configuración estructural del paisaje (estado de conservación), que muestra los fragmentos o parches que tiene un mejor o peor estado de conservación. Este atributo lo contiene cada fragmento, de tal modo que se genera un archivo con las características estructurales del paisaje, para ser utilizado como uno de los insumos principales para identificar las áreas importantes para la conectividad. De esta manera, la evaluación de conectividad ecológica incorpora dentro de sus análisis, características estructurales del paisaje como reflejo de las distintas formas de intervención antrópica en la región.

6.6.2.6.3. Análisis funcional del paisaje

En este paso metodológico se incluye más fuertemente las características biológicas y ecológicas de la especie para definir las zonas importantes para la conectividad y los conectores ecológicos que pueden existir dentro del paisaje. En este sentido, con el uso de CONEFOR®, es posible cuantificar la contribución de cada parche de hábitat al mantenimiento o posible mejora de la conectividad ecológica para una especie (Saura y Torné

2009). En este caso específico el software se utiliza para la identificación de dicho tipo de parches de hábitat dentro del set de parches funcionales previamente identificados.

El CONEFOR, además de utilizar como insumo el archivo de estado de conservación o configuración espacial, requiere que se especifiquen las distancias euclidianas entre fragmentos y la distancia de dispersión media de las especies consideradas. El primer archivo es generado también a través del CONEFOR y la segunda información es incorporada manualmente por el usuario. Para este último caso en particular, se utilizarán distancias medias de dispersión para especies de dispersión corta, media y larga, las cuales se escogerán con base en distintos reportes bibliográficos de diferentes autores. Como medida de prevención, se puede escoger el rango de hogar más pequeño, buscando identificar áreas importantes para la conectividad dentro los pequeños fragmentos de hábitat y coberturas naturales que aún queden en las zonas más fragmentadas.

Como resultado del proceso que realiza el CONEFOR, se obtiene un archivo que le da la importancia de conectividad a cada uno de los parches de la base natural, utilizados como nodos para la modelación de los corredores de conectividad en pasos subsiguientes. Dicha importancia se proporciona en diferentes fracciones de análisis de conectividad ecológica. Uno de los índices más relevantes es el dPC Conector, el cual mide la contribución de cada parche a la conectividad entre el resto, como un elemento conector o parche puente; su valor depende de posibles caminos alternativos.

Los valores más altos del índice dPC conector son seleccionados y resaltados como los más importantes para la conectividad, no obstante, todos los parches en principio son funcionalmente viables para generar paisajes conectados y menos fragmentados. Los parches más importantes para la conectividad, además de ser necesarios conectores dentro del paisaje, son espacios que por sus características funcionales y estructurales proporcionan buenos hábitats para las especies. También el CONEFOR arroja otros índices de conectividad que se pueden tener en cuenta para el análisis. Los índices o métricas de conectividad estimados para cada parche y para las especies agrupadas según su distancia de dispersión son los siguientes (Saura & Rubio, 2010):

Fracción dPCintra: Hábitat disponible proporcionado por la tesela a través del área que contiene

Fracción dPCflux: Flujo a través de las conexiones de la tesela con el resto, cuando ella es el punto de origen o destino de dicho flujo.

Fracción dPCconector: Contribución de la tesela a la conectividad entre el resto, como un elemento conector o puente. Sólo si la tesela está en camino óptimo. Su valor depende de posibles caminos alternativos.

- **Insumos de información cartográfica**
 - Polígono delimitación área de estudio
 - Descripción de características funcionales de la especie
 - Registros de especie
 - Mapa de coberturas de la tierra
 - Capas ambientales
- **Procedimientos generales**
 - Modelación de nicho ecológico (MaxEnt)

- Clasificación de coberturas de la tierra de acuerdo al hábitat de la especie.
- Cálculo de indicadores de paisaje (ArcGis - Fragstast)
- Cálculo de distancias euclidianas entre fragmentos (ArcGis-Conefor)
- Estimación de áreas (parches) importantes para la conectividad (Conefor)

6.6.2.7. Sectores importantes para la conectividad

6.6.2.7.1. Corredores de conectividad

La identificación de sectores importantes para la conectividad (Corredores), se realiza mediante una modelación utilizando en primera instancia el software “CircuitScape”, que de manera análoga a la teoría de grafos probabilísticos (con nodos conectados por medio de enlaces de mayor o menor resistencia), considera los paisajes como una superficie de conductividad eléctrica. En tal sentido, toma los componentes a conectar (ej. parches funcionales) como fuentes de corriente y representa el movimiento de los individuos como el flujo eléctrico a través de la superficie de conductividad (Matriz Final de Resistencia – IEHH -) (McRae et al., 2013). El programa toma en cuenta todas las posibles rutas que pueden ser recorridas en la matriz resistencias y evalúa las contribuciones de cada una de ellas en la zona de análisis. En tal sentido, el resultado final es la valoración de carga (eléctrica) o la probabilidad de tránsito (en el contexto de corredores de conectividad ecológica) que podría llegar a tener cada pixel en el paisaje. Es así como un espacio con un alto valor es indicador de concentración de carga y, por tanto, un punto frágil del sistema de conectividad. Por el contrario, los valores bajos indican una mayor permeabilidad y distribución de la energía en una zona más amplia y de manera más homogénea (FCDS, 2018).

La evaluación visual de la matriz de conductividad permite generar una propuesta preliminar de corredores en el área de estudio, incluyendo aquellos que conectan las diferentes áreas núcleo o parches funcionales delimitados. Sin embargo, con la intención de logra una delimitación con un respaldo cuantitativo, la matriz final de resistencia también es procesada con el software LinkageMapper que identifica entre las áreas núcleo / parches funcionales a) corredores lineales específicos de menor resistencia al flujo de organismos, pero con diferentes grados de probabilidad de flujo dependiendo de su localización, y b) aquellos caminos de menor costo dentro de cada corredor, en términos de resistencia.

- **Insumos de información cartográfica:**
 - Matriz general de resistencia
 - Capa de áreas fuente / parches funcionales
- **Procedimientos generales:**
 - Modelación de superficies de resistencia entre áreas fuente (CircuitScape).
 - Delimitación visual de corredores
 - Modelación de corredores de conectividad entre áreas fuente (LinkageMapper).

6.6.2.7.2. Franjas de conectividad

Aunque los corredores modelados, corresponden a los espacios con menor resistencia al flujo de organismos entre las diferentes áreas núcleo definidas, el focalizar las iniciativas de manejo del territorio, para el

mejoramiento del estado de su estado conservación y el mantenimiento o recuperación de las extensiones de coberturas naturales, debe considerarse una perspectiva restringida o por lo menos poco precavida. La reducida área ocupada por estos corredores tiene implicaciones en términos de su integridad y vulnerabilidad frente a las dinámicas de transformación que se puedan desarrollar en su vecindad. Por lo anterior y considerando que la perspectiva de análisis, considera patrones y procesos desarrollados sobre sectores y no sólo sobre trazados lineales, se hace necesario considerar franjas del territorio que incluyan, pero que sean más extensas, que los corredores modelados, sobre los cuales sea posible desarrollar estrategias generales que propendan por el mejoramiento de la conectividad, por parte de actores institucionales de carácter departamental (gubernaciones), Municipal (alcaldías) o local (JAC).

En tal sentido, teniendo como referentes: a) la localización de los corredores modelados, b) la distribución de las microcuencas y c) los valores de la matriz de resistencia generada, se propone delimitar franjas dentro de las zonas de estudio (dependiente del ámbito de análisis correspondiente), que pueden ser importantes para el mantenimiento de la conectividad en la zona de estudio, conectando pares de parches funcionales específicos.

El uso de la figura de las “cuencas”, se fundamenta en dos aspectos principales, relacionados con criterios ecológicos y de manejo. En el primer caso, la delimitación natural de las de estos elementos del paisaje corresponde a espacios en los que se desarrollan flujos particulares de materia y energía, comportándose como límites naturales de sistemas ecológicos. Segundo, estas figuras son espacios geográficos sobre los cuales se han desarrollado herramientas específicas de manejo (ej. POMCA), que pueden ser aprovechadas para asegurar el mantenimiento / mejoramiento de su estado de conservación y así de su función como espacios de conectividad entre parches funcionales particulares.

Específicamente, para la delimitación de las franjas importantes para la conectividad, se consideran aquellas cuencas que permitan la conexión entre pares de áreas núcleo o parches funcionales. Adicionalmente, dado que en algunos casos las cuencas identificadas pueden abarcar territorios extensos que no necesariamente correspondían a zonas entre áreas núcleo, las franjas deben ser delimitadas de tal forma que incluyan los corredores de conectividad modelados y además que tengan representación de un número reducido (3) de rangos de valores de conductividad eléctrica en la matriz generada.

• **Insumos de información cartográfica:**

- Matriz general de resistencia
- Capa de áreas fuente / parches funcionales
- Cartografía microcuencas.

• **Procedimientos generales:**

- Modelación de superficies de resistencia entre parches funcionales (CircuitScape).
- Delimitación de sectores específicos a partir de:
 - Microcuencas
 - Valores de resistencia

6.6.2.8. Priorización de sectores importantes para la conectividad

Las franjas importantes para la conectividad entre parches funcionales podrán ser priorizados, teniendo en cuenta dos tipos de criterios: a) técnicos, y b) Institucionales.

En el primer caso, de manera complementaria a la delimitación de los rangos de valores de conductividad asociados a las franjas de conectividad, es necesario considerar el tipo de dinámicas socioeconómicas que en ellas se desarrollan. Lo anterior, dado que ellas determinan el tipo de estrategias a implementar en cada caso, las cuales presentan diferencias en términos de viabilidad de su implementación en terreno. Este tipo de afectación por actividades de origen antrópico es posible de cuantificar mediante la evaluación de la presencia de motores de fragmentación³⁵ en las diferentes franjas identificadas. En este sentido, los mapas de distribución probable de los motores de fragmentación son cruzados con las franjas de conectividad. La estimación del área afectada por cada uno de los niveles de intensidad (1-5) por motor hace posible identificar cual (es) de ellos presentan un mayor impacto sobre cada franja.

Sumado a la evaluación de la afectación por motores de fragmentación, es necesario considerar criterios de carácter institucional, que se relacionan con objetivos misionales, disponibilidad y compromisos presupuestales, antecedentes (procesos previos de gestión territorial desarrollados en las diferentes zonas), disponibilidad de las comunidades locales para el desarrollo procesos en pro del mantenimiento o recuperación de la conectividad ecológica (conversión de las actividades económicas, ordenamiento del uso del territorio).

6.6.2.9. Caracterización de corredores y franjas

6.6.2.9.1. Caracterización general y estructural

Tanto corredores como franjas de conectividad serán delimitados a partir de las microcuencas, referenciados al nivel de mayor ajuste de la grilla del Marco Geoestadístico Nacional y caracterizados en términos político-administrativos y por sus valores promedio de resistencia, su variación, el tipo de coberturas que incluyen y su proporción. Además, se realizará también un análisis estructural. Para ello se utilizarán como insumo principal la capa de coberturas de la tierra correspondiente a cada ámbito. La descripción estructural del paisaje permite tipificar los corredores de conectividad en relación a los patrones del paisaje. En este sentido, se propone elaborar los análisis estructurales del paisaje utilizando atributos ecológicos e indicadores asociados (Tabla 6.37).

Tabla 6.37. Indicadores espaciales para caracterización de fragmentación

	ATRIBUTOS ECOLÓGICOS	DEFINICIÓN	INDICADORES
Análisis de patrones del paisaje (estructura del paisaje)	Heterogeneidad	Complejidad de arreglos espaciales en términos de su riqueza y dominancia	Número de unidades espaciales naturales Extensión de unidades espaciales naturales
	Configuración espacial	Forma como se disponen en un área las unidades espaciales y por ende da forma básica a conocer sobre el efecto que tienen los procesos naturales o antrópicos que les afecta	Área (ha) Perímetro (metros) Número de parches Área núcleo (ha) Forma

35 Para el detalle sobre el planteamiento conceptual y metodológico para la identificación y espacialización de motores de fragmentación por ámbito de trabajo

	ATRIBUTOS ECOLÓGICOS	DEFINICIÓN	INDICADORES
	Continuidad	Conexiones físicas existentes entre unidades espaciales similares o complementarias	Distancia euclidiana (metros) Proximidad Continuidad altitudinal (metros)

- **Insumos de información cartográfica**

- Polígono delimitación de corredores / franjas
- Mapa actualizado de coberturas de la tierra
- Modelo digital de elevación / información topográfica

- **Procedimientos generales**

- Cálculo de indicadores en corredores / franjas de conectividad (ArcGis-Fragstast).

6.6.2.9.2. Caracterización socioeconómica

De manera complementaria a las caracterizaciones generales y estructurales, buscando mayor detalle en el conocimiento de los sectores analizados³⁶, se realizará también una caracterización socioeconómica. En este sentido se debe mencionar que análisis de conectividad tiene estrecha relación con el estudio de los motores de fragmentación del paisaje, pues es un insumo fundamental en su caracterización. El análisis de fragmentación y sus motores incorpora la integración de aspectos sociales y económicos del territorio como insumo para determinar dónde la conectividad está comprometida en mayor o menor grado. En tal sentido, para el análisis de conectividad se tendrán en cuenta dos procesos específicos: a) la capacidad de adaptación de las actividades económicas que generan fragmentación y b) el potencial de restauración de la conectividad.

6.6.2.9.2.1. Capacidad adaptación de las principales actividades económicas

La capacidad adaptativa guarda una estrecha relación con la capacidad de los productores y entidades locales de generar alternativas y ponerlas en marcha a nivel predial (finca o unidad productiva), para mantener y conservar los corredores de conectividad local, vía mejoramiento y reconversión de sistemas de producción local. Este análisis comprende:

- **Procedimientos generales**

- Priorizar los paisajes para la intervención a nivel predial.
- Adelantar la caracterización socioeconómica de los productores y la planificación predial en unidades del paisaje seleccionadas a nivel local.
- Identificar las medidas y acciones concretas de mejoramiento y cambio de los sistemas de producción, a nivel predial. La propuesta está orientada a la puesta en práctica de acciones tendientes a generar cambios en el predio, teniendo en cuenta los patrones de fragmentación y la tipología de los sistemas de producción, mediante la introducción de herramientas de manejo del paisaje, a nivel predial.

³⁶ En el ejercicio de implementación de la metodología en su ámbito regional, no se incluyen los análisis socioeconómicos planteados, dado el tiempo adjudicado para el desarrollo del proyecto.

- Analizar la viabilidad socioeconómica de las estrategias y herramientas de manejo de paisaje identificadas, para su adopción por parte de los productores rurales.
- Analizar la capacidad institucional para prestar el acompañamiento técnico para el establecimiento de herramientas de manejo del paisaje rural, a nivel predial.
- Definir las bases para establecer acuerdos de conservación y de reconversión de los sistemas productivos, con los productores rurales.
- Potenciar y fortalecer programas de acompañamiento técnico para orientar la introducción y establecimiento de las herramientas de manejo del paisaje.

6.6.2.9.2.2. Potencial de conservación y restauración de corredores de conectividad

Para el potencial de conservación y restauración de los corredores debe considerar las capacidades de los productores y las instituciones locales y otras aliadas para la reconversión de los sistemas de producción, desarrolladas en el punto anterior, se procede a:

• Procedimientos generales

- Formalizar acuerdos con los productores de introducir las prácticas que neutralizan la fragmentación y promueven la conectividad, definiendo con claridad el objetivo y las actividades a seguir, y los compromisos adquiridos por las partes.
- Identificar los mecanismos facilitadores del proceso de reconversión de los sistemas productivos y formalizar las alianzas con actores institucionales claves para la financiación, la promoción y la puesta en marcha de las estrategias definidas y las herramientas de manejo del paisaje a ser introducidas en los sistemas de producción local.
- Identificar las oportunidades de conservación del paisaje rural, a nivel predial, estableciendo los elementos del paisaje donde se establecerán las herramientas del paisaje y los elementos vegetales que harán parte de estas herramientas.
- Establecer las herramientas de manejo del paisaje rural para la conservación y el mantenimiento de la conectividad ecológica, a nivel predial, de manera articulada con los productores y con las instituciones que prestarán el acompañamiento financiero y técnico.
- Definir el proceso de seguimiento y evaluación, con las acciones a seguir de acuerdo a sus resultados, para garantizar el éxito del proceso.

6.6.3. Resultados esperados

En términos generales, del análisis de conectividad planteado se obtendrán como productos finales, la identificación y caracterización general de los parches funcionales presentes en la zona de estudio, así como de corredores y franjas de conectividad entre pares de parches funcionales. Sin embargo, de acuerdo a lo planteado hasta el momento, se especifican los resultados finales esperados de los análisis de conectividad para cada uno de los ámbitos de análisis considerados.

- Matrices de resistencia de cada una de las variables consideradas, asociadas a los procesos de transformación de los paisajes por tipo de especie considerado



El ambiente
es de todos

Minambiente



- Matriz de resistencia final (IEHH) por tipo de especies
- Identificación, caracterización general y espacialización de áreas núcleo (Parches funcionales) por tipo de especie considerado
- Identificación, caracterización (general y estructural) y espacialización de predios asociados a los corredores conectividad para diferentes tipos de especies
- Identificación y caracterización de productores que habitan en los corredores de conectividad ecológica a nivel local.
- Priorización de predios y planeación predial adelantada a partir de acuerdos de trabajo establecidos con los productores que tienen relación directa con los corredores locales de conectividad ecológica.
- Análisis de viabilidad económica con acciones que deban desarrollarse para garantizar el éxito del proceso de conservación y mantenimiento de la conectividad ecológica local.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Adriaensen, F., Chardon, J. P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H. & Matthysen, E. 2003. The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*, 64: 233-247.
- Aguilar-Garavito, M, Ramírez, M., & autores, y. o. 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá: IAvH.
- Aide, T.M., & R. Grau. 2004. Globalization, Migration, and Latin American Ecosystems. *Science* 305: 1915-1916.
- Alberico, M., Cadena, A., Hernández-Camacho, J. & Muñoz-Saba Y. 2000. Mamíferos (Synapsida: Theria) de Colombia. *Biota Colombiana*, 1(1): 43-75.
- Alcaldía Municipal de Vistahermosa - Meta. 2016. Plan de Desarrollo Municipal "Con lo Nuestro". Oficina de Planeación Municipal, Vistahermosa.
- Altieri, M.A. 1997. *Agroecology. The scientific basis of alternative agriculture*. Westview Press Boulder
- Alvarez, M. 2002. Illicit Crops and Bird Conservation Priorities in Colombia. *Conservation Biology* 16 (4): 1086-1096.
- Anaya, J. A. 2007. Evaluación del Estado de Conservación de los Ecosistemas Boscosos en los Valles de San Nicolás. Retrieved 5 de octubre de 2015 from unalmed.edu.co: http://www.unalmed.edu.co/~janaya/JAnayaCont06_Invest06.html
- Andrén, H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat. *Oikos* 71: 355-366.
- Arima, E. Y., Wlaker, R. T., Sales, M., Souza JR, C., & Perz, S. G. (2008). The fragmentation of Space in the Amazon Basin: Emergent Road Networks. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74 (6), 699-709.
- Badii, M. H. y J. L. Abreu. 2006. Metapoblación, conservación de recursos y sustentabilidad. *Daean*, 1(1): 37-51.
- Badii, M. H. y I. Ruvalcaba. 2006. Fragmentación del hábitat: el primer jinete de Apocalipsis. *Calidad Ambiental*, XII (3): 8-13.



Certificado No. SG 201700059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co





El ambiente
es de todos

Minambiente



- Badii, M. H., A. E. Flores, H. Quiróz y R. Foroughbakhch. 1999. Metapoblación; teoría y aplicación. Ciencia UANL, II (2): 133-140.
- Balvanera, A. C. 2011. Valor de servicios ecosistémicos, conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. In E. G. Pedro Latterra, Marcos Conceptuales Interdisciplinarios para el Estudio de los Servicios Ecosistémicos en América Latina. Buenos Aires: Ediciones Inta.
- Barrera-Cataño, J. I., Valdés, C., & López, C. 2007. Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. Unniversitas Scientarum. , Rdción especial (II), 11-24.
- Barrera-Cataño, J., Contreras, S., Garzón - Yepes, N., A.C. M. -C., & S.P., M. -V. 2010. Manual para la restauración ecológica de los Ecosistemas Disturbados del Distrito Capital. Bogotá, D.C, Colombia: Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), Pontificia Universidad Javeriana (PUJ).
- Baeza, S. (2009). Ecología del paisaje. Notas de clase.
- Begon, M., Harper, J. L., & Townsend, C. R. 2006. Ecology: Individuals, Populations and Communities. Blackwell science (Vol. 3rd Edition).
- Bennet, A. 2004. Enlazando el paisaje. El papel de los corredores y la conectividad en la conservación de la vida silvestre. Programa de conservación de bosques UICN. Serie No 1.pg 309.
- Betancurt, B., Rodríguez, C. H., & Garzón, M. T. 2014. Caracterización y tipificación de los sistemas productivos del Putumayo. Final, Instituto Sinchi, Florencia.
- BID. (2015). #adaptarse. (I. A. Bank, Producer) Retrieved 07 de 2018 from sector.iadb.org.
- Bohorquez, D. C. (2013). Determinación del potencial de restauración ecológica en el Parque Nacional Olaya Herrera, II Etapa. (U. D. Caldas, Ed.) Colombia Forestal, 16 (2).
- Broadbent, E. N., Asner, G. P., Keller, M., Knapp, D. E., Oliveira, P. J., & Silva, J. N. 2008. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. Biological conservation, 141(7), 1745-1757.
- Burgi, M., & M. Turner. 2002. Factors and Processes Shaping Land Cover and Land Cover Changes Along the Wisconsin River. Ecosystems 5: 184 – 201.
- Burgi, M., A. Hersperger., y N. Schneeberger. 2004. Driving forces of landscape change – current and new directions. Landscape Ecology 19: 857 – 868.
- Butler, B. J., Swensonsb, J. J., & Aligc, R. J. (2004). Forest fragmentation in the Pacific Northwest: quantification and correlations. Forest Ecology and Management, 189, 363-373.
- Calabrese, J. M. and Fagan, W. F. 2004. A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. Frontiers in Ecology and the Environment, 2: 529-536.
- CAR. (s.f.). Guía para la incorporación de asuntos ambientales en los POT. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Bogotá, D.E.
- Carmo, A. Finegan, B. Harvey, C, 2000. Evaluación y diseño de un paisaje fragmentado para la conservación de biodiversidad. Comunicación Técnica. Revista Forestal Centroamericana.
- CEDE; IGAC; Universidad de Antioquia. 2012. Atlas de la propiedad rural en Colombia. Bogotá, D.C, Colombia: IGAC.
- Centro de Estudios Sociales - CES. 1989. La Macarena. Reserva Biológica de la Humanidad. Territorio de Conflictos. Universidad Nacional de Colombia., Sede Bogotá. Bogotá, D.C: Centro Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Ciarleglio, M., Wesley Barnes, J. & Sarkar, S. 2009. ConsNet: new software for the selection of conservation area networks with spatial and multi-criteria analyses. Ecography, 32: 205-209.
- Correa, C. A. Mendoza, M. E., Etter, A. & Pérez. D. R. 2017. Anthropogenic impact on habitat connectivity: A multidimensional human footprint index evaluated in a highly biodiverse landscape of Mexico. Ecological indicators. 72: 895-909.



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co





El ambiente
es de todos

Minambiente



- Cosero, D., Riaño, D., & Chuvieco, E. (1998). Estimación de la Humedad de la Vegetación Usando Imágenes de Satélite e Índices Meteorológicos de Peligro de Incendios. Serie Geográfica: Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá - España, 7, 59-72.
- Crooks, K. R. & Sanjayan, M. 2006. Connectivity conservation: Maintaining connections for nature. Cap. 1. En: Connectivity conservation. Crooks, K. R. & Sanjayan (eds.). Cambridge University Press, New York (USA).
- Cuevas-Reyes, P. (2010). Importancia de la resiliencia biológica como posible indicador del estado de conservación de los ecosistemas: implicaciones en los planes de manejo y conservación de la biodiversidad. *Biológicas*, 12(1), 1-7.
- Dávalos, L. M., Bejarano, A. C., Hall, M. A., Correa, H. L., Corthals, A. & Espejo O. J. 2011. Forests and drugs: coca-driven deforestation in tropical biodiversity hotspots. *Environ Sci Technol.* 45(4):1219-27.
- Dale, V. H., Offerman, H., Frohn, R. & Gardner, R. H. 1995. Landscape characterization and biodiversity research. In: *Measuring and monitoring biodiversity in tropical and temperate forests*, IUFRO Symposium (1994, Chiang Mai, Thailand). Proceedings. Malaysia. p. 47 - 65.
- Del Ángel P, A. L., Días P, G., Villagómez-C, A., Carlos, M. R., & Guajardo P, A. 2014. Vulnerabilidad del ecosistema como construcción sociocultural. Una aplicación práctica. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 4 (16).
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). 2010. Plan Nacional de Desarrollo, Prosperidad para todos (2014-2018). Colombia.
- De Groot, R. 1992. *Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management and Decision Making*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- De Groot, R. W. 2002. A Typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological economics*, 41, 393-408.
- Didham, R. K. (noviembre de 2010). *Consequences of Habitat Fragmentation*. eLS. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- DNP. 2013. *Desempeño fiscal de los departamentos y municipios*. Departamento Nacional de Planeación, Subdirección Territorial y de Inversión Pública, Bogotá, D.C.
- DNP. 2015. *Diálogos regionales para la planeación de un nuevo país*. Retrieved 12 de 06 de 2018 from <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaciones/2016-02-24%20Presentación%20Meta.pdf>
- DNP. 2016. *Evaluación del Desempeño Integral Municipal*. Departamento Nacional de Planeación, Dirección de Desarrollo Territorial Sostenible, Bogotá, D.C.
- DNP. 2017. *Informe de viabilidad fiscal. 2016. Municipios. Gobernación del Meta, Gerencia de Desarrollo Regional, Villavicencio*.
- DNP. (2017). *Sistema de Información para la Evaluación de la Eficiencia*. Retrieved 08 de 06 de 2018 from <https://portalterritorial.dnp.gov.co/pdt/#/consulta-publica>
- DNP. (2017). *Medición del Desempeño Municipal. Visor de resultados 2016*. Departamento Nacional de Planeación, Dirección de Desarrollo Territorial Sostenible, Bogotá, D.C.
- Emmons, L. & Feer, F. 1997. *Neotropical rainforest mammals: a field guide*. (Second edition.) University of Chicago Press, Chicago, Illinois 60637, USA. 396 pp.
- ESRI. (n.d.). *Introducción a ArcGIS*. From ArcGIS Resources:
- Etter, A. 1990. *Introducción a la ecología del paisaje un marco de integración para los levantamientos rurales*. IGAC. Bogotá.



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:
(8) 5928171 Leticia - Amazonas
Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá
www.sinchi.org.co





El ambiente
es de todos

Minambiente



- Etter, A., y L. A. Villa. 2001. Los sistemas de producción, extracción y asentamiento en el análisis de la transformación del paisaje. Ponencia presentada en el Seminario Internacional de Transformación de Ecosistemas. Analisis y Gestion. IDEADE. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Etter, A., McAlpine, C., Wilson, K., Phinn, S. & Possingham, H., 2006. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 114 (2-4), 369-386.
- Farina, A. 2010. Principles and methods in landscape ecology (2nd edition). Chapman and Hall.
- Fahrig, L. & Merriam, G. 1994. Conservation of fragmented populations. *Conservation Biology* 8: 50-59.
- FAO. 2009. Tratado internacional, sobre recursos filogenéticos para la alimentación y agricultura. Tercera Reunion del organo rector. FAO, Tunes.
- FAO. 2015. Construyendo una visión común para la agricultura y alimentación sostenibles. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. 2017. Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos. Roma: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA.
- Finer M, Jenkins CN, Pimm SL, Keane B, Ross C. 2008. Oil and Gas Projects in the Western Amazon: Threats to Wilderness, Biodiversity, and Indigenous Peoples. *PLOS ONE* 3(8): e2932. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002932>
- Finer, M., Jenkins, C. N., Pimm, S. L., Keane, B., & Ross, C. 2008. Oil and Gas Projects in the Western Amazon: Threats to Wilderness, Biodiversity, and Indigenous Peoples. *PLoS ONE*, 3(8), e2932. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0002932>
- Foley, J. A., Asner, G. P., Costa, M. H., Coe, R. Defries, M. T., Gibbs, H. K., Howard, E. A., Olson, S., Patz, J., Ramankutty, N. & Snyder, P. 2007. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Front. Ecol. Environ.* 5: 25-32.
- Forman, R. T. T. & Godron, M. 1986. Landscape ecology.; Chichester. John Wiley, New York, EEUU.
- Forman, R. T. T., 1995. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press.
- Franklin, JF. 1993. Preserving biodiversity: species, ecosystems or landscapes? *Ecological Applications* 3 (2):202-205.
- Foley, J. A. et, al.2005. Global consequences of land use. *Science*. 309-570
- Fundación para la conservación y el desarrollo sostenible. 2017. El Plan Regional de Gestión Social y Ambiental en el área de influencia del proyecto de infraestructura vial Marginal de la Selva en el tramo La Macarena (Meta) y el Cruce La Leona (Guaviare): Anexo metodológico: corredores de conectividad ecológica locales y regionales. Informe técnico.
- García, R. 1996. Proyecto Corredor Biológico Mesoamericano. Informe Técnico Regional. CCAD. Costa Rica. 108pGarcía 1996
- García, O. I. & Acosta, L. E. 2009. Resguardos indígenas y conservación del medio ambiente: Particularidades en la Amazonía colombiana. *Revista Colombia amazónica*. 173-186.
- Galpern, P., Manseau M. & Fall, A. 2011. Patch-based graphs of landscape connectivity: A guide to construction, analysis and application for conservation. *Biological Conservation* 144: 44-55.
- García-Márquez, J. R. 2012. Corredores biológicos en la Amazonía colombiana: Estado actual, amenazas y conectividad. Informe técnico. Cepal – Patrimonio Natural.
- Garibaldi, L. M. 2011. Services from plant- Pollinator Interactions in the Neotropics. *ES_ESAA_POL*, 119-140.
- Garzón G, M. T., Betancurt P, B., Rodríguez L, C. H., & Daza, D. D. 2012. Línea base de los indicadores de sostenibilidad de los sistemas Productivos caracterizados en el área intervenida del departamento del Caquetá. Capítulo V, Instituto Sinchi, Florencia.
- Gergel, S. E. y M. G. Turner. 2002. Learning Landscape Ecology. A Practical Guide to Concept and Techniques. Springer-Verlag New York, Inc. 316 pp.



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co





El ambiente
es de todos

Minambiente



- Geist, H. & Lambin, E. 2002. Proximate causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience* 52 (2): 143 – 150.
- González, J., Cubillos, A., Chalid, M., Arias, M., Zúñiga, E., Cubillos, M., & otros. 2018. Lineamientos conceptuales y metodológicos para la caracterización de causas y agentes de la deforestación en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., Programa ONU-REDD, Bogotá, D.C.
- Groot, R. W. 2002. A typology for the description, classification and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3): 393-408.
- Gutiérrez, D. 2002. Metapoblaciones: un pilar básico en biología de conservación. From *Ecosistemas* 2002: <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/253.pdf>
- Gurrutxaga, M. (2004): Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad: nuevas perspectivas en ecología del paisaje y ordenación territorial. Vitoria, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- Gutzwiller, K. (Editor). 2002. *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation*. Springer - Verlag.
- Hanski, I. 1998. Metapopulation dynamics. *Nature* 396:41-49.
- Harvey, C. A. & Harber, W. A. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* 44:37-68.
- Hernández, A. J., Urcelai, A., & Pastor, J. 2013. Evaluación de la resiliencia en ecosistemas terrestres degradados encaminada a la restauración ecológica. (U. d. Valencia, Ed.) Ciudad, sociedad, educación, control, caos y auto-organización, 73.
- Hildebrand, P., Herrera, J. & Pérez, C. 2015. Conexión PNN Macarena – PNN Chiribiquete: contexto ecológico e impactos potenciales del proyecto de la vía marginal de la selva sobre la conectividad ecosistémica. Informe técnico. Fundación Puerto Rastrojo.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., et al., "Climate Change 2001: The Scientific Basis," Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, 881 p.
- Huertas, C. M. & Murcia, U. 2011. Análisis de fragmentación de las áreas naturales de la Amazonía colombiana. Versión 2.0. Instituto Sinchi. 10 pp.
- IAvH & CAR. 2009. Herramientas de manejo para conservación de la biodiversidad en paisajes rurales. Instituto Alexander von Humboldt, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y Boyacá, Bogotá, D.C.
- IPBES. (04 de mayo de 2018). [www.conservacionybiodiversidad](http://www.conservacionybiodiversidad.cl/2018/03/el-bienestar-del-ser-humano-depender-de-la-salud-de-la-biodiversidad/). From <http://www.conservacionybiodiversidad.cl/2018/03/el-bienestar-del-ser-humano-depender-de-la-salud-de-la-biodiversidad/>
- IUCN, 1980. *The World Conservation Strategy*, (IUCN, UNEP, WWF:Gland)
- Jiménez, G., Ocaña, F., & Ocaña, C. 2012. Tratamiento de un SIG y técnicas de Evaluación Multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales. Universidad de Málaga, Departamento de Geografía, Málaga (España).
- Jones, K.E., Bielby, J., Cardillo, M., Fritz, S.A., O'Dell, J., Orme, C.D.L., Safi, K., Sechrest, W., Boakes, E.H., Carbone, C., Connolly, C., Cutts, M.J., Foster, J.K., Grenyer, R., Habib, M., Plaster, C.A., Price, S.A., Rigby, E.A., Rist, J., Teacher, A., Bininda-Emonds, O.R.P., Gittleman, J.L., Mace, G.M. & Purvis, A., 2009. PanTHERIA: a species-level database of life history, ecology, and geography of extant and recently extinct mammals. *Ecology* 90 (9), 2648.
- Kaimowitz, D., y A. Angelsen. 1998. Economic models of tropical deforestation a review. Center for International Forestry Research. http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf_files/Books/model.pdf.



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co





El ambiente es de todos

Minambiente



- Killeen, T. J. 2007. A perfect storm in the Amazon wilderness, development and conservation in the context of the Initiative for Integration of the Regional Infrastructure of South America (IIRSA) Applications in applied biodiversity science, vol. 7. Washington, DC: Conservation International.
- Lambin, E.F., B.L Turner, H.J Geist, S. Arvola, A. Angelsen, J. Bruce, O. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P.S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. Morán, M. Mortimore, P.S. Ramakrishnan, J. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G. Stone, U. Svedin, T. Veldkamp, C. Vogel, & J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Changes* 11: 261-269.
- Laurance, W. F. y R. O. Bierregaard, Jr., editors. 1997. *Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, EEUU.
- Laurance, W.F., Goosem, M. & Laurance, S.G. 2009. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution*.24: 659-669.
- Levis, T. 1969. The diversity of the insect fauna un a hedgerow and neighbouring fields, *Journal of Applied Ecology* 6:453-58
- Maes, J., Paracchini, M. L., Zulian, G., Dunbar, M. B. & Alkemade, E. 2012. Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in Europe. *Biol. Conserv.* 155: 1503–1523.
- MacArthur, R., & Wilson, E. 1967. *The theory of island biogeography*. Princeton University.
- Mace, G. M., Norris, K. & Fitter, A. H. 2012. Biodiversity and ecosystem services: A multilayered relationship. *Trends Ecol. Evol.* 27: 19–25.
- MADS. 2012. Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS. Bogotá, D.C. Colombia: En publicación.
- MADS. 2012. Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE). Bogotá.
- MADS. 2014. Política Nacional para la Gestión integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Bogotá.
- MADS. 2016. Política Nacional de Cambio Climático. From <http://www.minambiente.gov.co/index.php/politica-nacional-de-cambio-climatico-2/sisclima>
- MADS. 2017. Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de Bosques (EICDGB). Versión 1.0. En construcción, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Viceministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Direcciones de Biodiversidad, Bosques y Servicios Ecosistémicos y de Cambio Climático, Bogotá, D.C.
- MADS. 2017. Medidas de Manejo Zonificación Ambiental Fase I. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. PNUD y Paisajes Rurales, DGOAT, Bogotá, D.C.
- MADS. (2018). Agenda 2030. Transformando a Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & BID & PNUD, Bogotá, D.C.
- Márquez, G. 1997. Ecosistemas como factores de bienestar y desarrollo. *Ensayos de economía*, 113-141.
- Márquez, G. 2002. Ecosistemas Estratégicos, Bienestar y Desarrollo. *Educación para la gestión ambiental: una experiencia con los funcionarios del Sistema Nacional Ambiental en la Sierra Nevada de Santa Marta.* , 103-115.
- Martínez de Anguita., P. F. (s.f). *Diseño de sistemas privados y políticas públicas de pago por servicios de los ecosistemas*. Madrid.



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co





El ambiente
es de todos

Minambiente



- McGarigal, K., Cushman, S.A., Neel, M.C., Ene, E., 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer Software Program Produced by the Authors at the University of Massachusetts, Amherst.
- McRae, B.H. & Beier, P. 2007. Circuit theory predicts Gene flow in plant and animal populations. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 104:19885-19890.
- McRae, B.H., Dickson, B.G., Keitt, T.H., & Shah, V.B. 2008. Using circuit theory to model connectivity in ecology and conservation. Ecology 10: 2712-2724.
- McRae, B.H. & Kavanagh, D. M. 2011. Linkage Mapper Connectivity Analysis Software. The Nature Conservancy, Seattle WA. Available at: <http://www.circuitscape.org/linkagemapper>.
- Medina, j., & Ortegón, E. 2006. Manual de prospectiva y decisión estratégica: bases teóricas e instrumentos para América Latian y El Caribe. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES), Área de Proyectos y Programación de Inversiones. Santiago de Chile: CEPAL.
- Mendoza, J. A., & E. Etter 2002. Multitemporal analysis (1940-1996) of land cover changes in the southwestern Bogotá highplain (Colombia). Landscape and Urban Planning.59: 147-158.
- Meza-Elizalde, M. C. y Armenteras, D. (2018). Uso del suelo y estructura de la vegetación en paisajes fragmentados en la amazonia, Colombia. Colombia Forestal, 21(2), 205-223.
- Ministerio de Ambiente. (1994). Ley 165 de noviembre 9 de 1994. Convenio sobre la Diversidad Biológica. 65. Bogotá.
- Muñoz Rodríguez, J. M., Joo Nagata, J., & García Bermejo Giner, J. R. 2015. Herramientas geomáticas utilizadas en educación: situación actual y su relación con procesos educativos. Enseñanza & Teaching, 33, 25-56.
- Murcia, U., Rodríguez, J., Castellanos, H., Medina, R., Herrera, E., & Hernández, A. (2013). Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia colombiana, a escala 1:100.000. Cambios multitemporales en el período 2007 al 2012. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "Sinchi", Bpgptá, D.C.
- MVCT (a). (s.f). Anexo 5: Instructivo para diligenciar el Mapa Conceptual del EOT. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Bogotá, D.C.
- MVCT (b). (sf). Anexo 7: Instructivo para diligenciar la matriz de articulación de fines y medios. Miinsterio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Bogotá, D.C.
- Nogué, S., Rull, V. & Vegas-Vilarrúbia, T. 2009. Modeling biodiversity loss by global warming on Pantepui, northern South America: projected upward migration and potential habitat loss. Climatic Change. 94:77-85.
- Ocampo Duque, D. M., Montoya Rojas, G. A., & Serrato Reyes, J. C. 2016. Documento orientador de alternativas productivas en las áreas objeto de restitución de tierras ubicadas sobre figuras de protección ambiental. Bogotá: Unidad de Restitución de Tierras.
- OIMT - UICN. 2005. Restaurando el paisaje forestal. Introducción al arte y ciencia de la restauración de paisajes forestales. Organización Internacional de las Maderas Tropicales - OIMT. OIMT UICN.
- Ojima, D. S., K. A. Galvin, y B. L. Turner. 1994. «The global impact of land-use change». BioScience 44 (5): 300-304.
- ONU. 1987. Nuestro futuro común o Informe Brundtland. Nairobi: Naciones Unidas,
- Painter, B. M., Alves, A. R., Bertsch, C., Bodmer, R., Castillo, O., Marques, F., Noss, A. 2008. Landscape Conservation. The Amazon Region: Progress And Lessons. Wildlife Conservation. 34.
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J. Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. I., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. & Hayes, D. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. Science 333: 988-93.



Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:
(8) 5928171 Leticia - Amazonas
Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá
www.sinchi.org.co





El ambiente es de todos

Minambiente



- Pascual-Hortal, L. & S. Saura. 2006. Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology* 21 (7): 959-967.
- Pearson, R.G., Raxworthy, C.J., Nakamura, M. & Townsend Peterson, A., 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*. 34 (1): 102-117
- Peña, L. C., Loaiza, A., Catherine, A., Samacá, R., Rodríguez, J. M., Torres, G. I., Arenas, J. C., Vera G. F., López A. G., Murcia, U. G., Melgarejo L. F. & Alonso J. C. 2016. Orientaciones para reducción de la deforestación y degradación de los bosques: Ejemplo de la utilización de estudios de motores de deforestación en la planeación territorial para la Amazonia colombiana. Bogotá, Colombia: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas «SINCHI» y GIZ.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. & Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190: 231-259.
- Pinto, S., Mel, F., Tabarelli, M., Padovesi, A., Mesquita, C., de Mattos S, C., et al. 2014. Governing and Delivering a Biome-Wide Restoration Initiative: The Case of Atlantic Forest Restoration Pact in Brazil. *Forests*, 5, 2212-2229.
- PNUMA. 2005. Evaluación de los ecosistemas del milenio. Informe Síntesis. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. ONU.
- PNUMA, O. UP. 2009. GEO AMAZONIA Perspectivas del Medio Ambiente en la Amazonia.
- PNUMA. 2011. Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Poveda, G., Bunyard, P. & Nobre, C. A. 2009. Sobre la necesidad de un programa de investigación para el sistema Andes Amazonas. *Colombia Amazónica*. 129-142.
- Rabinowitz, A. R. & Nottingham B. G. Jr. Ecology and Behavior of the Jaguar (*Panthera onca*) in Belize, Central America. *Journal of Zoology (London)*. 210: 149-159.
- Renó, V., Novo, E., & María, E. (2016). Forest fragmentation in the Lower Foodplain: Implications for Biodiversity Ecosystema Service Provision to Riverine Populations. (P. S. Thenkabail, Ed.) *Remote Sensing*, 8 (886), 26.
- Ries, L., Fletcher, R. J., Battin, J., & Sisk, T. D. 2004. Ecological responses to habitat edges: mechanisms, models, and variability explained. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(1): 491-522.
- Rincon Ruiz A., E.-D. M., & Tapia, C. D.-A. 2014. Valoración Integral de la Biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos: Aspectos Conceptuales y Metodológicos. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá.
- Robinson, J.G. & Redford, K.H. (compiladores). 1997. *Uso y Conservación de la Vida Silvestre Neotropical*. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- Rojas, A., Herrera, J. & Baez, A. 2014. Análisis y recomendaciones de ordenamiento sectorial, territorial y ambiental para la zona de influencia del Parque Nacional Natural Serranía de Chiribiquete y corredores de conectividad que aporten a la construcción de agendas y acuerdos en el marco de la iniciativa Corazón de la Amazonía”. Informe técnico. Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS).
- Sánchez, E., Torres, M., Palacios, A., Aguilar, M., Pino, S., & Granada, L. 2000. Comparación del NDVI con el PVI y el SAVI como indicadores para la asignación de modelos de combustible para la estimación del riesgo de incendios en Andalucía. *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá, 164-174.



Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co





El ambiente
es de todos

Minambiente



- Sánchez, A. M. 2016. Causas y agentes de deforestación en el Bajo Caguán: Resultados Encuesta a Productores Agropecuarios. Informe técnico. The Nature Conservancy.
- Saunders, D. A. & R. J. Hobbs. 1991. The role of corridors in conservation: what do we know and where do we go? Pages 421-427 in D. A. Saunders & R. J. Hobbs (editors). Nature Conservation 2: the role of corridors. Surrey Beatty and Sons, Sydney, Australia.
- Saura, S. 2013. Métodos y herramientas para el análisis de la conectividad del paisaje y su integración en los planes de conservación. En: De la Cruz, M., Maestre, F. (Eds.), Avances en el análisis espacial de datos ecológicos: aspectos metodológicos y aplicados, pp. 1-46.
- Schelhas J. 1996. Land-Use Choice and forest Patches in Costa Rica. Pp 258-284. En: Forest Patches in Tropical Landscapes, J. Schelhas & R. Greenberg (Eds). Island Press, Washington, D.C. EEUU.
- Schulp C.J., L. S. 2014. Quantifying and mapping ecosystem services: Demand and supply of pollination in the European Union. S. Ecological Indicators, 131.141.
- Segurado, P. & Araujo, M.B. 2004. An evaluation of methods for modelling species distributions. Journal of Biogeography 31: 1555-1568.
- Shaffer, M. L. 1981. Minimum population sizes for species conservation. BioScience 31: 131- 134.
- Sinchi. 2013. Caracterización y tipificación de los sistemas de producción en el área intervenida del departamento del Guaviare. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, Florencia.
- Sinchi. 2014. Zonificación ambiental y ordenamiento de la reserva forestal de la Amazonia, creada mediante Ley 2a de 1959, en la región amazónica colombiana. Informe Final del Convenio 257 de 2014. Volumen V, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, Grupo de Gestión de Información Ambiental y Zonificación del Territorio: Amazonia Colombiana GIAZT, Bogotá, D.C.
- Sinchi. 2016. Síntesis de avances y estudios de caso en la identificación y análisis de motores de deforestación en la Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Grupo de Gestión de Información Ambiental y Zonificación del Territorio: Amazonia Colombiana - GIAZT. Bogotá, D.C.
- Sinchi. 2016. Estudio de los motores: causas directas, agentes y causas subyacentes de la deforestación, en la zona amazónica del Departamento del Meta y del Municipio de Vistahermosa. Informe final de resultados, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, Grupo de Gestión de Información y Zonificación del Territorio: Amazonia colombiana GIAZT, Bogotá, D.C.
- Sinchi. 2017. Iniciativa pública "Conservación de bosques y sostenibilidad en el corazón de la Amazonia". Estrategia de aproximación territorial. Presentación, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "Sinchi" & Proyecto GEF Corazón de la Amazonia, Paisajes de sostenibilidad, Bogotá, D.C.
- Soille, P. & Vogt P. 2008. Morphological segmentation of binary patterns. Pattern Recognition Letters 30, 4:456-459, DOI: 10.1016/j.patrec.2008.10.015.
- Solana G, J., Rincón S, G., Alonso G, C., & García, L. (2015). Utilización de mapas de conocimiento difuso (MCD) en la asignación de prioridades de restauración fluvial: Aplicación al río Esla. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales (41), 367-380.
- Steenmans, C. y U. Pinborg (2000): "Anthropogenic fragmentation of potential semi-natural and natural areas", en Comisión Europea (Ed.): From Land Cover to Landscape Diversity in the European Union.
- Torres Carrascal, R. (21 de septiembre de 2017). Comunicación personal, modelos productivos alternativos. (R. Ocampo G, Interviewer)
- Turner, M. G., Gardner, R. H. & O'Neil, R. V. 2001. Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process. Springer-Verlag, New York.
- Turner, M. & L. Ruscher. 1988. Changes in landscape patterns in Georgia, USA. Landscape Ecology. 1 (4): 241-251.



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co





El ambiente
es de todos

Minambiente



- Turner, B.L., Villar, S.C., Foster, D., Geoghegan, J., Keys, E., Klepeis, P., Lawrence, D., Mendoza, P.M., Manson, S., Ogneva-Himmelberger, Y., Plotkin, A.B., Pe´rez Salicrup, D., Chowdhury, R.R., Savitsky, B., Schneider, L., Schmook, B., Vance, C., 2001. Deforestation in the southern Yucatan peninsular region: an integrative approach. *Forest Ecology and Management* 154, 353–370.
- UICN. 2004. Aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión de corredores en América del Sur. In M. Cracco, & E. Guerrero (Ed.), Taller Regional 3 al 5 de junio. Quito, Ecuador: UICN.
- UNEP. 2011. *Towards a green economy*. Nairobi: UNEP (United Nations Environment Programme).
- Van der Sluis, T., Arts, B., Kok, K., Bogers, M., Gravsholt B, A., Sepp, K., et al. (2018). Drivers of European landscape change: stakeholders' perspectives through Fuzzy Cognitive Mapping. *Landscape Research*, 20.
- Vanegas R, D., & Barón, O. 2015. Zonificación para la priorización de zonas de restauración en las áreas intervenidas de los departamentos de Putumayo, Caquetá, Guaviare y sur del Meta. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "Sinchi", Bogotá, D.C.
- Vanegas, D., Rodríguez, L. A., & Ocampo, R. 2007. Medidas de adaptación a la vulnerabilidad y el cambio climático, de los sistemas productivos en el Macizo de Chingaza. Aspectos metodológicos. Corporación Suna Hisca. Bogotá: Suna Hisca.
- Vanegas, D., Cantor, L., & Ocampo, R. 2010. Métodos participativos. Ajuste de los Planes de Manejo de los PNR en el Departamento del Huila. Corporación Suna Hisca, Ordenamiento ambiental. Neiva: Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM.
- Vanegas, D. E., Murcia U. G., Rodríguez, C. H. & Barón, O. J. 2016. Metodología de zonificación para la identificación de áreas prioritarias de restauración ecológica en el área intervenida de los departamentos de Caquetá, Putumayo, Guaviare y sur del Meta. Versión final. Informe Técnico. Instituto Sinchi. 93pp.
- Vanegas Reyes, D. E. 2017. Lineamientos y criterios para el desarrollo del componente OT del Proyectos Desarrollo Local Sostenible y gobernanza para la Paz. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Vélez Restrepo, L., & Gómez, L. (2008). Un marco conceptual y analítico para estimar la integridad ecológica a escala de paisaje. *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, CLXXXIV (729), 31-44.
- Vergara, L. K. 2017. Análisis de la conectividad del paisaje en las zonas de interés de los Departamentos de Guaviare y Caquetá. Informe técnico. Instituto SINCHI. 39 pp.
- Vila, J., Subirós, D., Varga, L., Llausàs, A., Pascual, A., & Ribas, P. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents Anàls Geografia*, 48, 151-166.
- Vilchez Mendoza, S. J. 2009. Efecto de la composición y estructura del paisaje y del hábitat sobre distintos grupos taxonómicos en un agropaisaje en Matiguás, Nicaragua. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE, Escuela de Post-grado. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Vitousek, P et al..2007. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer Science & Business Media.529
- Vizy, E. K. & K. H. Cook. 2007. Relationship between Amazon and high Andes rainfall, *J. Geophys. Res.*: 112, D07107, doi: 10.1029/2006JD007980.
- Vogt, P., Riitters, K., Iwanowski, M., Estreguil, C., Kozak, J. & Soille, P. 2007. Mapping Landscape corridors. *Ecological Indicators*. 7: 481-488.
- Vogt, P. 2015. Quantifying landscape fragmentation. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE*.
- Vogt, P. & Riitters, K., 2017. Guidos Toolbox: universal digital image object analysis. *European Journal of remote Sensing* 50:1, 352-361, DOI: 10.1080/22797254.2017.1330650.



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co





El ambiente
es de todos

Minambiente



- Volgemann, J.E. 1995. Assessment of forest fragmentation in southern New England using remote sensing and geographic information systems technology. *Conservation Biology* 9(2):439-449.
- Webb N, R. Haskins, L, E.1980. An ecological survey of headlands in the Poole Basin, Dorsel. *England. Biological Conservation* 17-281.
- Wiens, J. A. 1997. Metapopulation dynamics and landscape ecology. En Hanski, I.A. y Gilpin, M.E. (eds). *Metapopulation biology: ecology, genetics and evolution*. Academic Press, San Diego: 43-62.
- Wu, J. 1999. Hierarchy and scaling: extrapolating information along a scaling ladder. *Can. J. Remote Sens.* 25: 367-380.
- World Resource Institute. 2005. *Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: island press.
- WWF, IUCN & UNEP. (1991). *Caring for the Earth. A strategy for sustainable living*.
- Zhang, L., Liu, Y., & Xiaojiang, W. 2017. Forest Fragmentation and Driving Forces in Yingkou, Northeastern China. (V. Terreta, Ed.) *Sustainability* (9), 374.
- Zeller, K.A., McGarigal, K. & Whiteley, A.R. 2012. Estimating landscape resistance to movement: a review. *Landscape Ecology*. 27:777-797.
- Zonneveld, I. 1979. *Land Evaluation and Landscape Science*. ITC. Textbook. Enschede
- Zonneveld, I. 1986. *Lectures of land ecology. Lecture notes N-1. Rural Surveys*. ITC. Enschede.
- Zonneveld, I., R.T, Forman. 1990. *Changing landscapes: an ecological perspective*: Springer-Verlag New York.
- Zonneveld,, I. S. (1995). *Land Ecology: An Introduction to Landscape Ecology as a Base for Land Evaluation, Land Management & Conservation*. Amsterdam: SPB Academic Publishing.
- Zorrilla Miras, P., Santos Martín, F., Gómez Sal, A., Martín-López, B., Palomo Ruíz, I., Montes del Olmo, C., et al. (2012). Análisis espacial de la influencia que los impulsores de cambio han tenido en la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas. *Evaluación de los ecosistemas del Milenio de España. Análisis espacial, Sección V*, 92.



Certificado No. SG 2017000059 A

Investigación Científica para el Desarrollo Sostenible de la Región Amazónica
Colombiana

Sede Principal: Av. Vásquez Cobo entre Calles 15 y 16, Tel: (8) 5925481/5925479 - Tele fax:

(8) 5928171 Leticia - Amazonas

Oficina de Enlace: Calle 20 No. 5 - 44, Pbx: 4442060 Bogotá

www.sinchi.org.co

