

2011

ECORREGIONES Y ECOSISTEMAS DE COSTA RICA: UN ENFOQUE ECOSISTÉMICO



Jorge Fallas

07/01/2011

Contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Transformación de paisaje natural costarricense y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas	2
1.2	De Islas Protegidas a Servicios de los Ecosistemas	6
1.3	Enfoque y objetivos	7
2	La Convención de la Diversidad Biológica y el enfoque por Ecosistemas	10
2.1	Principios Ecosistémicos y gestión de los bienes y Servicios de los Ecosistemas	11
3	¿Qué es un ecosistema?	17
3.1	De componentes bióticos y abióticos a composición, estructura y función	18
3.2	Ecosistemas terrestres: composición, estructura y funcionamiento	22
3.2.1	Dinámica del Ecosistema.....	22
A.	Factores/Atributos Ecológicos Claves	22
B.	Perturbaciones.....	23
C.	Resistencia, Resiliencia, Biodiversidad y Estabilidad del Ecosistema.....	26
E.	Sucesión Natural	30
F.	Integridad del Ecosistema.....	38
3.3	Patrones de Biodiversidad y Hábitats	38
4	Regionalización ecológica y gestión de la biodiversidad.....	48
4.1	Gestión de la biodiversidad y el contexto ecorregional.....	48
4.2	Experiencias internacionales y evolución del concepto	50
4.3	Clasificaciones eco-biológica en Costa Rica.....	54
5	¿Cómo crear mapas de Ecorregiones y de ecosistemas?.....	57
5.1	Enfoques para Delimitar Ecorregiones y Ecosistemas	59
5.1.1	Enfoque Aditivo	60
5.1.2	Enfoque Paisajístico	60
5.1.3	Enfoque Ecosistémico	63
5.2	Consideraciones al Delimitar Ecorregiones	67
6	Ecorregiones y Ecosistemas de Costa Rica: Aspectos Metodológicos	69
6.1	Trabajos previos	69
6.2	Sistema Jerárquico de Clasificación	70
6.3	Factores de Control en el Ecosistema.....	73
6.4	Descripción de los factores de control.....	77
6.4.1	Relieve y unidades morfotectónicas	77

A. Zona Montañosa	79
B. Zona litoral.....	80
C. Llanuras	80
D. Valles y depresiones intermontanas	81
6.4.2 Clima	83
A. Temperatura y Pisos Térmicos	84
B. Precipitación Media Anual	87
C. Meses secos.....	91
6.4. 3 Uso-cobertura de la tierra	92
7 Ecorregiones	95
7.1 Ecorregiones: Límites Ecofuncionales del Territorio Costarricense	96
7.1 Descripción de las ecorregiones	99
7.2 Marco Ecorregional y Gestión del Territorio	105
8 Ecosistemas	108
8.1 Descripción de los ecosistemas	127
8.2 Naturalidad, grado de alteración y vulnerabilidad de los ecosistemas	127
8.3 Ecosistemas y Riqueza de Especies.....	130
8.4 Ecosistemas y riqueza hídrica.....	132
9 Datos, información y la gestión ecosistémica en Costa Rica	133
10 Referencias	136
11 Anexo	137

CAPITULO UNO

1 Introducción

Costa Rica, es un país biológicamente privilegiado, con apenas 51.1000 Km² de superficie terrestre, se espera que posea sobre medio millón de especies, lo cual representa aproximadamente el 3,6 % de las 13 a 14 millones de especies esperadas para el planeta. A nivel mundial, el país se ubica entre las 20 naciones con mayor número de especies en el planeta, pero si se analiza su densidad (# especies/área), ocupa uno de los primeros lugares (Obando, 2007). Al 2005, en el país se habían identificado 90.038 especies, las cuales representan el 4,5% de la totalidad de especies conocidas en el Planeta hasta dicho año; de estas, el grupo más diverso es el de los insectos con 66.946 especies (74,4%). Los grupos mejor conocidos son los vertebrados (79%) y las plantas (95%) y su distribución por grupo taxonómico es el siguiente: 11.451 especies de plantas y 2436 especies de vertebrados conformados por 916 especies de peces de agua dulce, 862 aves, 239 mamíferos, 226 reptiles y 183 anfibios.

A la llegada de los españoles en 1520 se estima que un 95% del territorio nacional estaba cubierto por ecosistemas boscosos continuos desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 3.100 msnm. A partir de dicho momento, el desarrollo económico del país se sustentó en el aprovechamiento no sostenible del capital natural; la tala y quema del bosque dio paso a ecosistemas agropecuarios y pequeños núcleos de población. Al momento de la independencia en 1821 se estima que el 90% del territorio nacional estaba despoblado y las zonas con mayor desarrollo agropecuario se encontraba en la depresión Tectónica Central (lo que hoy es San José, Alajuela, Heredia y Alajuela), la desembocadura de río Matina, la zona ubicada entre Puntarenas y Esparza, los alrededores de Nicoya, Santa Cruz, Filadelfia y el corredor comprendido por Liberia, Bagaces y Cañas (Hall, 1984). Hasta aproximadamente la década del 80-90 del siglo pasado, el ecosistema forestal no tenía valor en sí mismo y solo eran aprovechadas algunas de su maderas preciosas.

La tierra adquiría su valor con la tala del bosque y su posterior conversión a un ecosistema agropecuario. Este proceso daba lugar a lo que se conocía como “mejoras”, las cuales permitían realizar transacciones económicas entre actores económicos interesados en adquirir tierras. El proceso de colonización y conversión de bosque a cultivos, pastos y núcleos de población continuó hasta cubrir el 36,5% del territorio nacional para el año 1940-50. Para esta fecha, la mayor parte de los bosques de la vertiente Pacífico Norte y Central (e.g. Valle Central, San Ignacio, Turrubares, San Mateo, Guanacaste con excepción de cerros de la Península de Nicoya) ya habían desaparecido o habían sido degradados por la extracción selectiva de especies maderables o de la fragmentación. En el Pacífico Sur, la extensión de bosque continuo se había reducido drásticamente en los valles de El General (San Isidro, Buenos Aires y Palmar) y de Coto Brus (San Vito y alrededores). En la vertiente Caribe, el bosque dio paso a pastos y plantaciones de banano en el corredor Guápiles, Siquirres, Matina y Limón. En la zona Norte, la expansión agropecuaria se dio los alrededores de Upala y los Chiles.

Existen múltiples estimaciones de cobertura forestal y pérdida de bosque en Costa Rica entre 1940-50 y 2000 (Kleinn, Corrales, and Morales, 2002); sin embargo la evidencia indica que a partir de 1985-90 el patrón de deforestación se revirtió (Fig. 1) y que para el 2005, Costa Rica pasó de ser uno de los países con una de las tasas más altas de deforestación en América Latina (aproximadamente 52.000 ha/año) a un país con una matriz forestal (Calvo-Alvarado y Sánchez-Azofeifa, 2006). La deforestación acelerada observada entre 1950 y 1985-90 obedeció al proceso conversión de bosque a cultivos y principalmente pastos para suplir las necesidades del modelo agroexportador fomentado por el gobierno de aquella época.

1.1 Transformación de paisaje natural costarricense y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas

Ante la pérdida acelerada del capital natural de país, la respuesta del gobierno costarricense y de la sociedad civil fue la creación de áreas silvestres protegidas (ASP) (Fig.2). La base legal para el establecimiento y desarrollo de las ASP se inicia en 1955 con la Ley Orgánica del Instituto Costarricense de Turismo (ICT) y se complementó en las últimas décadas del siglo XX con la promulgación de leyes, decretos y manuales de procedimientos orientados a regular el uso del capital natural, como son: Ley Forestal y sus modificaciones (1969, 1996, 1998), Ley de Parques Nacionales (1977), Ley de Conservación de la Vida Silvestre (1992), Ley Orgánica de Ambiente (1995) y Ley de Biodiversidad (1998); la cual oficializa la gestión de las ASP bajo el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC).

En este esquema, las ASP forman parte de un sistema más amplio, que integra tanto la gestión de las ASP como de los recursos naturales en los espacios que rodean a las ASP, en lo que se denomina áreas de conservación. Sin embargo, a pesar de los avances alcanzados en el país en cuanto al marco legal e institucional, todavía no se dispone de una definición clara sobre lo que se reconoce como el sistema nacional de áreas protegidas, sus objetivos y metas de conservación. El estudio “Evaluación de la situación actual de la biodiversidad y la sostenibilidad/representatividad ecológica del Sistema de Áreas Silvestres Protegidas” (2006), propuso la siguiente definición del sistema de áreas protegidas de Costa Rica¹ (SAP): *“la integración de todas las ASP legalmente establecidas en el país bajo diferentes categorías de manejo, así como la interrelación con otras medidas de conservación que se realizan fuera de las ASP, que tienen como finalidad asegurar que el sistema cumpla con las características de representatividad, comprensividad, balance, suficiencia, coherencia, complementariedad, y consistencia”*.

¹ Esta definición se fundamentó en los conceptos y criterios que en el ámbito internacional, se tienen sobre lo que debe ser un sistema de áreas protegidas, así como en el marco legal existente en el país.

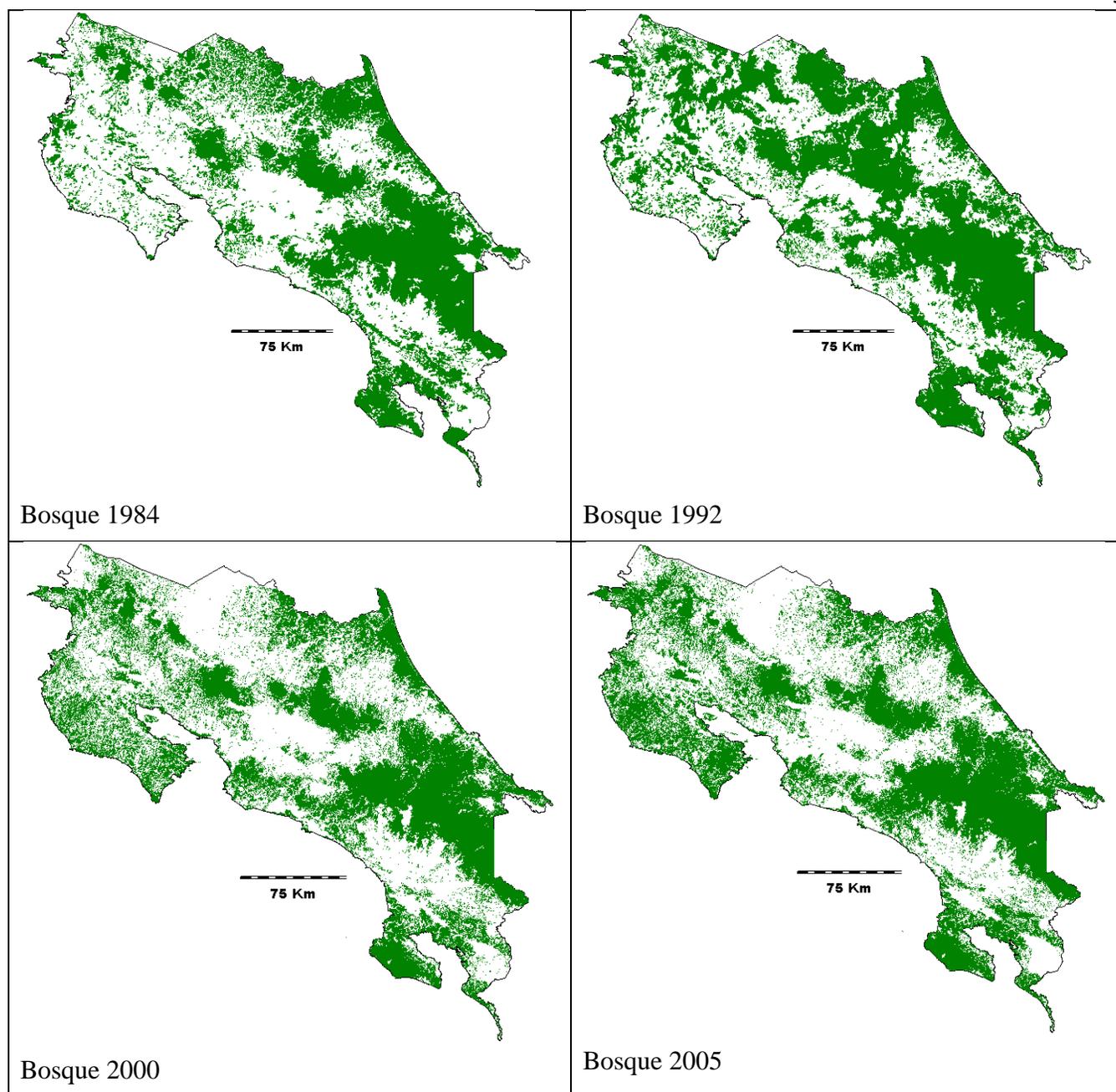


Figura 1: Evolución de la cobertura forestal de Costa Rica y sistema nacional de áreas protegidas. El término bosque incluye bosque maduro, secundario, de palmas y mangle. Fuente: Mapas oficiales de cobertura forestal de 1984, 1992, 2000 y 2005.

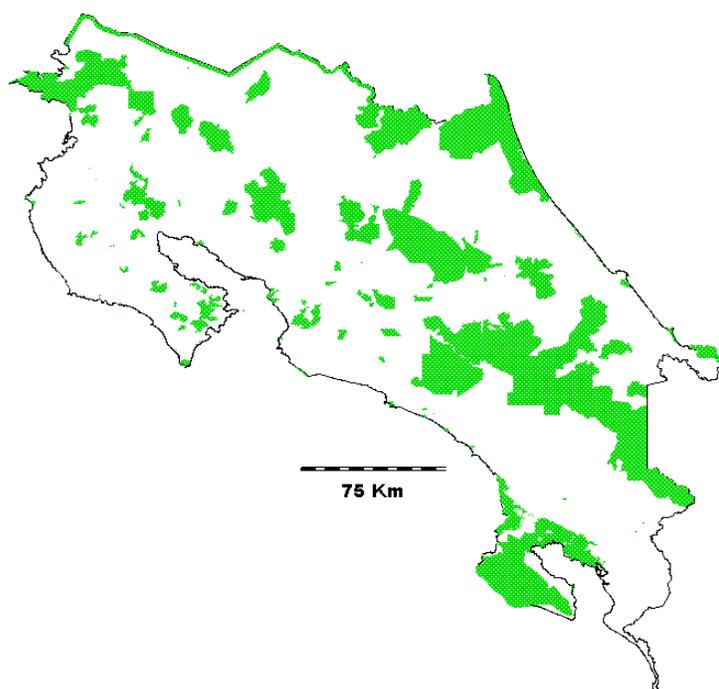


Figura 2: Áreas protegidas de Costa Rica. Fuente: SINAC-MINAET.

Existen múltiples definiciones e interpretaciones de la palabra “conservación”; sin embargo una de las más ampliamente aceptadas es la del *World Resource Institute* (WRI) y que reza²: "es la utilización sostenible de la biosfera por los seres humanos con el fin de maximizar los beneficios, a la vez que mantiene el potencial necesario para las aspiraciones de futuras generaciones". Esta definición expresa claramente que el objetivo de la conservación de los recursos vivos debe ser el mantener los procesos ecológicos esenciales y los sistemas de apoyo a la vida; la preservación de la diversidad genética y la garantía del uso en el largo plazo de las especies y los ecosistemas.

De forma más general, la convención de Biodiversidad Biológica (CBD) presupone la adopción de políticas y medidas de gestión que aseguren a perpetuidad los recursos terrestres y marinos de los que depende el ser humano así como el mantenimiento de la diversidad biológica a nivel global. Esto incluye actividades tales como la protección y restauración de especies en peligro de extinción, el uso cuidadoso y/o reciclaje de recursos minerales escasos, el uso racional de recursos energéticos y una utilización sostenible de tierras y recursos vivos. La conservación se sustenta en un conocimiento de las relaciones entre los seres vivos y su entorno natural; sin embargo implica más que ciencia, pues incluye los sentimientos, creencias y actitudes de los diferentes actores; aspectos que pueden ser complementarias ó divergentes.

A lo largo de los años, la riqueza biológica original del país ha sido drásticamente reducida; al 2005 casi la mitad del territorio nacional corresponde a ecosistemas antrópicos conformados mayormente por pastos, cultivos y áreas urbanas (Calvo-Alvarado y Sánchez-Azofeifa, 2006). Como se indicó

² <http://www.wri.org/publication/content/8520>

previamente, la gestión del territorio nacional no ha sido planificada con una visión de largo plazo y menos aún con un enfoque ecosistémico³. Sin embargo la creación de áreas protegidas a partir de la década del 60 del siglo pasado y posteriormente del Sistema Nacional de Áreas de Conservación en 1990, ha permitido designar el 25,3% de la superficie continental del país como sitios dedicados a conservar muestras de la biodiversidad costarricense (Sistema Nacional de Áreas de Conservación del Ministerio de Ambiente y Energía, 2007). Sumando a este valor las áreas bajo conservación temporal se tiene que el 31,2% del país se encuentra bajo algún régimen de protección de la biodiversidad y de los bienes y servicios que proveen dichos ecosistemas.

Aun cuando, inicialmente, dicha iniciativa fue adoptada como una medida para mitigar la pérdida de bosque y de sus recursos asociados y tenía como fin “proteger” espacios naturales relativamente “intactos” y con posibilidad de mantener la estructura, composición y función de los ecosistemas; los retos del siglo XXI requieren de una gestión territorial sustentada en el elemento ecológico como base para el desarrollo del país. Bajo esta premisa, el ecosistema se convierte en la unidad fundamental que provee bienes (e.g. madera, agua, arroz, carne, leche) y servicios (e.g. regulación de procesos hidrológicos) a la sociedad en el corto, mediano y largo plazo. La visión de “conservación del ambiente” se justifica desde una perspectiva ética, social y económica; sin embargo bajo este nuevo paradigma se convierte en el elemento central de la gestión del territorio y por ende del desarrollo nacional; asegurando en última instancia, en un mejor nivel de vida para la población costarricense.



A. Hotel en el Pacífico Sur de Costa Rica.



B. Aves en río Tempisque.

La diversidad vegetal y animal son dos expresiones de la estructura y función de los ecosistemas que son convertidos en capital natural al utilizarse para la recreación por turistas. A. Pacífico Sur de Costa Rica. B. Río Tempisque, Pacífico Norte de Costa Rica.

³ COP 5 Decision V/6- Ecosystem approach, <http://www.cbd.int/decision/cop/?id=7148>

1.2 De Islas Protegidas a Servicios de los Ecosistemas

La teoría ecológica indica que la distribución y los límites de los ecosistemas no son únicos y que más bien responden a los objetivos del análisis o a los criterios utilizados para su delimitación (Josse et.al., 2003; Olson et.al., 2001). Por ejemplo, el límite del ecosistema “bosque seco” puede ser diferente para un botánico, un ornitólogo, un ecólogo de comunidades, un ganadero o un político. Esta diversidad de enfoques disciplinarios, asociados a la complejidad biótica y abiótica del país dificulta crear “ecosistemas universales” o sea unidades que satisfagan los requerimientos de los diferentes actores involucrados en el uso y gestión de los bienes y servicios de los ecosistemas.

Es importante tener claridad que el objetivo de crear un mapa de ecorregiones y ecosistemas para Costa Rica es cuantificar y monitorear los bienes y servicios que proveen, para luego proponer mecanismos que aseguren la distribución de los beneficios de manera equitativa y justa a la sociedad costarricense. El agua, es quizás el bien ecosistémico mejor valorado por la sociedad; ya que es utilizada para consumo humano, riego, navegación, recreación y generación hidroeléctrica. Sin embargo, dicho servicio no está circunscrito a un ecosistema particular sino más bien a una cuenca hidrográfica, la cual puede incluir una multiplicidad de ecosistemas. Cada ecosistema tiene sus propias características bióticas y abióticas y una capacidad diferenciada de producir bienes y servicios.

Los bienes y servicios de los ecosistemas generan una serie de beneficios para la población costarricense, pero de manera paradójica, las zonas donde se generan dichos bienes y servicios cuentan con los índices de desarrollo social y económico más bajos del país (e.g. Talamanca, Osa, Tortuguero). Por esta razón se requiere de un modelo de gestión territorial que retribuya a aquellos propietarios que mantienen los ecosistemas y de esta manera acortar la brecha social que existe en el país.

La gestión del territorio con una visión de conservación-desarrollo requiere de un enfoque integral y sistémico del territorio nacional, el cual incluye las ASP, los territorios indígenas, iniciativas de conservación privadas, los corredores biológicos, el sistema de pago por servicios ambientales, las ciudades, el turismo, la industria, la agricultura; y en general, toda actividad económica que sustente el modelo de desarrollo del país.

La viabilidad ecológica de la “Conservación de la biodiversidad⁴” a nivel nacional depende de una gestión efectiva, eficiente y oportuna de los bienes y servicios de los ecosistemas que se manifiesten en niveles óptimos de conservación-desarrollo. Bajo esta premisa, el sistema nacional de Áreas Silvestres Protegidas (ASP) debe considerarse como una inversión de capital natural que opera en un contexto territorial más amplio, el cual admite multiplicidad de usos y contempla distintas escalas espaciales y temporales.

⁴ La conservación es el conjunto de medidas dirigidas a la protección, conocimiento y uso sostenible de los ecosistemas, las especies y sus genes, con el fin de lograr los mayores beneficios actuales y potenciales para la humanidad, manteniendo los procesos ecológicos que sustentan la vida (implica que las tasas de extracción de los servicios renovables estén siempre dentro de la capacidad de regeneración -tasa de renovación- de los ecosistemas que los producen).

A través de *un enfoque integral de la conservación para el desarrollo*, se espera mantener y/o restaurar los procesos ecológicos que garantizan la provisión de bienes y servicios vitales para el bienestar de la población costarricense. Este paradigma implica mejorar la interrelación y coordinación de las acciones de gestión en todo el territorio nacional, incorporando las dimensiones ecológica, social y económica, para lo cual es indispensable contar con una institucionalidad con visión intersectorial, integral y participativa, que involucre a todos los actores sociales y económicos.

Las actuaciones sustentadas en los ecosistemas, su biodiversidad, resiliencia y capacidad de brindar bienes y servicios a la sociedad costarricense permitirán crear por un nuevo modelo de desarrollo. Esto será posible mediante la adopción de una serie de medidas dirigidas a entender y actuar bajo los principios de respeto a la diversidad biológica, la capacidad de carga de los ecosistemas, el mantenimiento del capital natural, la vinculación entre conservación y bienestar social, el manejo adaptativo y la incorporación del concepto de adaptación al cambio y la incertidumbre como base de la planificación del territorio.

La protección de los ecosistemas naturales en parques nacionales y otras áreas protegidas es necesario sin embargo no evitará la influencia de factores externos como el cambio climático o la contaminación arrastrada por el aire y el agua (citas). Además, la lenta pero continua pérdida de terreno que experimentan las áreas naturales no protegidas significa que probablemente exigirán una gestión más activa para mantener sus funciones ecológicas tales como el control de especies exóticas, la manipulación de niveles de agua en humedales e incendios periódicos controlados en hábitats forestales (citas). Esta clase de intervenciones son necesarios sin embargo pueden ser también peligrosas, pues todavía desconocemos el funcionamiento de la mayor parte de los ecosistemas.

1.3 Enfoque y objetivos

El objetivo primario del este documento es analizar los compromisos de Costa Rica en el marco de la Convención de la Diversidad Biológica, la Ley Orgánica del Ambiente, la Ley de Biodiversidad y el nuevo Plan estratégico del SINAC. Se espera que el documento sirva de base para proponer un nuevo modelo de gestión de los bienes y servicios ecosistémicos basado en una gestión territorial con una visión de ecorregión y ecosistema que considere tanto las áreas protegidas como los espacios privados que las rodean de tal forma que se superen las barreras identificadas hasta la fecha y que le permita al país mantener su liderazgo mundial en el campo de la conservación y el desarrollo sostenible. En el contexto de la gestión de los bienes y servicios de los ecosistemas el presente trabajo se podrá utilizarse para:

- Como marco de referencia para la planificación, gestión y monitoreo del territorio costarricense.
- Proveer un marco institucional para la gestión de la biodiversidad con una visión ecosistémica.
- Valorar los efectos de futuras acciones/decisiones sobre los ecosistemas; en especial sobre aquellos más frágiles o amenazados.
- Identificar posibles escenarios de desarrollo que sean justos, equitativos y sustentados en los bienes y servicios que proveen los ecosistemas.
- Identificar vacíos de datos, conocimiento y guiar la investigación requerida para sustentar un desarrollo a largo plazo en el marco de una gestión adaptativa.

- Proveer un marco de referencia espacial para identificar acciones prioritarias.
- Proponer y evaluar escenarios de adaptación al cambio climático.
- Analizar el marco normativo, institucional y de gestión del capital natural.
- Establecer una línea base para futuras evaluaciones de la biodiversidad.

El informe se ha estructurado en 11 capítulos y un anexo. En la primera sección se hace un breve recuento de la pérdida de cobertura forestal en el país y de la respuesta gubernamental ante la pérdida de biodiversidad creando Áreas Silvestres Protegidas (ASP), luego se describe la limitación del modelo de conservación sustentado en “islas protegidas en matrices transformadas” para finalmente concluir con el enfoque y objetivos del estudio. En la sección 2 se analiza la relación entre la Convención de Diversidad Biológica y el enfoque por ecosistemas; enfatizando aquellos principios ecológicos relacionados con la gestión de los bienes y servicios del ecosistema y que pueden orientar la formulación de políticas y la gestión gubernamental territorial con el fin de mantener la estructura, composición y función de los ecosistemas tanto en áreas protegidas como privadas.

La tercera sección brinda una base conceptual sobre los ecosistemas terrestres, su composición, estructura y funcionamiento. Se inicia con la definición del concepto de ecosistema para luego describir e ilustrar con datos provenientes de estudios internacionales y nacionales los conceptos de factores/atributos claves, perturbaciones, resistencia y resiliencia; sucesión natural, biodiversidad y estabilidad del ecosistema y patrones de biodiversidad y productividad primaria.

La sección cuatro presenta una revisión del marco teórico de la “regionalización ecológica” como herramienta para el mapeo y la gestión de la biodiversidad-recursos naturales en ecosistemas naturales, seminaturales y culturales, tanto en el ámbito internacional como nacional. Se describe la evolución del concepto a nivel mundial en los últimos 80 años en cuanto a su caracterización, objetivos y métodos de análisis. Posteriormente, se describen los trabajos realizados en Costa sobre mapeo “eco-biológico” en los últimos 100 años. Seguidamente, en la sección cinco se describen los enfoques metodológicos aceptados por la comunidad científica internacional y nacional para delimitar ecorregiones utilizando los enfoques paisajístico y ecosistémico inductivo y deductivo, la sección concluye con algunas consideraciones prácticas que subyacen a todos los métodos utilizados para definir ecorregiones/ecosistemas en un territorio o espacio geográfico.

La sección seis describe el planteamiento metodológico y los datos utilizados para delinear las ecorregiones y ecosistemas de Costa Rica utilizando un enfoque paisajístico-ecosistémico-funcional. Las secciones ocho y nueve ofrecen una breve descripción de las ecorregiones y ecosistemas, respectivamente, considerando aspectos biofísicos, estado de conservación, posibles bienes y servicios que pueden ofrecer y las amenazas que enfrentan.

La sección nueve discute brevemente la necesidad de contar con una “base de conocimiento” así como series de datos históricos y actuales que puedan transformarse en información y conocimiento para la gestión exitosa de los ecosistemas en Costa Rica. También enfatiza la necesidad establecer un sistema de

monitoreo que provee periódicamente datos sobre la composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas como un insumo para la gestión adaptativa de las áreas protegidas y su entorno en Costa Rica. La sección diez lista las referencias utilizadas para preparar el documento y la sección de anexos ofrece fichas simplificadas de cada ecorregión de Costa Rica.

CAPITULO DOS

2 La Convención de la Diversidad Biológica y el enfoque por Ecosistemas

El enfoque por ecosistemas tiene su origen en el Convenio sobre Diversidad Biológica adoptado por la “Conferencia de las Partes” celebrada en Río de Janeiro, Brazil en 1992 (<http://www.cbd.int/history/>). Sin embargo, el enfoque como tal fue adoptado formalmente en la segunda Conferencia de las Partes celebrada en Yakarta; Indonesia en noviembre de 1995 y su descripción operacional y conceptual fue adoptada en la quinta Conferencia de las Partes celebrada en Keynia en el año 2000. El enfoque debe basarse, en lo posible, en la aplicación de metodologías científicas que reconozcan los diferentes niveles de organización biológica; los cuales comprenden la estructura, composición, los procesos, las funciones y las interacciones entre los organismos y su ambiente; reconociendo que el ser humano es un componente del ecosistema, por lo que en el enfoque incluye los procesos socioeconómicos.

La Conservación de Diversidad Biológica (CDB)⁵ tiene tres objetivos: la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes y la distribución equitativa de los beneficios derivados del uso de los bienes y servicios de los ecosistemas. En otras palabras, la CBD propone el uso sostenible del capital natural en un marco de conservación de ecosistemas, especies y genes. Esta convención incluye temas tales como áreas protegidas, restauración de ecosistemas, especies invasoras, conocimiento tradicional de comunidades indígenas y locales, conservación ex situ, incentivos, investigación, entrenamiento, educación pública, evaluación de impactos, acceso a recursos genéticos, biotecnología y recursos financieros. Sin embargo, a diferencia de otras convenciones con la Convención Internacional sobre el Tráfico de Especies de Flora y Fauna Amenazadas (CITES), o la convención de Bonn sobre Especies Migratorias (CMS), la CBD no incluye listas de especies a proteger ni tampoco requiere que los países signatarios propongan a la secretaría espacios de interés internacional como lo estipula la convención Ramsar sobre Humedales.

En el caso de la CBD, la directriz sobre protección de especies y áreas de interés biológico es más bien escueta. El artículo 8 indica que los países signatarios deben establecer un sistema de áreas protegidas orientadas a la conservación de la biodiversidad, promover la protección de ecosistemas y hábitats naturales y mantener poblaciones de especies viables en sus alrededores así como crear o aplicar la legislación necesaria para proteger las especies y poblaciones amenazadas.

Esta conceptualización busca incorporar en la gestión de los componentes vivos del ecosistema consideraciones económicas y sociales relevantes para la provisión de los bienes y servicios del ecosistema. De esta manera, la gestión de la biodiversidad tiene como pivote central el ecosistema y los servicios que puede proveer en un contexto socioeconómico particular, con el fin de lograr desarrollar un sistema de gestión viable que logre un uso sostenible y equitativo del capital natural (tierra, agua,

⁵ <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-un-es.pdf>

organismos vivos, belleza escénica).

La CDB, de la cual Costa Rica es signataria, indica que cada país debe implementar estrategias para la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica (art. 6a) e integrar hasta donde sea posible y apropiado, la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica en los planes sectoriales y transectoriales, programas y políticas (art. 6b). La implementación exitosa de cualquier medida de gestión de los bienes y servicios de los ecosistemas terrestres depende en gran medida del conocimiento sobre la distribución de especies y de la biodiversidad a nivel local, regional y nacional. A la fecha, existe un conocimiento limitado del estado de conservación de la mayoría de las especies, especialmente a niveles de organismos menores (e.g. insectos, hongos y líquenes). Por esta razón, una alternativa para un programa de conservación exitoso es cambiar el enfoque de proteger especies por el de conservar hábitats y ecosistemas (Noss, 1990; Zacharias and Roff, 2000). La identificación de hábitats a partir de sus atributos abióticos (e.g. clima, suelo, vegetación, topografía, vegetación) debería, al menos en teoría, permitir identificar y monitorear los componentes bióticos del sistema. Sin embargo no siempre existe una relación univoca entre biodiversidad y los componentes bióticos y abióticos del sistema.

2.1 Principios Ecosistémicos y gestión de los bienes y Servicios de los Ecosistemas

El enfoque ecosistémico parte de la premisa que los ecosistemas proveen bienes y servicios⁶, lo cual es ampliamente aceptado por académicos, políticos y los gestores-usuarios de dicho capital natural. Sin embargo, en el mundo real, los ecosistemas poseen diferentes tamaños, formas y en la mayoría de los casos sus límites son difusos y dependen de la escala a la cual se analiza un determinado proceso. Por otro lado, para inventariar, monitorear, valorar y gestionar dichos bienes y servicios es necesario delimitar en el espacio y tiempo estas unidades discretas denominadas “ecosistemas”. De los 12 principios, existen siete que merecen especial atención en la gestión de los bienes y servicios de los ecosistemas.

- **Principio 3:** *Los administradores de los ecosistemas deben tener en cuenta los efectos (reales y posibles) de sus actividades en los ecosistemas adyacentes y en otros ecosistemas.*

El enfoque por ecosistemas parte de la premisa que los mismos deben gestionarse para mantener el flujo de bienes y servicios a la sociedad. Sin embargo, también reconoce que los mismos son sistemas abiertos e interconectados en el tiempo y el espacio y por tanto los efectos de las acciones naturales y antropogénicas raras veces se circunscriben al sitio de impacto a un solo sistema. Para asegurar una gestión sostenible de los ecosistemas es necesario contar con indicadores ecológicos sensibles a cambios en la composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Esto permitirá dar un seguimiento a los cambios positivos y negativos y realizar un manejo adaptativo acorde con las posibles causas que puedan estar ocasionando dichos cambios.

⁶ COP 5 Decision V/6- Ecosystem approach, <http://www.cbd.int/decision/cop/?id=7148>



La construcción de estructuras como gaviones para estabilizar una sección del cauce puede ocasionar un cambio en la dirección de la corriente del río y erosionar otra sección del cauce como el presente ejemplo. Río Tempisque.

- **Principio 5:** *A los fines de mantener los servicios de los ecosistemas, la conservación de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas debería ser un objetivo prioritario del enfoque por ecosistemas.*

La composición y estructura de los ecosistemas son elementos fundamentales para su funcionamiento y determinan en gran medida su capacidad para adaptarse a cambios en su entorno abiótico en el tiempo. Para mantener un ecosistema sano y productivo es necesario conservar sus interacciones y procesos ó cuando sea necesario restaurarlos. El enfoque reconoce que el bienestar humano está estrechamente ligado al funcionamiento y capacidad de recuperación del ecosistema y no solo la protección de sus especies.
- **Principio 6:** *Los ecosistemas se deben gestionar dentro de los límites de su funcionamiento.*

A la fecha, los límites y aún los umbrales de funcionamiento de la mayoría de los ecosistemas se desconocen; sin embargo la experiencia y la teoría ecológica nos indican que ningún sistema natural o antropogénico debe someterse a una exigencia superior a su capacidad de recuperación. Una forma de dar seguimiento de este principio es adoptar bioindicadores que permitan monitorear el grado de perturbación del ecosistema y su capacidad de recuperación (resistencia y resiliencia) considerando aspectos tales como el tipo de perturbación, su magnitud, intensidad y frecuencia. Al gestionarse un ecosistema debe reconocerse que sus límites no son estáticos y que además dependen de condiciones particulares del sitio o localidad donde se encuentra el ecosistema así como de su historia. Dado el nivel de incertidumbre actual, es aconsejable adoptar una gestión basado en el principio precautorio y en un manejo adaptativo.
- **Principio 7:** *El enfoque por ecosistemas debe aplicarse a las escalas espaciales y temporales*

apropiadas.

La escala espacial y temporal variará dependiendo del bien o servicio que se esté gestionando. Desde el punto de vista ecológico, existirán procesos de grano fino (escala local) que tendrán lugar completamente en un ecosistema; sin embargo, otros procesos de grano grueso abarcarán un área mayor (e.g. paisaje) y por lo tanto se les deberá dar un seguimiento transversal, pues posiblemente se extienden por varios ecosistemas. En la gestión de los bienes y servicios de los ecosistemas, sus administradores deben reconocer que la respuesta del ecosistema no es lineal y que el impulsor del cambio puede encontrarse a kilómetros de distancia.

A continuación se citan dos estudios recientes que ilustran este aspecto. Rainwater, et al. (2007) analizaron 25 muestras de escamas caudales de *Cocodrilus acutus* analizadas (1 escama por cada 25 individuos) en Costa Rica (río Grande de Tárcoles) en busca de metales y organoclorados (OC). Sus resultados indican que encontraron múltiples metales (cadmio, cobre, plomo y zinc), siendo el mercurio el metal predominante. También detectaron organoclorados (OC) incluyendo endrin, methoxychlor y metabolitos de DDT (p,p'-DDE y p,p'-DDT). Las concentraciones medias de metales y de OC encontradas en el estudio fueron superiores a las reportadas previamente para esta especie en Norte, Centro y Sur América; y para Costa Rica, las concentraciones de OC fueron superiores a las reportadas previamente para otras especies de vida silvestre.

Klemens et al. (2003) analizaron muestras de tejidos de anfibios, tortugas y ratones colectados en el sector Santa Rosa así como aves residentes (principalmente paseriformes) de Santa Rosa, Pitilla y Maritza (Área de Conservación Guanacaste) en busca de organoclorados (OC). Seis de los 39 anfibios (tres especies de ocho), tres de las seis tortugas (dos especies), uno de ocho ratones (una especie) y 19 de 55 aves (cinco de siete especies) contenían OC en niveles de hasta 580 ng/g. Los compuestos más frecuentemente detectados fueron metabolitos de DDT (p,p'DDE y p,p'DDD; 23 de 108 organismos). Dieldrín, delta-BHC, heptacloro, p, p'DDD, y endosulfan II se encontraron en al menos cuatro organismos, mientras que otros ocho OC fueron encontrados en al menos un organismo. Los autores indican que la posible fuente de los OC es su transporte atmosférico de campos agrícolas presentes en la vecindad de las áreas protegidas del Área de Conservación Guanacaste.

Dichos estudios ilustran que para mantener la viabilidad ecológica de los ecosistemas no basta con preservar un espacio geográfico sino que debe analizarse un entorno mayor, atendiendo a las relaciones ecológicas derivadas de la presencia de múltiples usos de la tierra.



Vista hacia la sección Pacífica del Parque Nacional Volcán Tenorio, Guanacaste. En el primer plano se observan los pastos y en el fondo el bosque del P.N. Tenorio. Observe el efecto del viento alisio sobre la cima de la montaña, el cual crea una formación vegetal de bosque nuboso. En este paisaje pecuario-forestal el ecosistema pecuario puede gestionarse a nivel de finca y utilizando una escala temporal acorde con el ciclo de vida de los pastos sin embargo el bosque de la parte superior debe gestionarse como un continuo y en una escala temporal de cientos de años.

- **Principio 8:** *Habida cuenta de las diversas escalas temporales y los efectos retardados que caracterizan a los procesos de los ecosistemas, se deberían establecer objetivos a largo plazo en la gestión de los ecosistemas.*

Los procesos que definen la cantidad y calidad de los bienes y servicios que proveen los ecosistemas se caracterizan por operar en diversas escalas temporales y espaciales y además en algunos casos su respuesta a la intervención natural y/o humana es retardada. Esto ofrece un reto a los planificadores y tomadores de decisiones que con frecuencia favorecen las acciones a corto plazo y los beneficios inmediatos. Por esta razón debe adoptarse una gestión adaptable que fortalezca la capacidad institucional de detectar cambios de largo plazo y baja frecuencia en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. Un requisito para el éxito en la gestión a largo plazo es contar con un marco jurídico, de políticas e instituciones estables.

- **Principio 9:** *En la gestión debe reconocerse que el cambio es inevitable.*

El cambio es una de las características intrínsecas de los ecosistemas naturales y culturales. Dado que los cambios no son constantes ni en tiempo ni en espacio y que además son difíciles de predecir, los objetivos de gestión adaptativa deben apuntar a medir, entender y mantener los procesos ecológicos naturales. Esto es de particular importancia en ecosistemas frágiles o únicos y sujetos a la presión de agentes externos tales como el cambio de uso-cobertura, la presencia de fenómenos ambientales extremos (e.g. avenidas, incendios) ó procesos globales como la variabilidad y el cambio climático. La gestión de los ecosistemas debe sustentarse en un proceso de aprendizaje que reconozca la capacidad de adaptación del ecosistema y que permita adaptar las políticas, métodos y prácticas particulares a las condiciones bióticas, abióticas y socioeconómicas en las cuales se gestionan los bienes y servicios que provee el ecosistema.

- **Principio 10:** *En el enfoque por ecosistemas se debe procurar el equilibrio apropiado entre la conservación y la utilización de la diversidad biológica y su integración.*

Los seres humanos dependen de la salud de los ecosistemas naturales y culturales. En el pasado, los responsables de la gestión de los componentes de la biodiversidad distinguían entre espacios protegidos y no protegidos; sin embargo al adoptarse el enfoque por ecosistemas se reconoce que existe una relación entre los elementos y procesos de los ecosistemas, sean estos espacios legalmente protegidos o no.

El enfoque por ecosistemas parte de la premisa que es necesario conservar la diversidad biológica para lograr una utilización sostenible y equitativa de sus componentes en el tiempo y espacio. La designación de áreas o espacios geográficos protegidos no es incompatible con el enfoque y por el contrario es uno de los mecanismos con que cuentan los gobiernos para gestionar su capital natural. En este sentido, para el desarrollo de políticas ambientales y planes de gestión del capital natural, Kremen (2005) propone lo siguiente:

- A. Identificar los proveedores de los bienes/servicios clave del ecosistema (e.g. biodiversidad, agua, regulación de avenidas).
- B. Determinar los diversos aspectos de la estructura/composición de la comunidad que influyen el funcionamiento del ecosistema en paisajes actuales, dando especial atención a las respuestas compensatorias de la comunidad que estabilizan el funcionamiento o a secuencias de extinción no aleatorias que rápidamente la debilitan.
- C. Evaluar los factores ambientales claves que influyen en la provisión de los bienes y servicios
- D. Determinación y medición de la escala espacio-temporal a la cual operan tanto los proveedores como los servicios.



Estos campesinos de la cuenca media del río Pejibaye en el Pacífico Sur dedican una pequeña porción de su finca a cultivos de subsistencia. Esto detiene el proceso de sucesión natural, el cual crearía un bosque como el que se aprecia en el fondo de la foto, pero les provee de los recursos que requieren para alimentar a sus familias.

CAPITULO TRES

3 ¿Qué es un ecosistema?

El ecosistema es un concepto abstracto definido como “unidad funcional relativamente homogénea de tamaño variable conformada por seres vivos --incluidos los humanos-- que interactúan entre sí y con el ambiente (agua, energía, nutrientes) a una escala espacio-temporal particular” (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). Odum (1971) lo definió como “una unidad de un sistema que incluye los organismos (la “comunidad”) y su entorno físico en una localidad determinada, de tal forma que el flujo de energía permite definir cadenas tróficas, diversidad biológica y ciclos de nutrientes (intercambio de materia entre elementos vivientes y no vivientes)”.

Los bloques de construcción abióticos de los ecosistemas son la energía, el agua y los nutrientes; en tanto que lo bióticos corresponden a los seres vivos y sus cadenas tróficas (Fig. 3). En la mayoría de los ecosistemas actuales, el régimen de alteración (natural y antropogénico) juega un papel determinante en su composición, estructura y funcionamiento y por lo tanto en los bienes y servicios que provee. Una característica clave de todo ecosistema es que los nutrientes inorgánicos se reciclan en tanto que la energía no. El flujo de energía y nutrientes en el ecosistema puede resumirse de la siguiente manera:

1. El sol es la fuente de energía para la mayoría de los ecosistemas.
2. La energía y los nutrientes pasan de un organismo a otro a través de la cadena trófica. El destino final de la energía es un ecosistema es su pérdida como calor.
3. El proceso de descomposición remueve la última porción de energía remanente en los organismos y libera nutrientes (mineralización).
4. Los nutrientes ciclan a través de los ciclos biogeoquímicos.

$\text{CO}_2 + \text{agua} + \text{minerales} + \text{energía (solar)} \leftrightarrow \text{materia orgánica} + \text{oxígeno}$
--

La siguiente expresión resumen, de manera simplificada, los procesos de fotosíntesis y respiración en el ecosistema.

Cuando la reacción fluye hacia la derecha se está realizando la fotosíntesis, proceso mediante el cual los vegetales verdes sintetizan materia orgánica a partir de la energía solar y cuando va hacia la izquierda se está realizando la respiración o descomposición aeróbica de materia orgánica, la cual provee la energía requerida por la mayoría de los seres vivos para mantener sus procesos vitales (e.g. crecimiento, reproducción).

Los ecosistemas pueden describirse en términos de sus componentes abióticos y bióticos; así como de sus procesos (e.g. fotosíntesis, descomposición) e interacciones entre organismos (e.g. competencia, depredación). Los primeros están formados por bancos de nutrientes orgánicos e inorgánicos y los segundos por la comunidad de organismos, la cual puede dividirse funcionalmente en productores,

consumidores y descomponedores. La materia y la energía fluyen entre ambos componentes y en el sistema como un todo. Los procesos del ecosistema se cuantifican como las tasas de dichos flujos (e.g. producción primaria, respiración, descomposición, mineralización, lixiviado de nutrientes) y por tanto, su funcionamiento se puede cuantificar midiendo la magnitud y dinámica de dichos procesos.

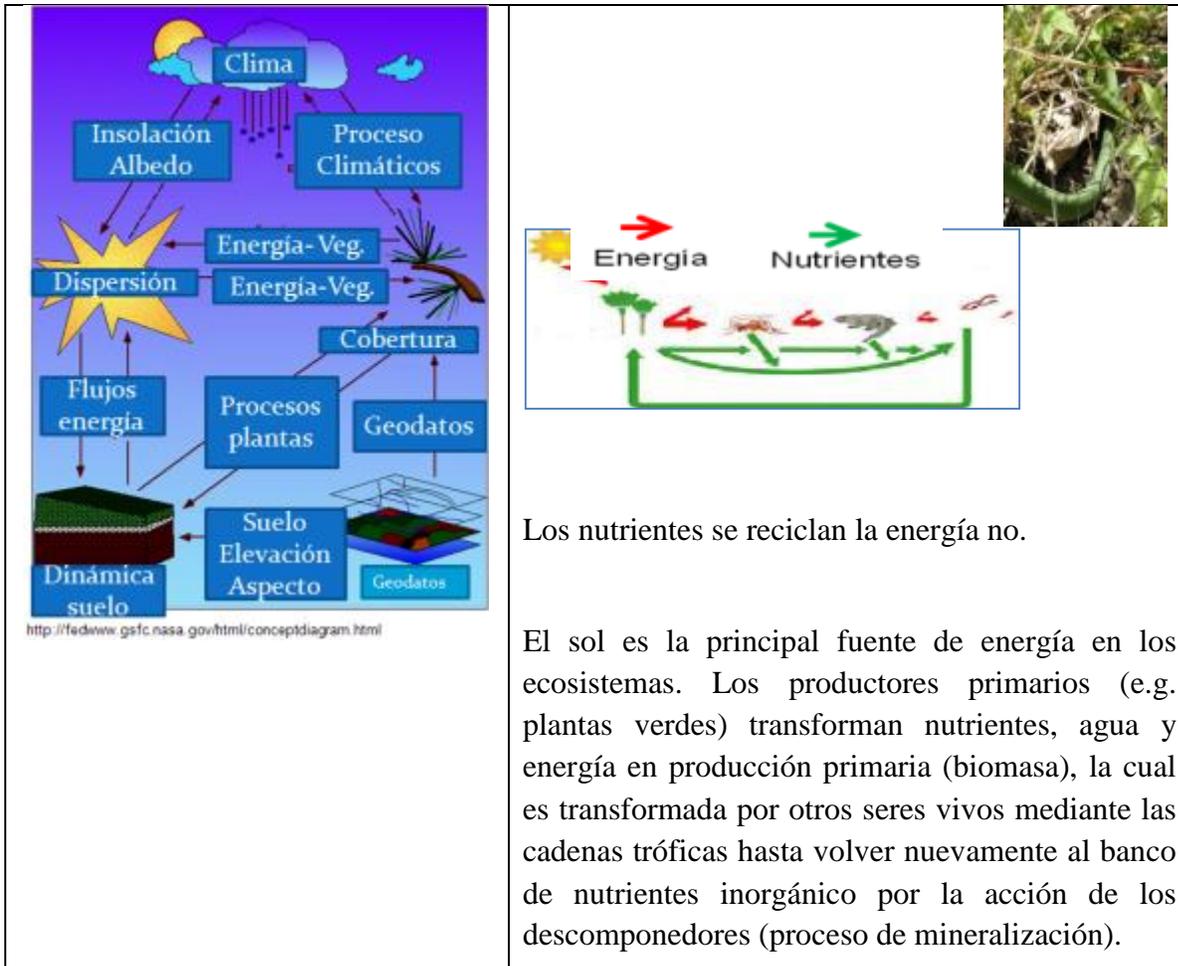


Figura 3: El ecosistema, sus elementos constituyentes y procesos claves.

3.1 De componentes bióticos y abióticos a composición, estructura y función

Los ecosistemas, al integrar elementos bióticos, abióticos, procesos e interacciones, constituyen el marco ideal para describir, planificar, evaluar y monitorear la gestión integral del territorio a diferentes escalas espaciales y temporales (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). Para ello, deben considerarse tres atributos básicos: *composición*, *estructura* y *función* (Franklin et al., 1981). Estos tres atributos nos permiten cuantificar y entender las diferentes expresiones de la biodiversidad de un área dada (Noss, 1990, Zacharias and Roff, 2000; recuadro 1).

Noss (1990) propuso un conjunto de variables (mayormente bióticas) que pueden utilizarse como indicadores para monitorear el estado y tendencia del ambiente en sus cuatro niveles de organización: genes, especies, comunidades-ecosistemas y paisajes y en sus tres componentes de organización: composición, estructura y función. La propuesta de Noss (op. cit) permite someter a prueba hipótesis,

incursionar en el manejo adaptativo, integrar diferentes escalas espaciales y servir como una guía práctica para seleccionar y utilizar indicadores.

Los componentes vivos del ecosistema (plantas, animales, micro-organismos) interactúan entre sí y con los elementos abióticos (agua, luz, nutrientes). Estas interacciones son la base del funcionamiento de ecosistema, el cual aunado al funcionamiento de otros ecosistemas proveen "bienes y servicios" de los cuales depende la vida sobre la Tierra. Algunos de estos servicios incluyen balance de gases atmosféricos, el ciclo de nutrientes, regulación climática, regulación del ciclo hidrológico y crear nuevo suelo (Ehrlich, 1998).

Recuadro 1: Niveles de organización (genes, especies, comunidades-ecosistemas y paisajes) y componentes de organización (composición, estructura y función) de los ecosistemas (Franklin et al., 1981; Noss, 1990; Zacharias and Roff, 2000).

Composición: El concepto de composición está relacionado con los elementos individuales así como con su variedad en una colección o arreglo e incluye la composición genética a nivel de población, la composición de una comunidad o ecosistema así como su distribución temporal y espacial en el paisaje.

Estructura: La estructura está relacionada con la organización física o patrón espacial en el ecosistema. Los atributos estructurales se componen de elementos bióticos y abióticos que contribuyen a la biodiversidad mediante la provisión de diversos hábitats a nivel de comunidades y diversos patrones espaciales a nivel de paisaje.

Función: La palabra función hace referencia a una actividad o al conjunto de actividades que desempeña uno o varios elementos de forma complementaria para conseguir un objetivo concreto y definido. En un ecosistema, este concepto incluye procesos ecológicos, geológicos, climáticos, hidrológicos y evolutivos que moldean la composición-estructura del ecosistema a nivel local, regional y global y que por ende mantienen la biodiversidad en sus diferentes expresiones. En la terminología de ecosistemas del Milenio a estas funciones se les denomina "de soporte" y los seres humanos las percibimos como servicios (e.g. polinización, producción primaria neta, descomposición, infiltración, evapotranspiración, fotosíntesis, ciclo de nutrientes y ciclo del agua).

Cuadro 1: Atributos de composición, estructura y función de la biodiversidad.

Composición	Estructura	Funcionamiento
Genes, especies, poblaciones.	Estructura genética, estructura poblacional	Procesos genéticos, procesos demográficos.
Comunidades, ecosistemas.	Fisionomía, estructura del hábitat.	Interacciones interespecíficas, procesos ecosistémicos, relaciones organismo-hábitat
Paisajes.	Patrones de paisaje.	procesos y alteraciones a nivel de paisaje, cambios en uso cobertura de la tierra

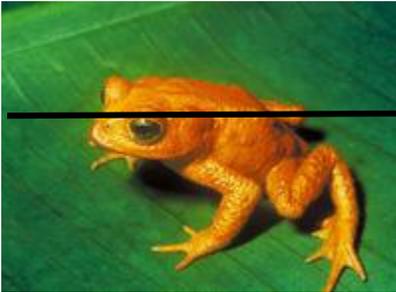
Basado en: Noss, 1990; Zacharias and Roff, 2000.

Aun cuando en las últimas décadas se ha avanzado en la comprensión de los procesos ecosistémicos todavía existen muchas interrogantes por resolver. Nuestro conocimiento es fragmentado y sujeto a cambios constantes conforme se realizan nuevas investigaciones como lo demuestra la reciente publicación de Anchukaitis and Evans (2010; ver recuadro 2) sobre las posibles causas de la extinción del sapo dorado (*Bufo periglenes*) en Monteverde. A pesar de esto, las amenazas a la estructura y funcionamiento de los ecosistemas son, con frecuencia, las mismas que amenazan a las especies y comunidades bióticas. Por ejemplo, la comunidad científica ha proveído suficiente evidencia del impacto adverso causado por la pérdida y fragmentación de hábitat asociada a la conversión de vegetación natural a pastos, cultivos, urbanizaciones y carreteras (Cosson, Pons y Masson, 1999; Cuarón, 1999, 2000; Glennon y Poster, 2005). La sobrexplotación de poblaciones silvestres con fines alimenticios y comerciales es otra amenaza (Gavin, 2007; Robinson and Bennett, 2004). Otras amenazas están relacionadas con la contaminación por plaguicidas, especialmente de cuerpos de agua (Castillo, de la Cruz y Clemens, 1997; Laabs et.al, 2002; Matson et.al., 1997) y con cambios menos evidentes asociados a fenómenos globales como la variabilidad y el cambio climático (Anchukaitis and Evans, 2010).

Los bienes y servicios del ecosistema (e.g. madera, recreación, regulación hidrológica) son la “materia prima” que sustenta el desarrollo de la sociedad; sin embargo cada ecosistema provee dichos servicios en diferentes proporciones y bajo determinados umbrales o límites naturales. La resiliencia le permite a un ecosistema proveer un flujo (aunque no necesariamente continuo ni homogéneo) de capital natural bajo ciertos niveles de estrés natural o antrópico. Hasta la fecha, la gestión de los ecosistemas como “bancos” de capital natural se ha gestionado con una visión “extractiva-minera” y por ende no sostenible; amenazando su existencia y con ello la existencia de las generaciones humanas actuales y futuras.

Los ecosistemas han sido un tema de interés académico desde que G. Tansley utilizó el término en 1935 en su publicación sobre conceptos y términos en vegetación (Willis, 1997). Sin embargo, en la últimas dos década han cobrado una importancia política como resultado de los acuerdos tomados en la Convención de Biodiversidad celebrada en 1992 en Río. En dicha convención más de 175 países acordaron conservar la biodiversidad y promover el uso sostenible de sus componentes para lograr una justa y equitativa distribución de los beneficios derivados de los recursos biológicos⁷. La convención biológica define un ecosistema como “una unidad funcional compleja y dinámica conformada por comunidades de plantas, animales y microorganismos y su entorno no biológico o físico”.

⁷ <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-un-es.pdf>



Recuadro 2: Variabilidad climática en el bosque nuboso de Monteverde y desaparición del Sapo dorado (Anchukaitis and Evans, 2010).

El sapo dorado (*Bufo periglenes*) fue observado por última vez en el bosque nuboso de Monteverde en 1989 y cinco años después su desaparición fue la primera extinción asociada al calentamiento global de origen antrópico (Pounds, et al. 2006). Pounds y colaboradores (Pounds et.al.1997) concluyeron que las condiciones extremadamente secas de 1987 fueron posiblemente la causa de una reducción significativa en las poblaciones de varias especies de anfibios, así como de la extinción del sapo dorado. La quitridiomycosis causada por el hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* fue eventualmente identificado como el mayor causante de la desaparición de anfibios en América, Europa, Australia y Nueva Zelanda (Berger L, et al., 1998, Weldon et.al, 2004, Rachowicz, et al. 2006). La hipótesis del “óptimo térmico de chytrid” sugería que la tendencia al aumento de la temperaturas observada en los trópicos asociadas con el calentamiento global antrópico habría sido la principal causa de la extinción de anfibios ocasionada por la quitridiomycosis (Pounds J A, et al. 2006). Sin embargo, esta hipótesis fue cuestionada por el estudio publicado en 2010 y realizado a partir del análisis de isotopos de oxígeno ($\delta_{18}O$) en muestras de madera de dos árboles de *Pouteria sp.* (Sapotaceae) por el climatólogo Kevin Anchukaitis de la Universidad de Columbia y el paleoclimatólogo Michael Evans de la Universidad de Maryland, College Park, ambas en Estados Unidos de América. Su investigación permitió reconstruir el ciclo hidroclimatológico anual en el bosque nuboso de Monteverde durante los últimos 100 años. Los datos indican que la variabilidad interanual en el contenido de humedad durante la estación seca en el bosque nuboso de Monteverde está asociada a eventos de El Niño-Oscilación Sur (ENSO) y que no existe ninguna evidencia de una tendencia asociada al calentamiento global. La nueva evidencia indica que la extinción del sapo dorado (*Bufo periglenes*) aparentemente coincidió con el periodo extraordinariamente seco ocasionado por El Niño de 1986-87 (Pounds y Crump, 1994) y el efecto letal del hongo chytrid (Berger L, et al., 1998) pero no puede atribuirse directamente al calentamiento global. A la fecha, no existe consenso en la comunidad científica sobre cómo el calentamiento global antrópico incide en el comportamiento El Niño-Oscilación Sur (Collins y The CMIP Modeling Groups, 2005, Latif y Keenlyside, 2008) y además los datos de anomalías del fenómeno ENSO se encuentran entre los límites esperados para los datos existentes (Rajagopalan, Lall y Cane, 1997). La cronología de $\delta_{18}O$ de Monteverde indica que el periodo seco de El Niño 1986-87 fue uno de los más largos en los últimos 100 años. Es posible que *Batrachochytrium dendrobatidis* se encontrara ya presente en Monteverde (Puschendorf, Bolanos y Chaves, 2006) antes de dicho año y que debido a la ausencia de humedad los anfibios se congregaran en los pocos microhábitats húmedos (Pounds, Fogden y Campbell, 1999, Pounds et.al.1997) disponibles y que esto favoreciera la rápida expansión del hongo, la cual resultó en la extinción del sapo dorado.

Sin embargo, como lo indican los autores del estudio y Christopher Still, un climatólogo de la Universidad de California en Santa Bárbara-USA, los resultados deben tomarse con precaución ya que solo se muestrearon dos árboles y la interpretación de isótopos de oxígeno en la celulosa en árboles tropicales es un campo nuevo de la ciencia. J. Alan Pounds, uno de los autores quien originalmente sugirió que el calentamiento global jugó un papel importante en la extinción del sapo dorado está en desacuerdo con las conclusiones del estudio. Pounds argumenta que el cambio climático ha causado mayores variaciones en la precipitación diaria en Monteverde, los cuales no pueden ser medidos por el método de isótopos (Curry, 2010). Sin embargo, un estudio reciente realizado con la rana dorada de Panamá (*Atelopus zeteki* Dunn, 1993) (Bustamante, Livo and Carey, 2010) indicó que sus resultados no respaldan la afirmación de que el calentamiento del planeta es necesariamente la causa de la muerte de anfibios infectados con *Batrachochytrium dendrobatidis* debido a que el agente patógeno fue igualmente letal tanto a los 17 como a los 23 ° C y además las ranas vieron significativamente más tiempo a temperaturas más calientes que la temperatura más fresca.

3.2 Ecosistemas terrestres: composición, estructura y funcionamiento

EL ecosistema (composición-estructura) y sus procesos biogeoquímicos (función) son elementos centrales en el enfoque por ecosistemas. Aun cuando todos podemos identificar con facilidad un ecosistema (e.g. sabana, humedal, bosque seco), la ciencia todavía no ha podido descifrar y menos aún explicar los procesos e interacciones que explican sus cambios y permanencia a largo plazo. Esta sección no pretende ser un tratado de ecología sino más bien describir algunos conceptos básicos que sustentan la provisión de bienes y servicios del ecosistema. Aun cuando el temario podría ser extenso, se han seleccionado las siguientes preguntas como eje orientador: ¿Qué es un ecosistema y cuáles son sus elementos claves? ¿Cómo se organizan dichos elementos en tiempo y espacio? ¿Cuáles procesos describen su dinámica y funcionamiento? y ¿Qué hemos aprendido sobre estos temas en los últimos 50 años. Se espera que esta base teórica guíe al gestor de espacios protegidos y privados en la toma de decisiones hacia una gestión territorial que optimice la provisión de bienes y servicios de los ecosistemas.

3.2.1 Dinámica del Ecosistema

Los cuatro procesos ecológicos fundamentales de los ecosistemas son el ciclo del agua, los ciclos biogeoquímicos (nutrientes), el flujo de energía y la dinámica de las comunidades (sucesión), la cual cambia la composición y estructura de un ecosistema después de una perturbación. Los ecosistemas no son entes estáticos y por tanto el estudio de su dinámica y transformación son temas centrales en la evaluación de los bienes y servicios que prestan a la sociedad. Aun cuando existen múltiples temas que pueden tratarse como parte de la dinámica de un ecosistema, a continuación se describe brevemente aquellos considerados claves en el contexto de la gestión de los servicios de los ecosistemas.

A. Factores/Atributos Ecológicos Claves

Estos son componentes del ecosistema que tienen un impacto en la comunidad biológica muy superior a su abundancia, productividad o biomasa (Holling, 1992; Jones, Lawton and Shachak, 1994, 1997). Algunos ejemplos son los depredadores clave (Paine 1995, 1996), las especies clave (De Leo and Levin.

1997), los bosques ribereños en paisajes fragmentados, los incendios y los insectos polinizadores. Por otro lado, también existen ecosistemas que dependen de una “especie fundamental o fundadora” (Ellison, Et.al., 2005), la cual define en gran parte la estructura de una comunidad mediante la creación de condiciones estables para otras especies a nivel local y por la modulación y estabilización de los procesos fundamentales del ecosistema. Este concepto puede ampliarse a “grupos funcionales” conformados por especies que comparten atributos biogeoquímicos comunes (Naeem 1998). Los bosques de mangle y los robledales de los pisos montanos de Costa Rica ilustran este concepto.

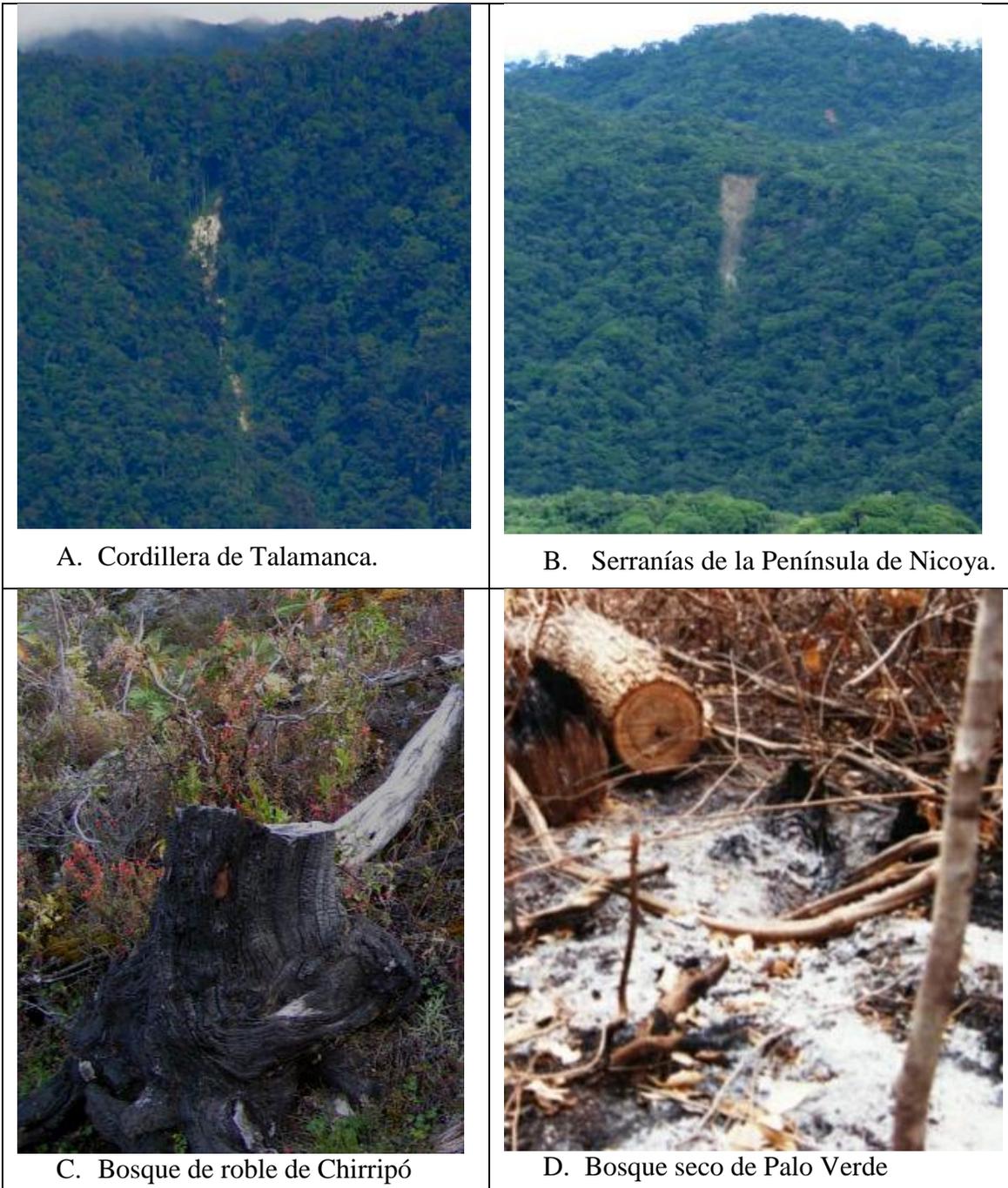


Los bosques de roble típicos de la zona montana de la cordillera de Talamanca juegan un papel clave en los bienes y servicios que provee este ecosistema de altura.

B. Perturbaciones

La perturbación es un evento más o menos discreto en el tiempo (e.g. un deslizamiento, una apertura en el bosque) que altera las poblaciones o comunidades; cambia la disponibilidad de recursos y crea oportunidades para el surgimiento de nuevos individuos/ comunidades y a la vez es la causa de muerte para otras (Denslow 1980). Este concepto presupone que el ecosistema mantiene sus rasgos propios definidos en términos de su composición, estructura y función. La severidad de la perturbación puede caracterizarse en términos de su extensión (área afectada), intensidad (grado de incidencia), resiliencia (tiempo requerido para recuperar las condiciones previas a la perturbación) y periodicidad (frecuencia en el tiempo). Las perturbaciones pueden clasificarse como naturales (e.g. incendios, sequías, inundaciones, deslizamientos, afecciones por virus a poblaciones silvestres) y antrópicas o culturales (e.g. represas, extracción forestal, cacería).

La respuesta de los organismos/sistema natural a las perturbaciones depende de su capacidad desafiar el cambio expresado como resistencia y resiliencia. La primera mide el grado en que una variable cambia después de una perturbación y es utilizada con frecuencia como una medida discreta de la habilidad de una comunidad para resistir a la invasión (Shear 2000). La resiliencia de equilibrio es una medida de estabilidad que supone que la estabilidad del sistema aumenta al disminuir el tiempo requerido para volver al estado de equilibrio después de la perturbación. La resiliencia general es una medida de estabilidad que supone que la estabilidad del sistema aumenta conforme el tiempo requerido para volver al estado de equilibrio/desequilibrio disminuye después de la perturbación (Shear 2000).



Los deslizamientos son una fuente de alteración natural en paisajes forestales con fuerte pendiente. Los incendios son otro agente de cambio que abarca extensiones mayores y puede presentarse tanto en ambientes de montaña como de tierras bajas. El impulsor de cambio y la respuesta del ecosistema es la misma en ambos casos; sin embargo las tasas de los procesos serán diferentes.

El conocimiento actual sobre el funcionamiento de los ecosistemas naturales indica que las perturbaciones juegan un papel clave en su mantenimiento-renovación a través del proceso de sucesión. Una de las principales conclusiones de la investigación ecológica es que los sitios más diversos son aquellos caracterizados por niveles intermedios de perturbación (teoría de perturbaciones intermedias).

Aun cuando la modificación y subsecuente transformación de los ecosistemas forestales es complejo y con múltiples enfoques, se sugiere utilizar la tipología descrita en el cuadro 2 para clasificar su grado de alteración.

Cuadro 2: Tipología del grado de alteración de los ecosistemas forestales.

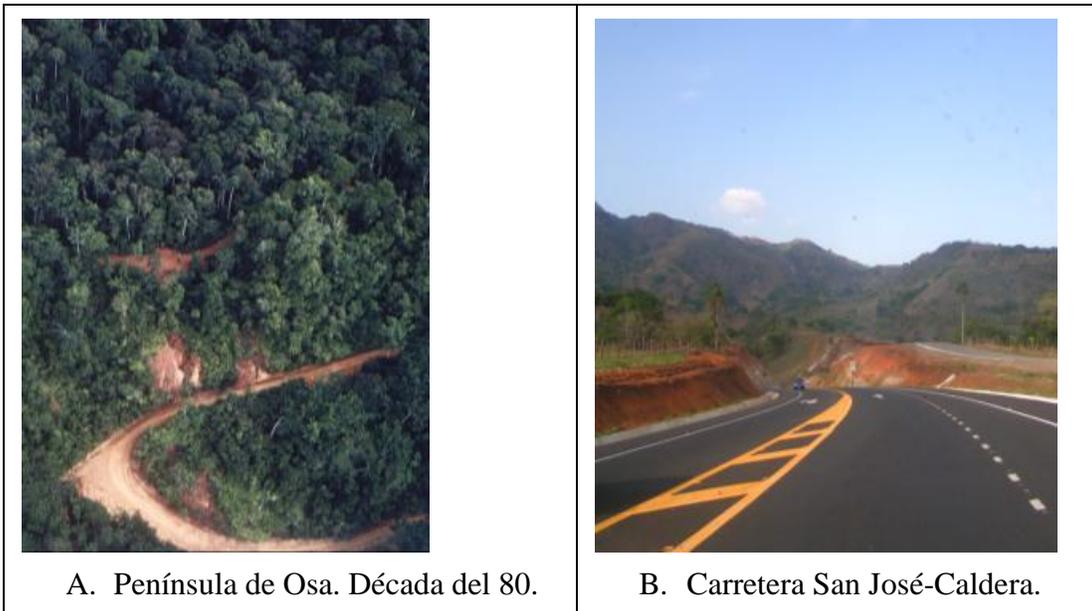
Ecosistema Forestal	Tipo 1: Bosque maduro	El ecosistema boscoso no presenta ninguna alteración antrópica visible; el ecosistema mantiene su composición, estructura y funcionamiento natural (de largo plazo). El bosque se renueva por procesos de sucesión natural.
	Tipo 2: Bosque con alteración mínima	El ecosistema boscoso mantiene su estructura y composición sin alteración visible, sin embargo pueden existir actividades extractivas de subsistencia tales como cacería, cosecha de lana, madera caída y palmas.
	Tipo 3: Alteración moderada	El ecosistema boscoso es sometido a actividades extractivas considerando el ciclo de vida del bosque (e.g. planes de manejo sostenibles). El bosque mantiene su composición y estructura sin embargo ha perdido algunos de sus individuos más viejos y de mayor porte. Otras fuentes de alteración del ecosistema pueden estar asociadas a agroquímicos y presencia de carreteras.
	Tipo 4: Alteración severa	La continuidad espacial, estructura y composición del bosque ha sido muy alterada sin embargo este mantiene su fisonomía propia (e.g. fragmentos de bosque, bosque sometido a aprovechamientos no planificados, bosque secundario). La matriz del paisaje no es el ecosistema original.
	Tipo 5: Transformación total del ecosistema	La vegetación natural ha sido reemplazada por un agroecosistema (e.g. frutales, pasto, cultivos) o por un urbanoecosistema.

Fuente: Adaptado de CCAD, 1999.

A la fecha, se reconoce a la fragmentación y la pérdida de cobertura natural como las principales causas de la transformación de los ecosistemas naturales y de la pérdida de su biodiversidad (Cosson, Pons y Masson, 1999; Cuarón, 1999, 2000; Glennon y Poster, 2005; Saunders, Hobbs y Margules, 1991). Sin embargo estudios recientes indican que aun fragmentos de bosque en paisajes agrícolas pueden mantener una alta porción de la biodiversidad original. Matlock et al. (2002) reportan para el Caribe de Costa Rica que fragmentos de bosque en terrenos dedicados a la actividad bananera proveen hábitat para 206 especies, incluidas 46 migrantes y 87 residentes con un grado de susceptibilidad de moderado a muy alto a la alteración de hábitat.

El aprovechamiento forestal selectivo es otra fuente de perturbación a los ecosistemas forestales naturales. Lobo et al. (2007) reportaron el efecto del aprovechamiento selectivo sobre la abundancia de *Caryocar costaricense* y *Peltogyne purpurea*, dos especies endémicas del sur de América Central, en la

Península de Osa. La abundancia de *C. costaricense* para brinzales (altura < 50 cm) y latizales (altura > 50 cm y dap < 2 cm) fue mayor en los sitios no explotados; en tanto que los árboles con “dap” entre 2 y 10 cm fueron más abundantes en las áreas explotadas; el resultado fue el mismo para brinzales de *P. purpurea* sin embargo para los latizales no se detectó ninguna diferencia entre los sitios aprovechados y no aprovechados. La densidad de arboles adultos de *P. purpurea* no cambió después de 15 años de aprovechamiento, sin embargo la densidad de la clase diamétrica 10–30 cm disminuyó en el mismo periodo. Los autores concluyen que, para árboles con una distribución restringida, ciclos de corta de 15 años en los cuales se extrae el 50% de los árboles con diámetros superiores puede conllevar a una reducción significativa en los individuos reproductivos, reduciéndose la regeneración de la población bajo explotación.



A. Península de Osa. Década del 80.

B. Carretera San José-Caldera.

Las carreteras causan fragmentación tanto en bosque natural como en paisajes agropecuarios.

C. Resistencia, Resiliencia, Biodiversidad y Estabilidad del Ecosistema

Las actividades humanas ejercen una fuerte influencia en los ciclos biogeoquímicos, hidrológico y en general en los procesos ecológicos a escala local y global. Cada comunidad y población biológica y sus procesos asociados tienen diferentes umbrales bajo los cuales pueden funcionar, lo que en última instancia define su distribución y sobrevivencia (Björnstad and Grenfell, 2001; Lundberg et al., 2000; Ranta, Veijo and Lundberg, 1998). Cualquier proceso/alteración que reduzca la resiliencia mediante acciones tales como la remoción total de especies en un grupo funcional o la remoción de un nivel trófico) aumenta la probabilidad de cambios de régimen en el sistema (Folke et al. 2004). Aun cuando la teoría, los experimentos de laboratorio y la evidencia de experimentos indirectos sugieren que la diversidad y la estabilidad de ecosistema están relacionados, no existe evidencia directa de que la pérdida de especies afecta la resistencia ó la resiliencia del ecosistema (Pfisterer and Schmid 2002).

Resistencia y resiliencia

Los ecosistemas han evolucionado a lo largo de miles/millones de años y por tanto tienen la capacidad de absorber cierto grado de estrés y alteración (De Leo and Levin, 1997). Sin embargo, una vez sobrepasados dichos niveles, el ecosistema puede colapsar y ser reemplazado en su totalidad ó en algunos de sus componentes (Ej. el mangle es reemplazado por herbáceas) ó iniciar un proceso de sucesión al modificarse algunos atributos de su ensamblaje (e.g. paso de humedal herbáceo a humedal arbustivo). La resiliencia base o de referencia de un ecosistema está relacionada con la *variabilidad natural* presente en dicho ecosistema previa a la intervención del ser humano. Por ejemplo, en el caso de Costa Rica, esto podría corresponder a las condiciones de los ecosistemas naturales antes de la llegada de los españoles en 1520.

La viabilidad y capacidad de adaptación de los organismos que forman parte de un ecosistema depende de su resiliencia y de su conectividad interna y externa (Montoya, Solé y Rodríguez, 2001, Folke et al. 2004). Por ejemplo, la fragmentación-perdida de cobertura natural impacta negativamente la viabilidad de los organismos; sin embargo el impacto será mayor en los especialistas y en aquellas especies con ámbitos hogareños muy restringidos (Ej. aves de interior de bosque, anfibios); ya que requieren de condiciones bióticas y abióticas muy particulares para su sobrevivencia (reproducción, crecimiento).

La diversidad característica de ecosistemas complejos como los tropicales es el resultado de procesos que operan en muy diferentes escalas espaciales y temporales. Los patrones, producto de estos procesos, relevan diferentes facetas del ecosistema: algunas poblaciones presentan grandes fluctuaciones en meses ó años (Gamarra and Solé 2000) en tanto que otras características, que operan a gran escala, permanecen virtualmente constantes en el tiempo. Junto a fluctuaciones impredecibles, observamos también variables estables (como la biomasa o la productividad) que apenas cambian en decenas o cientos de años.

Comprender la naturaleza de tales fluctuaciones naturales es importante porque pueden revelar las leyes que rigen la dinámica del ecosistema. Los patrones mostrados por comunidades ricas en especies, incluyendo especies raras, se derivan de una tendencia espontánea hacia la inestabilidad. La búsqueda de la estabilidad en los ecosistemas ha sido tradicionalmente vinculada con la diversidad de especies (McCann 2000); sin embargo a la fecha no existe un consenso en cuanto al rol que la misma juega. Por ejemplo, Odum (1953) y Elton (1958) argumentaban que la reforzaba en tanto que May (1972, 1974) que la ponía en peligro. A la fecha, puede afirmarse que el origen de tal diversidad y las consecuencias de la complejidad en la cadena trófica sobre la abundancia de especies y sus fluctuaciones temporales no es totalmente entendida por la comunidad científica (Solé, David and McKane, 2002).

D. Biodiversidad y estabilidad del ecosistema

Los investigadores, miembros de movimientos ambientalistas y los responsables de la gestión de recursos naturales/biodiversidad con frecuencia hacen referencia a la relación entre diversidad biológica y la función del ecosistema (e.g. procesos biogeoquímicos). Sin embargo, al momento, en la comunidad científica no existe un consenso sobre el modelo teórico que mejor describe dicha relación (Naeem 1998, Fig. 4) ni sobre la concepción de que a mayor diversidad mayor estabilidad en los ecosistemas (Shear 2000). Aun cuando se reconoce que las propuestas son muy simples para capturar la complejidad de las relaciones que describen, al menos proveen un marco de referencia para la discusión y análisis de datos empíricos entre ecólogos, gestores de recursos y tomadores de decisiones.

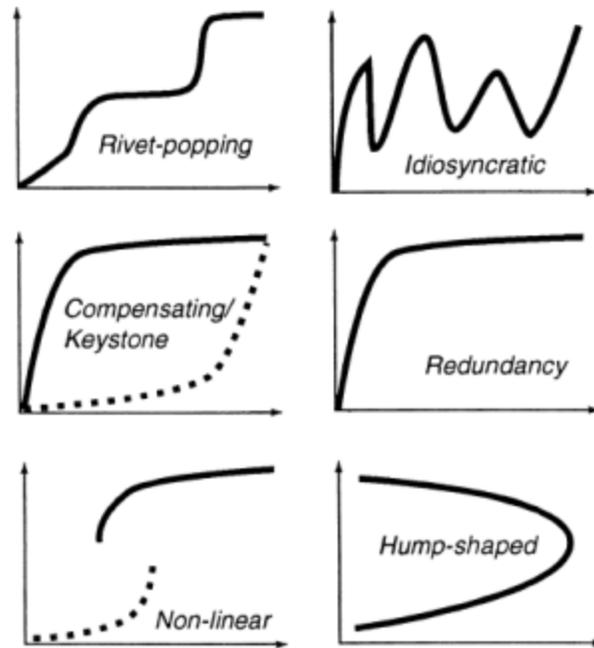


Figura 4: Ejemplos de relaciones hipotéticas propuestas para describir la relación entre diversidad biológica y función del ecosistema (procesos biogeoquímicos del ecosistema). Si desea más detalles sobre cada modelo ver: rivet-popping (Ehrlich and Ehrlich, 1981); idiosyncratic-Idiosincrático (Naeem et al. (1995); compensating/keystone-Compensadores/Piedra angular (Sala et al. 1996); redundancy-Redundante (Walker 1992 y Lawton and Brown 1993); nonlinear-No lineal (Carpenter 1996) y humped-shaped-Forma de joroba (Rosenzweig and Abramsky 1994). Fuente: Tomado de Naeem (1998).

Uno de los conceptos controversiales aunque aceptado en la ecología moderna es el de “especies redundantes” (Walker 1992, 1995), el cual propone que en ecosistemas con una alta riqueza de especies (e.g. bosque tropical), los procesos del ecosistema son poco sensibles a variaciones en la biodiversidad; lo cual se contrapone al énfasis tradicional en ecología sobre la singularidad y función de las especies en el ecosistema. Esto podría interpretarse como que en dichos sistemas complejos y con alta biodiversidad existen especies que nos son “esenciales” y que por tanto su “no protección” o aprovechamiento extractivo ocasionaría muy poco impacto en el ecosistema. Sin embargo esta visión es peligrosa como lo demuestra el estudio de Bellwood y colaboradores (Bellwood et al. 2003) quienes documentaron cambios en función de los ecosistemas en los arrecifes de coral a nivel regional como consecuencia de la sobrepesca de una sola especie (*Muricatum borbometopon*).

Por otra parte, podría argumentarse que la redundancia de especies en grupos funcionales es parte del “diseño natural” del sistema, similar a la redundancia estructural utilizada en edificios para enfrentar fallas inesperadas ó funcionar como un “seguro” al proveer un efecto amortiguador que reduce la variación temporal en productividad y un efecto que mejora el funcionamiento, es decir, un aumento en la media temporal de productividad (Yachi and Loreau 1999) y su objetivo es, por tanto, garantizar el funcionamiento del ecosistema ante situaciones no predecibles (e.g. extinción estocástica de especies, eventos climáticos extremos) (Naeem 1998), lo cual es esencial para proveer de manera confiable bienes y servicios al ser humana y mantener la composición y estructura del ecosistema.

Otra hipótesis que ha recibido gran atención entre ecólogos es la relación entre complejidad-estabilidad y biodiversidad (Tilman y Downing, 1994); sin embargo a la fecha tampoco existe consenso en la comunidad científica sobre si una mayor diversidad engendra una mayor complejidad que a su vez genera mayor estabilidad.

Basados en evidencia empírica, ecólogos como Elton (1958), Odum (1953) y MacArthur (1955) plantearon en sus publicaciones previas a la década de 70 que las comunidades más simples eran más susceptibles a cambios (e.g. fluctuaciones en poblaciones e invasiones) que comunidades más complejas y que por ende a mayor diversidad mayor estabilidad; a esta afirmación se le conoce como la hipótesis "estabilidad-diversidad". Esta relación puede observarse en campos agrícolas y pastos (agrosistemas simplificados) los cuales presentan mayores fluctuaciones e invasiones (e.g. "malesas") que los ecosistemas originales (e.g. bosque).

Esta hipótesis fue sometida a prueba por May (1973) quien utilizó ecuaciones de estabilidad lineal para modelar la relación entre biodiversidad y estabilidad en comunidades construidas al azar y con fuerzas de interacción asignadas aleatoriamente. Sus resultados indicaron que la diversidad tiende más bien a desestabilizar la dinámica de la comunidad; resultados similares fueron obtenidos posteriormente por otros ecólogos (Pimm and Lawton 1978, Yodzis 1981). Posteriormente la investigación de Yodzis (1981) arrojó luz sobre esta paradoja al mostrar que los modelos estructurados a partir de cadenas tróficas reales con fuerzas de interacción plausibles, eran, en general, más estables que las cadenas alimenticias construidas al azar; apoyando la idea original de biodiversidad-estabilidad. Sus resultados indicaban que la fuerza de la interacción era probablemente crucial para la estabilidad del sistema aunque no había una explicación para esto. Más recientemente, para resolver esta aparente incongruencia entre la evidencia empírica y los resultados de los modelos matemáticos, se han explorado dos enfoques: la búsqueda de una relación general entre diversidad y estabilidad (Tilman, Reich and Knops 2006, Tilman 1996, Schapfer and Schmid 1999) y una aproximación más mecanicista basada en la relación entre la estructura de cadenas tróficas y la estabilidad de la comunidad (Morin and Lawler 1995, Harding 1999).

Aun cuando los resultados de estos enfoques son todavía preliminares, se puede afirmar que en general la diversidad puede dar estabilidad a algunos rasgos de la comunidad vegetal como la biomasa (Tilman, Reich and Knops 2006, Tilman and Downing 1994, Tilman, Wedin, and Knops 1996, Tilman 1996, Schapfer and Schmid 1999) pero no afecta a otros como la población (Tilman 1996). Los estudios enfatizan que la biodiversidad no es en sí misma la causa de la relación, ya que la estabilidad depende más

bien de especies o grupos funcionales con una capacidad de respuesta diferenciada dominada por interacciones débiles que regulan o neutralizan el efecto de las interacciones fuertes (interacciones recurso-consumidor capaces de desestabilizar el sistema).

En síntesis, estas nuevas ideas son consistentes con los planteamientos originales de Odum, Elton, MacArthur y May; aunque la causa de la estabilidad no es la biodiversidad *per se*. Otro aspecto a considerar es que la mayoría de las conclusiones se han derivado de estudios realizados en sistemas simples como las praderas o en experimentos bajo condiciones controladas utilizando unas pocas especies. Sin embargo, ante la duda, parece sensato asumir que la biodiversidad debe valorarse como un elemento de fiabilidad de los ecosistemas (Tilman, 1996) aun cuando no exista evidencia concluyente de que los sistemas más biodiversos sean también dinámicamente más estables, los avances recientes indican que en general se puede esperar que este sea el caso (Tilman, Reich and Knops 2006, Shear 2000).

E. Sucesión Natural

La sucesión natural engloba los cambios en composición, estructura y procesos que un sistema ecológico experimenta de forma espontánea en el tiempo. El proceso de sucesión se da tanto en ambientes naturales (e.g. deslizamiento en bosque, incendio en el páramo) como en espacios alterados por el ser humano (e.g. paso de pasto a bosque).

La competencia entre especies es una de las interacciones claves en el proceso de sucesión natural. Para que una comunidad cambie su composición y estructura, las especies menos aptas para competir en el nuevo entorno desaparecen y son reemplazadas por otras mejor adaptadas a las nuevas condiciones del sistema. Los impulsores de cambio pueden ser locales o globales. Por ejemplo, en el bosque húmedo y muy húmedo tropical, el proceso de sucesión natural está dominado por la dinámica de aperturas (Hartshorn, 1980, Denslow, 1978, 1980 Schnitzer and Carson 2001). Hartshorn (op.cit.) indica que de las 320 especies arbóreas del bosque, casi la mitad depende de las aperturas para su regeneración exitosa; afirmaciones similares se han realizado para el bosque muy húmedo de África Occidental (Jones E.W. 1955-1996). La importancia de las aperturas también ha sido reportada para la regeneración del bosque de mangle (Duke 2001).

Los factores que determinan cuáles especies colonizan con éxito una apertura son: el momento en que ocurre, la proximidad y la dispersión de semillas, el tamaño de la apertura; las condiciones del sustrato y las interacciones planta-herbívoro. Actualmente, otro impulsor de cambio es el calentamiento global y sus derivados (e.g. cambio climático), el cual puede impactar grandes extensiones y no solo pequeños espacios como las aperturas en un bosque (Lewis et. al, 2004). A escalas de tiempo más prolongadas, los fenómenos geológicos y la evolución desempeñan una función crucial en el funcionamiento de los ecosistemas y en su lento proceso de sucesión (Clark and Clark 1996).

La dinámica de sucesión en espacios cuyo bosque original fue eliminado por actividades naturales y/o antrópicas es un proceso complejo que depende de factores tales como cercanía a fuentes de semillas, tipo de alteración-transformación (eg. Deslizamiento en un bosque versus área de pasto o cultivo), condiciones ambientales (e.g. precipitación, temperatura, pendiente) y disponibilidad de nutrientes (Guariguata and Ostertag 2001). Como proceso, la sucesión es un *continuum*; sin embargo para su estudio y gestión es necesario dividirlo en etapas, estadios o fases. Los criterios utilizados para establecer dichas etapas pueden

ser fisionómicos (apariencia), composición (riqueza y diversidad) y estructura (altura del dosel, densidad, área basal, biomasa) ó una combinación de ellos (Finegan 1992, 1996). El asociar una clase de edad a cualquiera de los estadios de sucesión es aún más difícil pues depende de las condiciones locales particulares bajo las cuales ha transcurrido el proceso.



Los pastos con árboles aislados son comunes en terrenos dedicados a la ganadería. Con frecuencia el proceso de sucesión es revertido talando los árboles ya sea para utilizarlos como leña, postes o simplemente para evitar que el pasto se convierta en un bosque. Cuenca baja del río Banano, Caribe de Costa Rica. En la foto de la derecha se observa la remoción total de la vegetación leñosa utilizando un tractor con el propósito “recuperar” la capacidad productiva de los pastos. Península de Nicoya.

En general, la recuperación de los atributos del bosque maduro es una función inversa del grado de degradación del sitio así como una función directa del nivel de fertilidad del suelo (Uhl et al. 1988; Nepstad et al. 1990, Finegan y Sabogal 1988; Guillén 1993). A pesar de la complejidad del proceso y con fines de gestión de la biodiversidad se puede utilizar la siguiente tipología como una guía para describir el proceso de recuperación del bosque (CCAD, 1999; Budowski, 1961, 1965, Quesada 2008, Hartshorn 1978, 80). El esquema asume que el bosque fue eliminado completamente antes de dar inicio el proceso de sucesión y por tanto no aplica a bosques residuales o sea a aquellos bosques maduros que aún conservan su estructura y composición florística pero que han sido sometidos a procesos de extracción forestal.

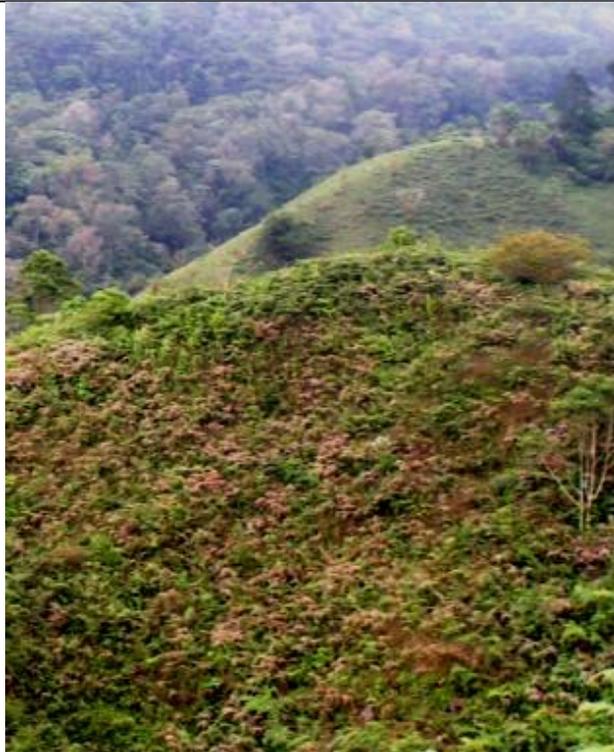
Vegetación boscosa de crecimiento secundario inicial o pionera: Esta es la primera etapa en el proceso de sucesión y puede durar entre 1 y 5 años; en Costa Rica, a esta fase se le denomina “charral”. La comunidad vegetal se caracteriza por la presencia de especies pioneras (herbáceas y arbustos exigentes de luz) que pueden sobrevivir en suelos degradados o poco fértiles (ruderales, Grime 1977). Las condiciones climáticas y la elevación juegan un papel muy importante en la fisionomía, composición y estructura de la vegetación (Ewel 1980) y en general pueden distinguirse tres condiciones:

1. *Ambientes de tierras bajas con abundante lluvia y sin una estacionalidad marcada* (e.g Caribe, Pacífico Sur, Osa). Los árboles pueden alcanzar hasta 10 metros de altura, presentan un único estrato dominante con copas cerradas; los bejucos pueden ser abundantes. Son ecosistemas muy dinámicos con altas tasas de crecimiento, rápido cambio fisionómico y un alto reemplazo de

especies.

2. *Ambientes de tierras bajas secas y con una estacionalidad muy marcada* (e.g. Guanacaste). Bajo estas condiciones, los procesos de sucesión son más lentos y por ende la vegetación leñosa puede alcanzar un máximo de 3 a 5 metros de altura, presentando un único estrato dominante con copas abiertas; los bejucos espinosos pueden ser abundantes. Son ecosistemas poco dinámicos, con una baja tasa de crecimiento, lento cambio fisionómico y con un bajo reemplazo de especies. En áreas de pasto abandonadas, la principal fuente de semillas es acarreada por el viento (Janzen, 1988).
3. *Ambientes de tierras altas* (e.g. Talamanca). En estos ambientes el factor limitante es la temperatura. La vegetación leñosa puede alcanzar entre 5 y 10 metros de altura y presenta un único estrato dominante con copas cerradas. Son ecosistemas poco dinámicos, con una baja tasa de crecimiento, lento cambio fisionómico y con un bajo reemplazo de especies.

Este tipo de sucesión es común en paisajes agropecuarios en los cuales pequeños segmentos de las fincas no se cultivan/pastorean durante algunos años y luego vuelven al sistema de producción.



A.



B.



Proceso de sucesión inicial. A: pasto abandonado (Piso montano, Cordillera de Talamanca). B: Ladera al lado de un camino que sufrió un deslizamiento superficial (Piso Premontano, Península de Nicoya). C. Vegetación pionera en pasto (Piso Montano, Coronado, San José). D. Los árboles aislados juegan un papel importante en el proceso de sucesión en terrenos dedicados a la ganadería. Esparza, Puntarenas.

Vegetación boscosa de crecimiento secundario temprano e intermedio: En este caso el proceso de sucesión ha transcurrido por un periodo de 15 a 20 años (secundario temprano, conocidos como tacotales en Costa Rica) con dominio de especies pioneras ó entre 20-35 años (secundario intermedio) con especies de rápido crecimiento pero más persistentes. Conforme la comunidad vegetal avanza en edad, su composición y estructura tiende a parecerse más a una comunidad boscosa madura aunque predominan las especies eliófitas efímeras y durables. La fisionomía de la vegetación es muy heterogénea ya que incluye desde individuos en su etapa temprana de sucesión hasta árboles que han alcanzado su porte adulto. A esta categoría pertenecen la mayor parte de los bosques secundarios de Costa Rica. Estudios publicados en los últimos 10 años indican que estos bosques secundarios pueden ser mapeados utilizando sensores remotos (Sanchez-Azofeifa and Rivard 2003) y que pueden manejarse para proporcionar algunos de los bienes y servicios ecosistémicos suministrados por los bosques originales, aunque no en la misma magnitud. La apariencia y tamaño de los árboles depende de las condiciones ambientales locales.

1. *Ambientes de tierras bajas con abundante lluvia y sin una estacionalidad marcada* (e.g. Caribe, Pacífico Sur, Osa). Los árboles pueden alcanzar hasta 30 metros de altura, presentan entre uno y dos estratos y con un sotobosque bien establecido. Son ecosistemas muy dinámicos con altas tasas de crecimiento, rápido cambio fisionómico y un moderado reemplazo de especies.
2. *Ambientes de tierras bajas secas y con una estacionalidad muy marcada* (e.g. Guanacaste). Los árboles pueden alcanzar entre 11 y 20 metros de altura total con dos estratos y un sotobosque poco denso aunque bien establecido. Son ecosistemas dinámicos pero con una baja tasa de crecimiento, un lento cambio fisionómico y un moderado reemplazo de especies.
3. *Ambientes de tierras altas* (e.g. Talamanca). En estos ambientes el factor limitante es la temperatura. La vegetación leñosa puede alcanzar entre 10 y 15 metros de altura y al menos dos estratos con copas cerradas. Son ecosistemas poco dinámicos, con una baja tasa de crecimiento,

lento cambio fisionómico y con un bajo reemplazo de especies.

Bosque de crecimiento secundario avanzado o secundario tardío: Esta comunidad vegetal posee la apariencia y composición de especies de una comunidad madura sin embargo el bosque es el resultado de un proceso de sucesión que ha transcurrido durante entre 35 y 75-80 años. En este tipo de bosque es probable que se presenten aperturas o claros en el dosel por la caída de árboles maduros y que falten los árboles de dimensiones mayores de un bosque maduro así como aquellas especies con densidades naturales muy bajas (i.e. especies raras).



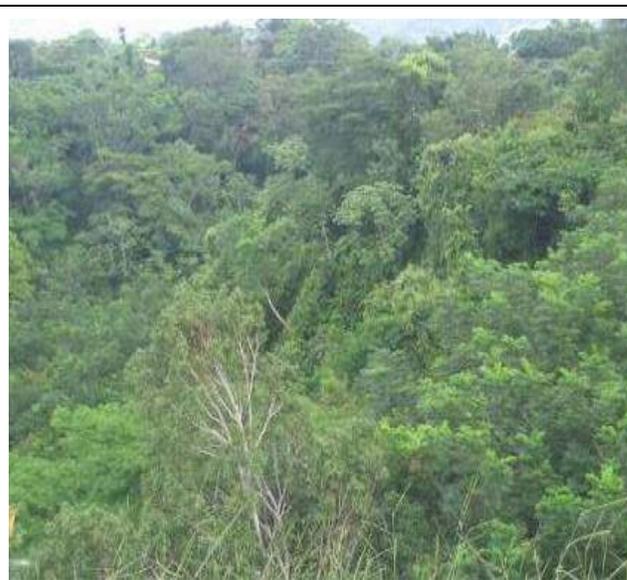
A.



B.

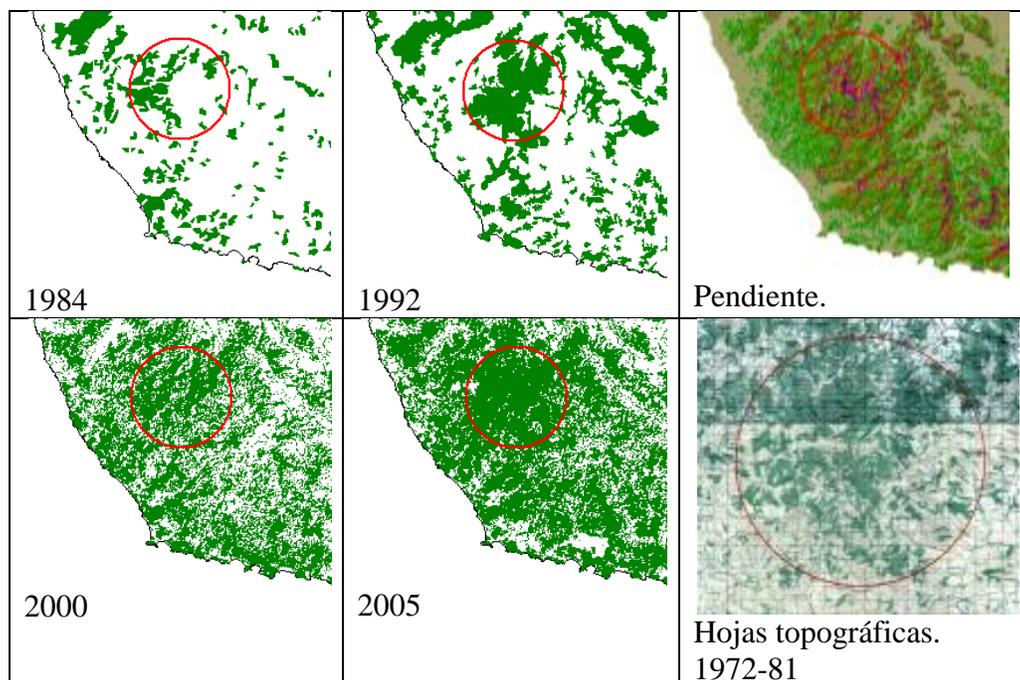


C.



D.

Vegetación típica de bosque secundario temprano e intermedio. A: Península de Nicoya y B: cuenca del río Pejibaye, Pacífico Sur. C. Cuenca baja del río Banano, Caribe Sur. D. Esparza, Costa Rica.



Recuperación de bosque en el cerro Vista al Mar-Carboneras y sus estribaciones en la Península de Nicoya, Guanacaste. Este bosque se conecta con el Parque Nacional Diríá. Al fondo se observa el paisaje dominado por lomeríos y pastos de las tierras bajas de la Península. Las hojas topográficas Diríá y Cerro Brujo escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional muestran el área con cobertura boscosa en su

cartografía de 1972- 1981. La imagen ilustra la dificultad de utilizar los mapas disponibles de uso-cobertura para estudiar el proceso de sucesión natural en Costa Rica.

Bosque maduro: Es un bosque producto de un proceso de sucesión que se ha mantenido ininterrumpido durante 75-100 o más años. Con frecuencia se asume que este bosque está exento de la influencia antrópica (e.g. extracción de madera) sin embargo puede estar afectado por fenómenos globales como la variabilidad (Barlow and Peres 2004) y el cambio climático (Lewis et. al, 2004) o por actividades extractivas de subsistencia. Estudios realizados en la Estación Biológica La Selva CR, indican que el bosque muy húmedo tropical se renueva en promedio cada 118 años (± 27 años) por cuanto se puede asumir que los árboles maduros del dosel y subdosel viven entre 90 y 150 años (Hartshorn, 1978). Según este mismo autor (Hartshorn, 1980) el ciclo de vida del bosque tropical puede abarcar entre 75 y 150 años. En el país existen estimaciones de cobertura forestal desde el año 1940 y cartografía forestal desde finales de la década del 60 (i.e cartografía del Instituto Geográfico Nacional). Considerando esta información se puede esperar que la mayor extensión de bosque maduro se encuentra en las cimas de las cordilleras de Guanacaste, Tilarán, Central, y Talamanca; Osa, Carara, Cerro de Turrubares y Fila Costeña así como en el extremo noreste de las llanuras de Tortuguero y en el manglar del humedal Térraba-Sierpe. La composición, estructura y fisionomía de un bosque maduro depende de las condiciones ambientales locales, sin embargo pueden hacerse las siguientes generalizaciones.

1. *Ambientes de tierras bajas con abundante lluvia y sin una estacionalidad marcada* (e.g Sarapiquí, Pacífico Sur, Osa). Este tipo de bosque es de semicaducifolio a perennifolio dependiendo de la duración de la estación seca, con tres o cuatro estratos, con árboles emergentes entre 40 y 55 metros de altura y con diámetros de aproximadamente 100 a 200 cm, con fustes limpios y con gambas. Los árboles subdominantes pueden alcanzar hasta 30-40 m de altura y poseen por lo general copas redondeadas y/o angostas. El estrato inferior está conformado por árboles con alturas entre 10 y 25 m y de copas angostas/redondeadas o cónicas. En el sotobosque (1 a 3m) se encuentran con frecuencia palmas enanas y hierbas grandes de hoja ancha.

Un estudio realizado en el bosque maduro muy húmedo de la estación biológica La Selva (Sarapiquí) (Clark and Clark 1996) indicó que los árboles con diámetros a la altura del pecho (dap) iguales o superiores a 70 centímetros representan solo el 2% de los fustes ($\text{dap} \geq 10\text{cm}$) sin embargo acumularon el 23% del área basal y un 27% de la biomasa total sobre el suelo. La tasa de mortalidad para una muestra de 282 árboles durante un periodo de 6 años fue de 0.6% por año y el incremento medio anual en diámetro varió entre 1,9 y 5,2 mm por año. Para una muestra de 193 árboles monitoreados durante 7 años el crecimiento casi igualó la pérdida en área basal y biomasa por mortalidad. Los autores concluyen que la biomasa en la clase diamétrica $+70\text{cm}$ está incrementando en el bosque maduro debido posiblemente a alteraciones previas o al cambio climático.

Para este mismo sitio (bosque muy húmedo, estación biológica La Selva, Sarapiquí), Mascaro, Schnitzer y Carson (2004) midieron la diversidad, abundancia y mortalidad de lianas (por 3.5 años) en un bosque sometido a aprovechamiento selectivo hace 50 años y en otro maduro no intervenido. La densidad media de lianas fue de 1493 ha^{-1} y una riqueza media de 23 especies por parcela de 864 m^2 . La mortalidad anual general fue de 9,4%; las lianas con dimensiones inferiores 2 cm de diámetro

mostraron una mortalidad más alta en tanto que las lianas con diámetros superiores a 5 cm mostraron una mortalidad menor (3.2%) y cinco de las especies más abundantes no mostraron ninguna mortalidad. En la mayoría de los bosques tropicales de tierras bajas se han citado a las familias Bignoniaceae y Fabaceae como las más comunes, sin embargo en el bosque de La Selva la familia con más especies fue Sapindaceae y la familia más abundante Dilleniaceae. *Moutabea aculeata* (Polygalaceae) fue la especie más abundante (17%) y con la tasa de mortalidad más baja de las 60 especies registradas el bosque. Las 10 especies más abundantes representan más del 60% de los individuos. Los autores concluyen que la abundancia y diversidad de lianas es muy baja en La Selva comparada con otros sitios en el neotrópico, incluidos otros bosques muy húmedos.

2. *Ambientes de tierras bajas secas y con una estacionalidad muy marcada* (e.g. Guanacaste). El estrato superior está formado por árboles maduros con alturas totales entre 20 y 30 metros, poseen troncos rectos y gruesos, con copas anchas y planas que frecuentemente no tienen contacto entre sí. La vegetación es de decidua a semidecidua en la estación seca. En las llanuras aluvionales y en las riberas de los ríos es posible encontrar bosques siempre verdes. El estrato inferior está formado por árboles retorcidos o inclinados con una altura entre 10 y 20 m. El sotobosque está conformado por vegetación leñosa con alturas entre 2 y 5 m, espinosos y con tallos múltiples. Los bejucos leñosos son comunes no así los herbáceos. Esta zona alberga al único roble de bajura de Costa Rica (*Quercus oleoides*).

Se estima que solo el 2% del bosque seco tropical de Centro América se encuentra sin alteración y por ende la regeneración de hábitat parece ser la mejor opción para mantener poblaciones de fauna silvestre. Sorensen y Fedigan (2000) estudiaron la relación entre densidad de mono carablanca (*Cebus capucinus*), mono aullador (*Alouatta palliata*) y mono araña (*Ateles geoffroyi*) en 14 sitios representativos de un gradiente de regeneración que abarcó de 0 a 180 años desde que se abandonó el pastos en el Parque Nacional Santa Rosa (bosque seco tropical). La vegetación y la densidad de los monos fue evaluada utilizando transectos de 600 m de largo entre febrero y junio de 1996. La densidad de todas las especies de monos fue mayor en bosques más viejos y con mayor oferta alimenticia. El estudio resalta que el hábitat requerido por los monos y por consiguiente por una población viable puede lograrse mediante la regeneración y mantenimiento del bosque seco tropical.

3. *Ambientes de tierras altas* (e.g. Talamanca, Volcánica Central). Este es un bosque perennifolio y con dos a tres estratos. Los árboles dominantes son en su mayoría del género *Quercus* y alcanzan entre 30 y 40 m de altura; aunque algunos pueden alcanzar hasta 50 m de alto. El estrato arbóreo del subdosel es relativamente abierto con árboles de 10 a 20 m de altura, con troncos delgados y copas de redondeadas a alargadas o cónicas. Luego puede encontrarse un estrato de helechos arborescentes, bambúes, palmas enanas con alturas de 2 a 7 metros. El sotobosque (estrato herbáceo) es moderadamente denso a denso y conformado por especies leñosas de 0,5 a 2 m de alto. En los sitios más húmedos el sustrato está cubierto de helechos, begonias, aráceas, parches de musgo y una gruesa capa de mantillo en descomposición. En los sitios con fuerte influencia nubosa los troncos y ramas están cubiertos de musgos, orquídeas, bromelias, aráceas y pequeños helechos. Kapelle et al. (1996) estimaron que se requiere un mínimo de 84 años para recuperar la fisionomía y estructura de un bosque

montano alto (2900-3000 msnm) que haya sido deforestado y que la recuperación en altura máxima y área basal es de 2 a 5 veces más lenta que en bosque montano bajo o tropical de tierras bajas.

F. Integridad del Ecosistema (por desarrollar)

3.3 Patrones de Biodiversidad y Hábitats

Los componentes bióticos del ecosistema se expresan como diferentes niveles de organización ecológica (individuo, población, comunidad, ecosistema) y pueden visualizarse como partes o elementos de la biodiversidad (e.g. tipos de hábitats, especies, poblaciones, comunidades de plantas y animales). La *estructura* es el conjunto de características físicas que sustenta los componentes o elementos de la biodiversidad (eg. tamaño de parches, fragmentación, estructura de copas, densidad).

La teoría de escala y jerarquía reconoce que todo fenómeno natural debe analizarse a la escala en que mejor se manifieste. Desde esta perspectiva, los resultados de estudios locales (e.g. parcelas, transectos) no pueden extrapolarse a nivel del ecosistema y menos aún del paisaje (Kerkhoff y Enquist 2006; Miller, et al. 2004, Will-Wolf et al. 2006). Los estudios de escala fina permiten entender la dinámica del ecosistema en tanto que los patrones que caracterizan grandes extensiones tales como el macroclima y la configuración del relieve son elementos que modifican los procesos e interacciones (e.g. evapotranspiración, producción primaria, descomposición, mortalidad) a nivel de meso y macro escala y permiten visualizar las interacciones a nivel de ecorregión o gran ecosistema (Turner, Gardner y O' Neil, 2001; Niemi et al. 2004).

Los patrones bióticos-abióticos así como los procesos ecológicos se expresan de manera particular a diferentes escalas espaciales y temporales (Fig. 5). Para entender los procesos y en última instancia el funcionamiento del ecosistema es necesario estudiar sus diferentes niveles de organización (individuos, grupos, poblaciones, comunidades, ecosistemas y paisajes y gran ecosistema). La implicación práctica de esta afirmación es que no existe una única escala espacio-temporal que permita describir, cuantificar, analizar y entender la configuración de los elementos abióticos, bióticos y el funcionamiento (procesos) de un ecosistema en una determinada localidad, región o país (Holland et al. 2004; Kerkhoff and Enquist 2006, Sinicrope 2007, Thuiller et al. 2003). Una solución práctica ante la complejidad de la naturaleza es utilizar un enfoque multiescala en la definición y estudio de los ecosistemas (Dale et.al. 2004; Niemi et al. 2004, Schooley 2006).

La organización, configuración espacial y funcionamiento de los ecosistemas es una respuesta a la combinación e interacción de gradientes abióticos (e.g. pendiente, temperatura, humedad, nutrientes) y bióticos (e.g. niveles de competencia y predación, oferta de recursos) así como de la capacidad/oportunidad de dispersión de los organismos y de la aleatoriedad demográfica (Leibold y Geddes 2005, Pulliam 2000, Soberón y Peterson 2005). Las alteraciones naturales y en especial las de origen antrópico imponen modificaciones adicionales a dichos patrones (McDaniel y Borton 2002).

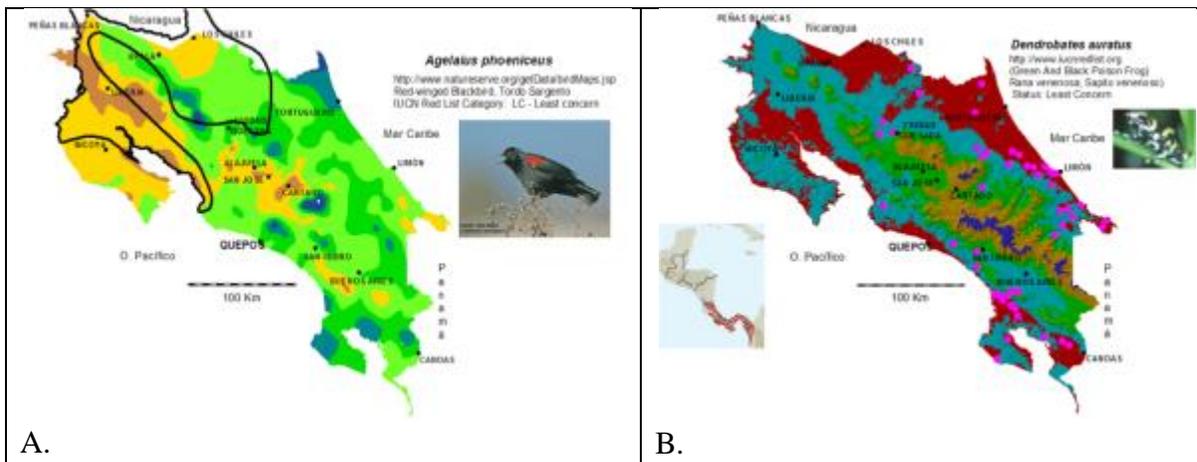


Figura 5: Relación entre patrones abióticos y distribución multiescala de organismos. **A.** Distribución esperada del Tordo sargento (*Agelaius phoeniceus* (Linnaeus, 1766) en Costa Rica y su relación con el patrón de lluvia media anual. El rango mundial estimado de la especie es de 13.7 millones de km² (<http://www.birdlife.org/datazone/species/>). **B.** Sitios con registros de la rana venenosa (*Dendrobates auratus*) en Costa Rica y su relación con la elevación y topografía; el recuadro inferior-izquierdo muestra la distribución esperada de la especie (Nicaragua; Costa Rica; Panamá y Colombia). Fuentes: BirdLife International (2009) Species factsheet: *Agelaius phoeniceus*. Descargado de <http://www.birdlife.org> el 25/5/2009; <http://darnis.inbio.ac.cr/ubisen/> y [AmphibiaWeb](http://amphibiaweb.org/): Information on amphibian biology and conservation. 2009. Berkeley, California: AmphibiaWeb. Disponible en <http://amphibiaweb.org/>. (Accesado Mayo 25, 2009).

La investigación realizada hasta la fecha indica que, a escalas regionales-globales, existe una relación entre las características de los "ecosistemas" y los gradientes y patrones geoespaciales de factores ambientales tales como clima (temperatura, precipitación, meses secos, evapotranspiración), suelo (nutrientes) y topografía (pendiente) (Del Grosso et al. 2008; Gómez y Gallopin 1991, Turner et al. 2001). Sin embargo a nivel de microescala (e.g. parche de bosque) las relaciones no son tan evidentes como se ilustra a continuación.

Harms et al. (2001) estudiaron la relación entre hábitat y el patrón de distribución de 171 especies de árboles y arbustos en un bosque de 50 ha en la isla Barra Colorado, Panamá. Los resultados indican que solo 9 especies (5%) mostraron una relación positiva con el hábitat "meseta baja" en tanto que 19 especies (11%) mostraron una asociación negativa. El resto de las especies (143, 84%) no mostraron ninguna preferencia por dicho hábitat. Un pequeño pantano en el área de estudio registró 32 especies con una asociación positiva y 20 especies con una asociación negativa, dejando el 70 % de las especies sin ninguna tipo de asociación.

Los autores indican que estudios previos han obtenido valores más altos de asociación entre especie-hábitat (e.g. Clark et al. 1998), sin embargo dichos resultados se deben al uso incorrecto de pruebas de chi-cuadrado para determinar dicha asociación. Su conclusión es que en la medida que la asociación de hábitat refleja una especialización de hábitat, los resultados del estudio sugieren que la misma juega un papel limitado en el mantenimiento de la diversidad de especies del bosque estudiado.

Biodiversidad y Gradientes Altitudinales

Por siglos, los ecólogos, naturalistas y biogeógrafos han propuesto que existe una asociación entre la variación en la diversidad de especies expresada como patrones biogeográficos y la variación espacial de elementos abióticos (ecoclina) tales como temperatura, precipitación, estacionalidad, topografía y disponibilidad de nutrientes. Por otro lado, la teoría de autocorrelación espacial (Felizola et al. 2006) propone que las condiciones ambientales no cambian aleatoriamente en una gradiente geográfica (e.g. a lo largo de una montaña) y por tanto los lugares más cercanos entre sí serán también más similares que aquellos más lejanos. Este principio podemos percibirlo al desplazarnos, por ejemplo, desde el nivel del mar hasta el Cerro Chirripó en la Cordillera de Talamanca ó en la vertiente Pacífica al ascender desde Puntarenas hasta Monte Verde.

Esta percepción dio origen a lo que se conoce actualmente como "gradientes altitudinales en comunidades bióticas" (Lomolino 2001). La visión moderna de ecólogos y biogeógrafos sobre los patrones generales que observamos en la naturaleza es que son posiblemente el resultado de la interacción de múltiples procesos bióticos y abióticos redundantes o convergentes en lugar del efecto independiente de un factor predominante (Brehm et al. 2007, Lomolino 2001, Lawton, 1996). Por ejemplo, la reducción en el número de especies de aves a elevaciones mayores ha sido atribuido por diversos autores (Blake y Loselle, 2000, Janes 1994, Terborgh 1971) a una reducción en el área de bosque a elevaciones mayores, reducción en abundancia y distribución de tamaño de invertebrados, competencia y a cambio en las condiciones ambientales.

Al analizar datos sobre gradientes ambientales y su relación con la diversidad de especies se debe considerar el área muestreada en cada estudio, ya que el número de especies registradas en una localidad dada depende del área muestreada (e.g. 0.1ha vs 0.3ha). Al comparar datos de riqueza de especies para un tamaño de muestra estandarizado (e.g. riqueza de especies por 1000 m²) es posible hacer las siguientes generalizaciones (Brown and Lomolino 1998, Lomolino 2001):

Gradiente altitudinal en área: El área de las comunidades zonales disminuye con la elevación. Esta afirmación implica que la diversidad gama (riqueza total en un gradiente dado) debería variar de manera proporcional al área de cada zona o banda altitudinal, con un máximo en la zona de mayor área. Los diferentes grupos taxonómicos deberían seguir el mismo patrón de área vs riqueza de especies. Esta afirmación conocida como el "efecto de masa" (Shmida and Whittaker, 1981; Schmida and Wilson, 1985) aplica al gradiente como un todo (e.g. nivel del mar-Cerro Chirripó Grande) pero no a cada sitio a localidad a lo largo del gradiente (e.g. San Gerardo de Dota, localidad representada por la diversidad alfa).

Las tierras bajas tienen mayor extensión y por tanto también se esperaría que recibieran mayor energía solar, que dispongan de más recursos y por ende de un mayor número de organismos. También ofrecerían una mayor refugia (remanente de una población o población aislada de una especie que en el pasado tuvo una distribución amplia), un área mayor para especies con rangos hogareños mayores, una mayor diversidad de ambientes y finalmente una mayor probabilidad de recibir inmigrantes. Este palantamiento ha promovido la idea de que la mayor riqueza se encuentra en las tierras bajas; sin embargo, los datos

empíricos no parecen apoyar esta predicción y más bien con frecuencia indican que la diversidad máxima se encuentra a elevaciones medias (ver cuadro 3) (Cardelús et al. 2006, McCoy 1990, Terborgh 1977).

Gradiente altitudinal en clima: Los diferentes elementos del clima (e.g. temperatura, precipitación, estacionalidad) no varían de manera aleatoria a lo largo del gradiente y por tanto la densidad de especies debería variar con dichas condiciones ambientales locales. A esta afirmación se le puede designar como la hipótesis de "nicho climático" y predice que la diversidad máxima de organismos se esperaría en aquellos sitios que ofrescan las condiciones óptimas para el mayor número de especies. La riqueza en especies también se espera que esté asociada a cambios en condiciones ambientales (i.e. clima, suelos, vegetación), los cuales representan condiciones de ecotono. La covariación espacial de las variables ambientales haría pensar que la "productividad máxima" así como el "menor estrés ambiental" se presentarían en zonas bajas ó en zonas de elevaciones intermedias. Aun cuando este patrón general puede asumirse como válido para toda "montaña", cada especie focal/grupo taxonómico tendrá su propia máxima u óptimo. Otro aspecto a considerar es que la diversidad a lo largo de un gradiente altitudinal puede estar influenciada por el efecto de condiciones climáticas pasadas como por ejemplo la última glaciación (e.g. Páramos y bosque nuboso Montano alto en la Cordillera de Talamanca) ó procesos antropicos como la deforestación (Blake and Loiselle 2000).

Aislamiento de comunidades montanas: Los hábitats ubicados en los pisos montanos están, en general, más aislados de otras montañas, de poblaciones humanas y de otras comunidades zonales en la misma montaña. Por esta razón las tasas de inmigración a las comunidades zonales debe disminuir con la elevación, en tanto que la densidad de especies así como el endemismo deben alcanzar su máximo a elevaciones medias por ser sitios cuya combinación de factores promueven un óptimo para muchas especies o altas por proveer el aislamiento geográfico requerido para procesos de especiación. Por esta razón, estos sitios pueden representar localidades importantes de especiación y endemismo (Kikkawa and Williams 1971, Terborgh 1977, McCoy 1990, Rahbek 1995, Heaney, 2001).

Retroalimentación biótica entre comunidades zonales: La interacción y retroalimentación de las comunidades zonales puede explicar o estar relacionado con los máximos en densidad de especies a elevaciones intermedias. Bajo esta hipótesis, la mayor riqueza de especies se esperaría en la zona de transición/contacto entre las dos comunidades más ricas del transecto altitudinal (máxima diversidad alfa); el cual, representa una versión altitudinal del concepto de "ecotono" caracterizado por la mayor diversidad beta. Esto implica que conforme se avanza en elevación se reduce la riqueza local de especies.

La investigación sobre patrones de diversidad en transectos altitudinales requiere de una estimación de la diversidad alfa, beta y gama. La diversidad beta puede expresarse como la relación entre la diversidad global (diversidad gama) y la diversidad local (diversidad alfa) (Whittaker 1975). Este valor es utilizado como un indicador del grado de especialización de hábitat entre especies así como del posible efecto de la competencia entre especies en la "saturación de la comunidad" (Caley and Schluter 1997). La definición anterior presenta dos limitaciones básicas; la primera, ¿cuál índice de diversidad utilizar y la segunda decidir ¿qué es local? y ¿qué es regional?; esto conlleva a comparaciones no estandarizadas y en algunos casos engañosas. Por esta razón, la diversidad beta se mide con frecuencia como la tasa de cambio de

especies sin considerar su abundancia relativa (Koleff et al. 2003); sin embargo, cuando la abundancia es muy variable, el incluirla es biológicamente más informativo y permite una mejor valoración de los patrones de diversidad.

En Costa Rica, la investigación sobre los cambios en la composición de comunidades vegetales y animales a lo largo de transectos altitudinales es escasa; sin embargo existen tres transectos (La Selva-Barva-Vertiente Caribe; Cordillera de Tilarán-Pacífico-Caribe y Cordillera de Talamanca-Pacífico) donde dicha relación se ha estudiado para polillas, aves, árboles, teridófitas y epífitas vasculares (Cuadro 3). Todos los transectos han abarcado sitios sobre los 50 msnm y por ende no se cuenta con un transecto completo desde el nivel del mar hasta la cima de la montaña.

Cuadro 3: Riqueza de especies en bosques neotropicales y transectos altitudinales en Costa Rica.

Sitio-Transecto	Grupo taxonómico	
Bosques Neotropicales (Gentry 1988).	Plantas ≥ 2.5 cm dap en parcelas de 0.1ha, plantas ≥ 10 cm dap en parcelas de 1ha y censos de flora.	
Patrones de diversidad alfa, beta y gama		
<ol style="list-style-type: none"> 1. La riqueza de especies en bosques de tierras bajas muestra una mayor correlación con precipitación que con factores edáficos. 2. Existe un patrón de reducción en la riqueza de especies con la precipitación, obteniéndose una asíntota a aproximadamente 4000m de lluvia anual. 3. Para un transecto en los Andes, se observó una reducción lineal en riqueza de especies vegetales a partir de 1500 m y hasta los 3000 m. En las muestras analizadas no se observó el efecto de elevaciones medias. 		
Transecto y Autor	Grupo taxonómico	Patrón observado
La Selva-Barva 100-3400m (100-2800 m) y Cerro de la Muerte (2700-34000 m) (Kluge et al. 2006).	pteridófitas (helechos y afines)	Se registraron 484 especies. La distribución de la riqueza a lo largo de transecto mostró una forma de joroba con un máximo a elevaciones medias (c.1500- 1700 m).
La Selva-Barva 20-2600 m. (Watkins et al. 2006).	Teridofitas (helechos)	<p>Se registraron 484 especies. La distribución de la riqueza a lo largo de transecto mostró una forma de joroba con un máximo a elevaciones medias (c.1500- 1700 m).</p> <p>El efecto del dominio medio (EDM) fue la variable que mejor explicó la distribución de las especies; seguida por la humedad y la temperatura. No fue posible discriminar entre el efecto de cada uno de estos factores pues tanto la riqueza pronosticada por el modelo basado en EDM como la mayor riqueza de especies observada y el traslape en las condiciones ambientales favorables coincidieron en elevaciones medias.</p> <p>Las especies con rangos de elevación restringido mostraron una concentración mayor a la predicha por el modelo EDM</p>

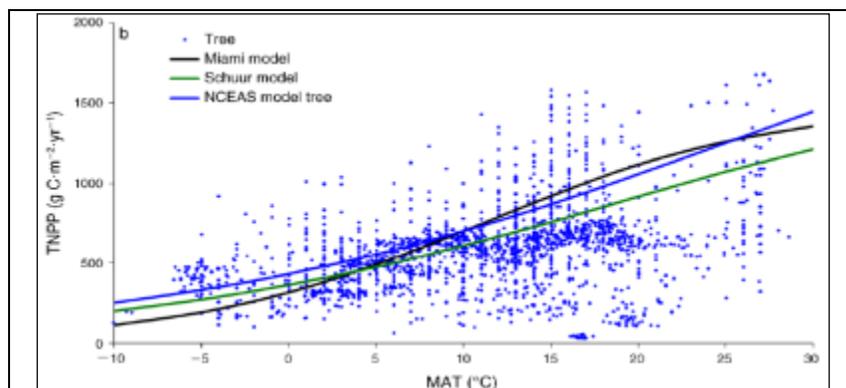
		<p>en ambos extremos del gradiente.</p> <p>Los sitios en elevaciones medias ofrecen la máxima humedad así como temperaturas moderadas. Los autores proponen que la reducción en riqueza a mayores elevaciones se debe a la reducción en temperatura en tanto que en elevaciones bajas se debe a la baja disponibilidad de agua debido a la alta temperatura.</p> <p>VARIABLES explicativas: temperatura diaria mínima, media y máxima, humedad mínima media diaria, precipitación media anual, cobertura de epífitas en troncos y ramas (como un indicador de humedad).</p>
La Selva-Barva 30, 500, 1000, 1600, 2000 y 2600 m (Cardelús et al. 2006)	Epífitas vasculares (hábitat copas de árboles).	<p>El bosque nuboso a 1000 m fue el sitio más diverso en epífitas con 215 especies (39%). El segundo sitio más diverso se registró a 1600 m con 171 especies (31%). Este patrón no se observó para las especies con rangos altitudinales restringidos.</p> <p>El 71% de las especies (393) se registraron solo en un sitio de muestreo y 101 (18%) en dos sitios de muestreo. Esto indica que la mayoría de las especies tienen un rango de elevación muy restringido. Estas especies muestran una riqueza muy similar (50 a 60 especies) entre los 750 y 2250 m.</p>
La Selva-Barva, sitios muestreados 40 a 2730 msnm (Brehm et al. 2006).	Polillas	<p>La riqueza máxima de especies registradas, estimadas e interpoladas se presentó a 1100 y 2100 m. La estimación de riqueza "enrarecida" (<i>rarefied</i>) y el estimador alfa de Fisher indican que la mayor diversidad se encuentra entre 500 y 2100 m. Todas las medidas de diversidad indican claramente que tanto la riqueza como la diversidad de polillas de la familia Geometridae se reduce en ambos extremos del gradiente altitudinal.</p>
Cordillera de Tilarán (1100-1700m, vertiente Pacífico. (Jankowski et al. 2009).	Aves	<p>Los cambios en composición de especies están altamente correlacionados con cambios en humedad; los cuales a su vez están correlacionados con la cobertura de epífitas y dependen de la distancia a la divisoria continental en la vertiente Pacífica. La elevación no fue un buen predictor de los cambios en la composición de especies. La comunidad de aves cambia en unos cuantos kilómetros en la vertiente Pacífica (alta diversidad beta).</p>
La Selva-Barva, sitios muestreados 40, 500, 1000, 1500 y 2000 m. (Blake y Loselle, 2000).	Aves	<p>La diversidad de especies faunísticas cambió muy poco entre 50 y 1000 m en el transecto La Selva-Barva, sin embargo los datos indican que la diversidad máxima se registró a los 500 m. La composición de especies cambia sustancialmente entre los 500 y los 1000 m.</p>

Cordillera de Tilarán. 650 a 750 m y 750 a 1450 m en Vertiente Caribe y 1000 a 1400 m, 1400 a 1550 m y 1500-1700 m en Vertiente Pacíficay divisoria continental. (Young et al. 1998)	Aves	
La Selva-Barva sitios muestreados 100 a 2220 m. (Lieberman et al. 1996).	Árboles dap ≥ 10	La mayor riqueza se registró a los 300 m con 149 especies por hectárea. Un reanálisis posterior de rarefacción de los datos por Cardalús (2006) indicó que existe una mayor riqueza de especies entre 300 y 500 m. La composición de especies varió a lo largo del gradiente altitudinal y no se observó ningún cambio discreto.

Productividad Primaria

La productividad primaria es uno de los principales indicadores del funcionamiento del ecosistema y expresa, entre otras cosas, la fijación de carbono por la vegetación que se convierte en madera, alimento y hábitat para la fauna silvestre. Si observamos la productividad primaria neta (PPN) a nivel mundial, los sistemas más productivos son los estuarios, humedales (pantanos, ciénagas), el bosque muy húmedo tropical y el bosque muy húmedo templado. La media de PPN de dichos sistemas es aproximadamente 9200 Kcal/m²/año. Sin embargo, la PPN local variará como respuesta a las condiciones particulares de cada sitio (e.g estacionalidad, cantidad de energía disponible, tipo de humedal, grado de alteración) (Del Grosso, et.al., 2008).

La figura 6 ilustra la relación entre productividad primaria neta (PPN) (una expresión del funcionamiento del ecosistema) y las variables precipitación y temperatura media anual a nivel mundial. Las gráficas permiten concluir que efectivamente existe una correlación positiva entre PPN y las variables precipitación y temperatura; sin embargo la misma es menos que perfecta e ilustra la alta variabilidad de las localidades de donde provienen los datos.



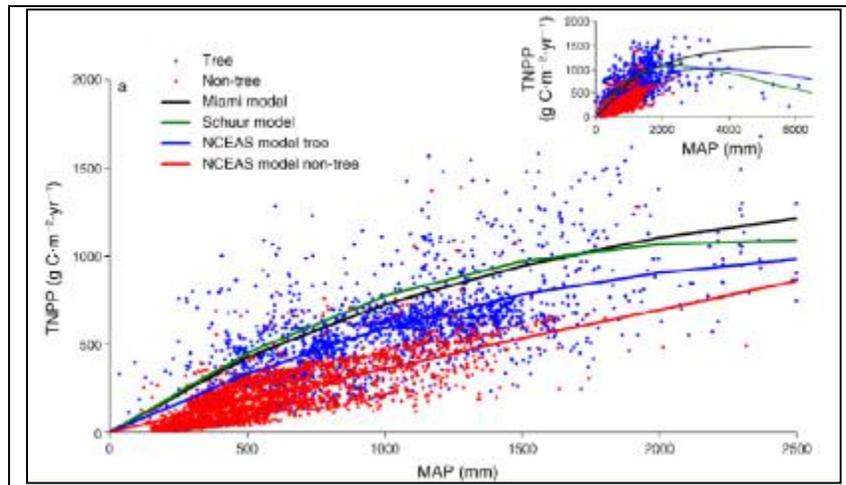
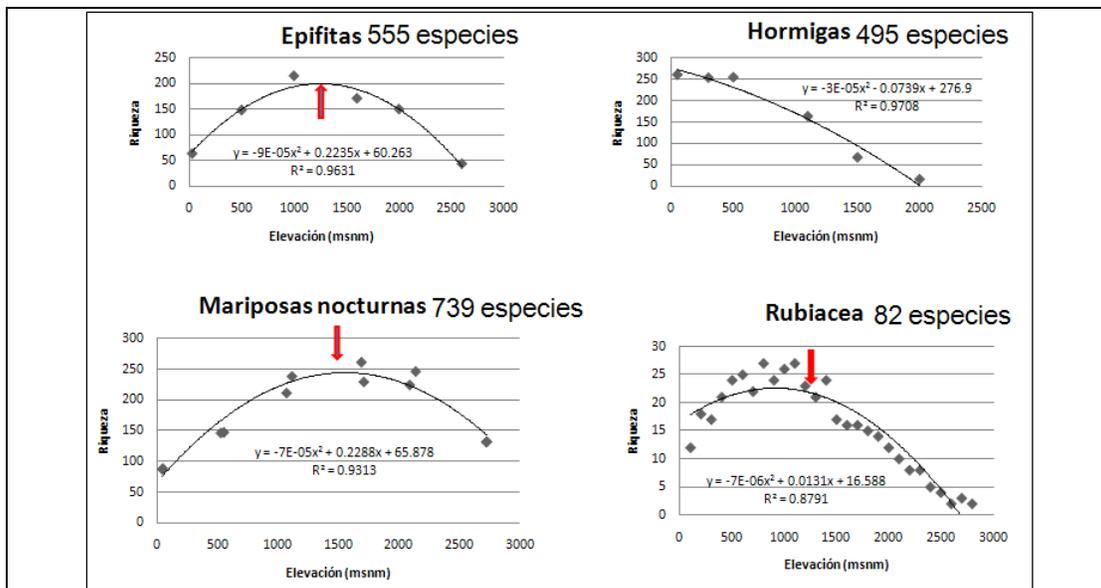


Figura 6: Relación entre Producción Primaria Neta ($\text{g}/\text{m}^2/\text{año}$), temperatura media anual (MAT, $^{\circ}\text{C}$) y precipitación media anual (MAP, mm). Fuente: Del Grosso, et.al. , 2008. En el recuadro superior derecho se aprecia que la relación entre precipitación y PPN es negativa a partir de aproximadamente 4000 mm milímetros de lluvia (e.g . Osa y Sarapiquí). Según Gentry (1988), en tierras bajas, este valor de lluvia también indica el posible punto de saturación de la comunidad en cuanto a riqueza de especies arbóreas. Schuur (2003) estimó que la relación negativa entre precipitación media anual y PPN implica una reducción de 25% en la PPN potencial estimada para el trópico (30°S a 30°N).

La figura 7 ilustra la relación entre riqueza (una expresión de biodiversidad del ecosistema) y la variable elevación para el transecto de bosque La Selva (30 msnm) -Volcán Barva (2906 msnm), vertiente Caribe de Costa Rica. La grafica muestra nuevamente que existe una correlación entre riqueza y ambiente; sin embargo dicha relación no es lineal ni presenta los mismos puntos de inflexión para los diferentes grupos taxonómicos. Las epifitas y mariposas nocturnas tiene un pico de riqueza entre 1070 y 2140 msnm; la mayor riqueza en hormigas se encuentre entre 0 y 1000 msnm; en tanto que las especies de la familia Rubiaceae muestran su mayor riqueza entre 0 y 1400 msnm.



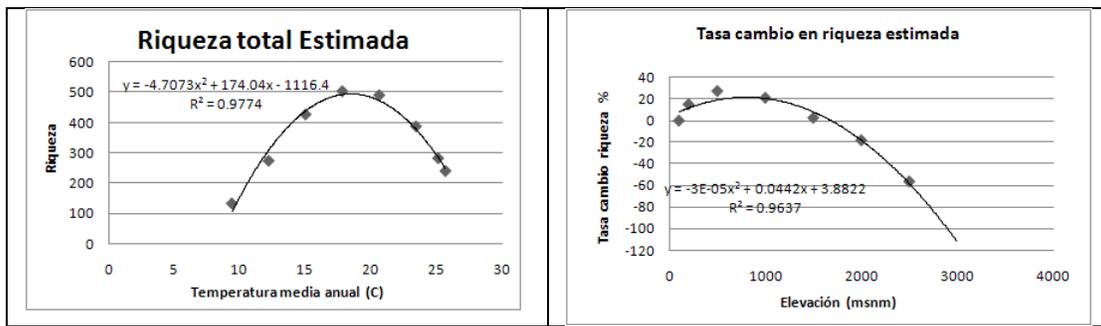


Figura 7: Relación entre riqueza y elevación (msnm) en el transecto La Selva (30 msnm) -Volcán Barva (2906 msnm), Vertiente Caribe de Costa Rica. Las fechas indican los puntos de inflexión en la tendencia. La riqueza total estimada se calculó para clases de 100 m utilizando las ecuaciones ajustadas para cada grupo. La gráfica de tasa de cambio en riqueza indica que ganamos especies al ascender desde 30-50 m hasta aproximadamente 1000 metros y luego se inicia una reducción en la riqueza de especies. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Colwell et al. 2008.

Aún cuando no existe un límite discreto entre ecosistemas, sí existen espacios geográficos que conforman unidades biofísicas y culturales discretas (Fikret et al. 1998, Olson et al. 2001). Por ejemplo, un análisis de territorio costarricense permite distinguir gradientes de energía, precipitación, topografía y evapotranspiración; los cuales dan lugar a bosques de altura y de bajura; de zonas secas, húmedas y anegados; así como a humedales herbáceos, manglares y cultivos con una distribución geográfica restringida (e.g. palma africana, banano y café) (Fig. 8). Esto permite suponer que existen insumos, procesos, interacciones, organismos, factores evolutivos e impulsores de cambio que configuran los ecosistemas a diferentes escalas espaciales y temporales (Willis 1997).

Dado que un ecosistema puede ser tan pequeño como la copa de un árbol ó una charca en un pastizal ó tan extenso como el bosque nuboso, es necesario utilizar un sistema de clasificación flexible, holístico y jerárquico que reconozca las similitudes y diferencias de las comunidades bióticas y de su entorno abiótico. Cada espacio geográfico forma parte de un ecosistema identificable en el terreno pero de límites difusos que sintetiza las interacciones entre factores abióticos (Ej. geología, formas del terreno, suelos, clima, agua) y bióticos (vegetación, micro y macro fauna); así como las interacciones entre organismos (e.g. competencia, relaciones predador-presa, comensalismo, parasitismo, dispersión) y en especial, la huella de las intervenciones humanas (e.g. extracción de recursos ó la conversión de bosques a pastos, cultivos y ciudades) (Laurence et al. 1997, Turner et al. 2001).



Figura 8: El paisaje costarricense permite inferir que eexisten insumos, organismos, procesos, interacciones, factores evolutivos e impulsores de cambio que configuran los ecosistemas a diferentes escalas espaciales y temporales.

CAPITULO CUATRO

4 Regionalización ecológica y gestión de la biodiversidad

En la presente sección se resume la evolución histórica del concepto de ecorregión y se analiza el porqué de su creciente aplicación a escala nacional, continental y global. Asimismo, se destacan algunos elementos de la Reunión de Durban, la cual marcó la pauta para un enfoque ecosistémico y de paisaje en la gestión de ecosistemas protegidos y no protegidos.

4.1 Gestión de la biodiversidad y el contexto ecorregional

En el pasado, las áreas protegidas eran “islas protegidas” rodeadas por “mares de ecosistemas culturales”. En la mayoría de los casos, estas áreas estaban aisladas de su entorno, de la planificación territorial regional-nacional y de las actividades económicas que las circundaban. Sin embargo, los movimientos de especies, nutrientes y personas no operaban ni operan utilizando dichos límites. De igual manera, hasta la fecha, la gestión de los sistemas naturales y culturales se ha realizado utilizando divisiones administrativas (e.g. áreas protegidas, cantones y regiones de planificación) que no reconocen las relaciones biofísicas de las cuales dependen la integridad de los ecosistemas. En la gestión territorial cotidiana esto se traduce en una disfuncionalidad entre las unidades administrativas y las unidades funcionales (ecosistemas), la cual debe remediarse a través de aproximaciones ecosistémicas que consideren al territorio como un todo.

En este sentido, en el V Congreso Mundial de Parques celebrada en Durban, Sudáfrica (2003)⁸ se eligió como tema central “Beneficios más allá de las fronteras” para marcar un cambio de paradigma en la gestión de los espacios protegidos (Ver cuadro 4). Este nuevo enfoque parte de la premisa que las áreas protegidas no pueden estar aisladas de las tierras ni de los mares que las rodean ni tampoco de las comunidades y de las actividades económicas que se tienen lugar en ellas y en sus alrededores.

El Plan de Acción de Durban (UICN, 2003) enfatiza la necesidad de establecer un sistema mundial de áreas protegidas que represente todos los socio-ecosistemas del mundo y que estén conectadas con los paisajes terrestres y marinos circundantes. Los acuerdos reconocen que la protección del ecosistema es esencial para lograr la meta de proteger especies, hábitats y paisajes. Además, sugiere utilizar un enfoque científico para definir las unidades espaciales (socioecosistemas, eco-regiones y bio-regiones), teniendo en cuenta factores tales como la escasez, el carácter poco común, la vulnerabilidad y las amenazas.

⁸ http://cmsdata.iucn.org/downloads/vth_iucn_es.pdf

Cuadro 4: Cambio de paradigma en la gestión de las Áreas Silvestres Protegidas. De la “isla” a la matriz territorial ecofuncional.

Tema	En el pasado	En la actualidad
Objetivos	Destinadas a la conservación Establecidas principalmente para proteger vida silvestre y bellezas escénicas espectaculares Manejadas principalmente para visitantes y turistas Valoradas como áreas naturales silvestres Para protección	Manejadas también con objetivos sociales y económicos Establecidas muchas veces por razones científicas, económicas y culturales Turismo como medio de contribuir a la economía local Valoradas por la importancia cultural de lo que se conoce como áreas en «estado silvestre» También para la restauración y rehabilitación
Gobierno	Administradas por el gobierno central	Gestionadas por muchos socios
Población local	Planificadas y gestionadas contra la población local Gestionadas sin considerar las Opiniones locales	Gestionadas con o para la población local y en algunos casos por la misma población local Gestionadas para satisfacer las necesidades de la población local
Contexto mayor	Desarrolladas en forma aislada Manejadas como «islas»	Planificadas como parte de los sistemas nacionales, regionales e internacionales Desarrolladas como «redes» (núcleos protegidos estrictamente, amortiguados y conectados por corredores verdes)
Percepciones	Consideradas principalmente como un bien nacional Consideradas solo de interés Nacional	Consideradas también como un bien de la comunidad Consideradas también como de interés internacional
Técnicas de gestión	Gestionadas de forma reactiva dentro de una escala de tiempo limitada Gestionadas de manera tecnocrática	Gestionadas de manera adaptativa Gestionadas con sensibilidad Política
Capacidad de gestión	Gestionadas por científicos y expertos en recursos naturales Dirigidas por expertos	Gestionadas por personas con capacidades múltiples Gestionadas tomando en consideración los conocimientos locales
Finanzas	Pagadas por los contribuyentes	Pagadas con recursos de muchas fuentes

Fuente: Phillips Adrian. 2003. Un paradigma moderno. Boletín de la UICN Conservación Mundial No.2:6-7 www.iucn.org/themes/wcpa/wpc2003/

Ante esta gestión no ecofuncional, la regionalización ecológica se ha propuesto como una herramienta que permite gestionar los bienes y servicios de los ecosistemas desde una perspectiva integral. En su sentido más amplio, la regionalización ecológica consiste en dividir un territorio o espacio geográfico

mayor en áreas menores con características o rasgos geoambientales homogéneos (Schultz, 1995). Su objetivo es considerar la heterogeneidad ecológica (natural y antropogénica) característica de un determinado espacio geográfico con el fin de asegurar que las “unidades” delimitadas mantienen las funciones ecológicas vitales requeridas para perpetuar las diferentes expresiones de la biodiversidad. Entre las críticas al concepto tenemos que no considera las interacciones de la región con su entorno, ni su dinámica interna. Además, desconoce que muchas de las variaciones ambientales generalmente son graduales y con frecuencia supone que a mayor cantidad de variables analizadas, mayor acercamiento a la realidad.

Aun cuando el término ecorregión, bioregión o región ecológica se utiliza cada vez con mayor frecuencia en los entornos académicos, gubernamentales y no gubernamentales relacionados con la gestión de los bienes y servicios de los ecosistemas y en especial al referirse a su funcionamiento; el concepto como tal no es nuevo (Crowley, 1967). Quizás, una de las principales diferencias entre su uso inicial (e.g. 1970-80) y en los años posteriores a la adopción de la Convención de Biodiversidad, es que los gobiernos han tomado conciencia de que “todo está conectado con todo” y que por tanto al diseñar, planificación y ejecutar acciones se deben considerar los procesos ecosistémicos a diferentes escalas espaciales y temporales.

En la actualidad se reconoce que los ecosistemas están interconectados entre sí y que se estructuran espacialmente para formar un todo que es "mayor que la suma de sus partes". El acervo de conocimiento científico a disposición de la humanidad sobre la composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas indica que si deseamos paisajes y economías multifuncionales es necesario utilizar las "ecorregiones" como unidades de gestión territorial.

4.2 Experiencias internacionales y evolución del concepto

Los conceptos de espacio geográfico y región tienen su origen en la ciencia geográfica. Todo espacio geográfico es localizable, se puede cartografiar, es diferenciado, se puede describir, tiene una historia (natural y antrópica) particular y está sujeto a transformaciones. Desde la perspectiva antropogénica es el espacio habitado por los seres humanos en su interrelación con el ambiente y puede expresarse de formas muy diversas tales como un espacio natural, agrario, ó urbano. Otro término asociado al concepto de espacio es el de “territorio”, el cual designa un espacio con una connotación legal o bajo la jurisdicción administrativa de una autoridad. La escala, entendida como la “distancia” desde la cual percibimos y analizamos el espacio, permite analizarlo desde un nivel global (planeta) hasta el local (e.g. finca, parcela). Para interpretar los fenómenos geográficos a un nivel espacial determinado es necesario contar con las tres expresiones del espacio geográfico: la biótica, la abiótica y la antrópica.

A partir de la definición de espacio y escala, es posible describir y entender la relación ser humano-ambiente utilizando unidades discretas denominadas “regiones”. Sin embargo, aún cuando casi cualquier persona puede definir “una región” lo difícil es decidir ¿qué es? y ¿cuáles son sus límites?. La definición genérica de región es “espacio geográfico que se organiza de forma homogénea y de manera diferenciada con respecto al espacio que la rodea”. Según el criterio que utilicemos para dar unidad al espacio (e.g. social, económico, ecológico, fitogeográfico) tendremos un tipo de región u otro y al depender su

expresión espacial de la escala, con frecuencia las regiones se traslapan. Dada la variabilidad espacial en los diferentes criterios válidos para delimitar regiones, es prácticamente imposible utilizarlos todos y por ende debe elegirse un “*fenómeno dominante*” para guiar el proceso de regionalización. El fenómeno dominante depende de la escala a la que se trabaje, por ejemplo, a escala nacional pueden utilizarse patrones climáticos, de uso-cobertura de la tierra ó la configuración dominante del paisaje (e.g. valles, llanuras, montañas); en tanto a que a escala local se pueden utilizar elementos tales como la presencia de un bosque ribereño ó un cultivo dominante.

La primera etapa en la aplicación de los conceptos de “región” y “región natural” se remonta a inicios del siglo XX con los trabajos de Herbertson a nivel mundial (1905) y Joerg (1914) en América del Norte; dichos autores utilizaron la fisiografía, geología, clima y vegetación para delimitar espacios geográficos homogéneos que denominaron “regiones naturales”. Posteriormente y especialmente en los ambientes más alterados de Europa, se utilizaron las “clasificaciones integradas” como parte del inventario de los recursos naturales de un territorio con fines de ordenamiento territorial; poniendo de manifiesto las características sistémicas del territorio como un conjunto de componentes interdependientes. Algunos ejemplos de este enfoque “territorial integrado” son los trabajos de Haase (1989) para Alemania; Brink y col., (1965) para Inglaterra; Tricart (1973), Bertrand (1968), Klijn (1988) para Holanda y González (1973, 1976) y Bolós (1992) para España.

En las décadas del 60, 70, 80 y 90 se publican varios trabajos que proponían regionalizar el planeta utilizando “paisajes naturales” basados en variables climáticas y edáficas (Gerasimov, 1964; Milanova and Kushlin 1993) así como en variables bióticas (Dasmann, 1972; 1974, Udvardy 1975). En esta misma época aparecen los trabajos de McHarg (1969), Hills (1961), Lacate (1969) y Wertz and Arnolz (1972) quienes introducen conceptos ecológicos en la planificación territorial. En 1967, Crowley utiliza por primera vez el término “ecorregión” (áreas con similar vegetación, clima y suelos) al delimitar, describir y clasificar los ecosistemas de Canadá y además introduce el elemento “multiescala” al dividir el territorio en tres niveles jerárquicos: dominios, divisiones y provincias. Su estudio pone de manifiesto que los patrones ambientales pueden ser homogéneos y heterogéneos a la vez en función de la escala a la que se observen.

En Centro América, Panamá y República Dominicana, el sistema de Zonas de Vida de Holdridge (1947, 1979) jugó un papel importante como herramienta para el mapeo de vegetación potencial utilizando datos climáticos (Holdridge 1962; Tesaico 1967, Tosi 1969, De la Cruz 1976, UNDP 1970).

La década del 80 marcó un hito importante en la inserción de los conceptos y principios ecológicos en la planificación ecorregional al ser adoptados en las políticas y programas ambientales de países como Estados Unidos y Canadá. Reconociéndose, por primera vez, la necesidad de utilizar un marco de mesoescala para la gestión de los ecosistemas independientemente de los límites administrativos. Dentro de esta línea de trabajos gubernamentales se pueden citar la clasificación ecológica de Canadá (Wiken and Ironside, 1977; Wiken, 1986; Wiken et. al, 1996; Marshall et.al. 1998;) y los trabajos realizados en Estados Unidos de América para el Servicio de Peces y Vida Silvestre (USFWS) (Bailey and Cushwa 1981) así como los mapas de ecorregiones elaborados para el Servicio Forestal (USFS) (Bailey 1976,

1978, 1995,1998; ECOMAP, 1993; McNab and Avers, 1994; Bailey et.al., 1994) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) (Omernick and Gallant,1986).

Posteriormente, de 1990 al presente, autoridades gubernamentales en materia ambiental y de recursos naturales así como ONGs de países como Nueva Zelanda (Ann Froude and Ann Beanland, 1999; Cuttinga and Cocklin, 1992; Leathwick et.al., 2003; New Zeland Department of Conservation, 1987), Argentina (Burkart et.al., 1998; Daniele and Natenzon, 1994; Bucher 1996), Sudáfrica (Kleynhans, Thirion and Moolman, 2005), Costa Rica (Ankersen, Regan and Mack 2006, Bolaños y Watson 1993; Rodríguez, 1996; Watson y Jiménez 2001) y Méjico (INEGI, CONABIO e INE, 2007 y 2008) han desarrollaron programas de mapeos ecorregionales como insumo para una gestión del medio natural coherente con su realidad biofísica.

Como herramienta para la planificación de la conservación, las ecorregiones se han utilizado para realizar evaluaciones exhaustivas de los patrones de biodiversidad, sus amenazas y la definición de prioridades de conservación en función de espacios biológicamente valiosos (e.g. hábitats mejor conservados) y en mayor peligro en América Latina y El Caribe (Dinerstein et.al, 1995), América del Norte (Taylor et.al.,1999), África y Madagascar (Burgess et al., 2004) así como en la región Indo-Pacífica (Dinerstein et.al, 2001). ONGs internacionales con The Nature Conservancy (TNC, 2007) también utiliza las evaluaciones ecorregionales para establecer metas y prioridades de conservación para las ecorregiones (e.g. Selva Maya) con alto valor jerárquico identificadas en evaluaciones globales de hábitats (e.g. bosque húmedo tropical); traduciendo posteriormente estas prioridades a estrategias, acciones de conservación y proyectos en múltiples escalas (e.g. paisaje) mediante la Planificación de Acciones de Conservación.

El *bioma* es un término que también es utilizado para referirse a “ecorregiones” conformadas por un conjunto de ecosistemas (plantas y animales) pertenecientes a una clase fisonómica (e.g. bosque, arbusto, pradera). Los biomas son regiones geográficas expuestas a condiciones climáticas similares, cuyas especies dominantes comparten un ciclo de vida similar, así como las mismas adaptaciones climáticas y la estructura física (McGinley and Erle 2008, Stolz et al. 1989). En general, las comunidades vegetales conforman la mayoría del área de los ecosistemas y por ende la cartografía de la vegetación puede utilizarse como un sustituto para el mapeo de un bioma. Los sistemas más conocidos para clasificar biomas terrestres son el sistema de clasificación de Zonas de Vida (Holdridge 1967), las provincias biogeográficas del mundo (Udvardy 1975), los ecosistemas del mundo (Olson et al. 1983), la vegetación mundial y usos de la tierra (Matthews 1983), las ecorregiones de los Estados Unidos continental (Omernik, 1987), las ecorregiones continentales (Bailey 1989), biomas terrestres (Stolz et al. 1989), las ecozonas del mundo (Schultz, 1995) y los ecosistemas terrestres del mundo: un nuevo mapa de la vida en la Tierra (Olson et al. 2001).

Por otro lado y más recientemente se introducido el término "anthromes" para designar a los biomas antropogénicos (Ellis and Ramankutty 2009), los cuales describen los patrones ecológicos en la biosfera terrestre producto de la interacción directa y continua del ser humano en los ecosistemas originales. La agricultura, la ganadería, la urbanización y la silvicultura son los principales agentes de cambio. En la actualidad, los seres humanos han modificado radicalmente la mayoría de los ecosistemas, sus procesos y

su biodiversidad y por tanto los "anthromes" proporcionan una visión actual de la biosfera terrestre. Ellis y Ramankutty (2008) proponen la siguiente clasificación para los principales tipos de biomas antropogénicos:

- Asentamientos humanos densos caracterizados por ambientes construidos y con alta densidad de población.
- Pueblos, asentamientos agrarios (>100 personas por km²).
- Terrenos cultivados, cultivos mezclados con otros usos de la tierra.
- Uso ganadero, pastoreo con áreas muy pequeñas de cultivos y bosque.
- Forestal, bosque con presencia humana y de agricultura.
- Áreas silvestres sin intervención humana.

A escala global, la división del planeta en ecorregiones ha pasado de una visión meramente académica o descriptiva (e.g. Schultz, 1995) a su aceptación internacional como una herramienta efectiva para diseñar e implementar planes y programas de conservación locales, nacionales e internacionales (Arriaga et.al, 2000; Arriaga et.al. 1998, Dinerstein et.al. 1995, Olson and Dinerstein 1998). Por otra parte, los biomas antropogénicos son, con frecuencia, un mosaico heterogéneo que combinan diferentes usos y coberturas de la tierra. Por ejemplo, en el país es frecuente encontrar bosques ribereños en áreas urbanas y bosques remanentes y secundarios en paisajes agrarios. Estos espacios ofrecen una oportunidad para la gestión de la biodiversidad remanente; así como de los bienes y servicios que proveen estos ecosistemas. La integración funcional de los espacios naturales y modificados por el ser humano es posiblemente el mayor reto que enfrentan los responsables de la gestión del capital natural en el siglo XXI. Al respecto, el país ha realizado esfuerzos importantes tales como GRUAS I Y II y la definición de vacíos de conservación; sin embargo todavía el SINAC sufre de deficiencias importantes tales como la deuda a los dueños de las tierras protegidas, la asignación insuficiente de recursos económicos y humanos y una visión insipiente y fragmentada del enfoque ecosistémico.

Para lograr las metas establecidas en Durban para el año 2015 en cuanto a que “las áreas protegidas deben estar conectadas en sistemas ecológicos/ambientales terrestres y marinos más amplios”, es necesario utilizar nuevas formas de conectar las áreas protegidas considerando los elementos naturales como componentes funcionales de ecosistemas, paisajes y ecorregiones. Esto conlleva a promulgar nuevas políticas y a aplicar un conjunto de acciones dentro y en el entorno de las áreas protegidas; pasando del concepto de redes y corredores naturales al de matriz territorial (natural y cultural).

Bajo este nuevo enfoque, el entorno es tan importante como el área protegida; ya que el bienestar humano, fin último de la conservación, depende de la interacción y de las relaciones ecológicas entre el área protegida y su entorno. Por último, esto permitirá forjar sinergias entre la conservación, el mantenimiento de los sistemas que sustentan la vida y la promoción de un desarrollo sostenible que armonice equitativamente los intereses de todos los actores involucrados. Los ecosistemas, protegidos o no, proveen beneficios más allá de sus propias fronteras, de las fronteras de los Estados, de las sociedades y de las generaciones actuales y futuras.

4.3 Clasificaciones eco-biológica en Costa Rica

La riqueza biológica y la diversidad ambiental de Costa Rica han atraído a naturalistas, científicos, botánicos y organizaciones por más de 150 años y durante este periodo se han utilizado diversos enfoques y escalas espaciales para cartografiar la vegetación y los espacios naturales del país (cuadro 5). Aun cuando ninguno de los estudios citados en el cuadro 5 utilizó el mismo set de criterios y variables para subdividir el país en “unidades homogéneas” todos los esfuerzos realizados hasta la fecha han utilizado como factores discriminantes aspectos fisionómico-estructurales (e.g. bosque, arbustos, sabanas, páramo), climático-orográficos (e.g. lluvia, temperatura y elevación) y fenológicos (e.g. caducifolio, semicaducifolio, siempre verde).

A la fecha, el país no cuenta con un sistema oficial de clasificación de ecorregiones ni de ecosistemas; sin embargo existen esfuerzos de clasificación que datan desde 1863 con los primeros trabajos de Wagner. En los últimos 30 años, los sistemas más utilizados para la elaboración de cartografía han sido el sistema de Zonas de Vida de Holdridge (Bolaños y Watson, 1993), los macrotipos de vegetación de Gómez y Herrera (1986), las unidades bióticas de Gómez y Herrera (1993), la cartografía creada por Ecomapas para el 57% del país (INBio-SINAC, 1998-2005), las unidades de vegetación de Hammel et al. (2003) y las regiones fitogeográficas creadas por Nelson Zamora como parte del proyecto GRUAS II (Sistema Nacional de Áreas de Conservación del Ministerio de Ambiente y Energía, 2007). Este último considera la distribución de los patrones de vegetación e integra las regiones botánicas de INBio y el mapa de macrotipos de vegetación. A nivel global, existe el mapa de ecorregiones elaborado por Fondo Mundial para la Naturaleza; el cual identifica 238 ecorregiones de importancia global en el planeta (142 terrestres, 53 de agua dulce y 43 marinas), de las cuales cuatro se encuentran en Centroamérica, siendo las prioritarias el Arrecife Mesoamericano (México, Guatemala, Belice y Honduras) y el bosque de la vertiente pacífica de Talamanca (Panamá y Costa Rica).

Si bien todos los trabajos incorporan en la descripción de las “unidades homogéneas” aspectos temáticos tales como litología, geomorfología, clima y vegetación; la metodología utilizada para su delimitación no siempre considera aspectos de tipo ecológico-funcional. Ninguno de los estudios realizados hasta la fecha incorpora explícitamente el aspecto jerárquica que condiciona el funcionamiento de los ecosistemas a meso escala; aun cuando los criterios utilizados sí permiten explicar la organización y funcionamiento del medio natural. La ausencia de un modelo conceptual con un enfoque ecosistémico ha provocado cierto grado de confusión y ha limitado la aplicación práctica de las regionalizaciones con un fuerte enfoque temático.

Una de las principales dificultades para la utilización de dichos estudios en la gestión de los bienes y servicios de los ecosistemas es la ausencia de un lenguaje común entre políticos, científicos, técnicos, gestores y usuarios que permita abordar su gestión en forma eficiente y equitativa.

Cuadro 5: Clasificaciones eco-fisionómico-estructurales utilizadas en Costa Rica desde 1863.

Autor	Clasificación	Observaciones
Wagner, 1863. Costa Rica.	Región de bosques siempre verdes	0-600 msnm. Temperatura media de 24 - 26 °C. Palmas, Musáceas, Aráceas
	Región de los helechos arborescentes y orquídeas	600-1300 msnm, temperatura media 18°C.
	Región de las rosáceas, senecioideas (compositae) y bambúes, con Agave americana	1300-1750 msnm
	Región de las cupulíferas y Betuláceas (<i>Quercus</i> y <i>Alnus</i>)	1750-3000 msnm
	Tierras altas de los volcanes	3300 msnm
Hoffman, 1865. Costa Rica	Regiones costeras Región de los bosques húmedos y sabanas Región de las tierras altas Región montano tropical Región de los robles (<i>Quercus</i>) Región de la vegetación arbustiva Región de la vegetación subalpina	No indica elevación 0-1000 msnm 1000 a 1600 msnm 1650-230 msnm 2300-3000 msnm 3000-3300 msnm 3000 msnm
Polakowsky, 1879.	Terrenos cultivados Bosques vírgenes Bosques alterados Sabanas	Escala 1:2.250.000 Es la primera mención que se hace de la vegetación de sabana en Costa Rica. Oersted (1863) la denominó "catinga".
Wercklé, 1909. La subregión fitogeográfica costarricense	Región caliente Región templada Región fría	0-800 msnm 800-1600msnm +1600msnm
L. Weibel, 1939. Costa Rica.	Bosque lluvioso tropical siempre verde, sabanas y bosques deciduos.	Escala 1: 3.350.000
P. E. James, 1942. Nicaragua, Costa Rica y Panamá.	Sabanas; matorrales; bosques tropicales; y bosques de coníferas.	Escala 1: 2.200.000
Servicio Forestal de los Estados Unidos de América 1943. Costa Rica	Bosques vírgenes (bosque tropical siempre verde); bosques alterados (bosque tropical siempre verde); bosques en crecimiento secundario (bosque tropical siempre verde); bosque nuboso (bosque tropical siempre verde); palmar anegado; matorral de altura; sabanas y tierras agrícolas.	Escala 1:1.500.000

Cuadro 4: Clasificaciones eco-fisionómico-estructurales utilizadas en Costa Rica desde 1863. Cont.

Autor	Clasificación	Observaciones
Mercker, 1945	Bosque deciduo Bosque húmedo siempre verde Bosque de robles Páramo	0-800msnm 0-2000msnm 2000-3000msnm +3000msnm
Departamento de Estado de los Estados Unidos de América, 1946. Costa Rica.	Bosque tropical lluvioso; bosque deciduo; bosque tropical lluvioso en crecimiento secundario; sabana; palmar anegado; bosque lluvioso de altura (bosque nuboso); matorral de altura (ahora denominados páramos).	Escala 1:1.503.000
L. R. Holdridge, 1953	Mapa de Zonas de Vida (19 Zonas de Vida). Utiliza como variables la precipitación y la biotemperatura.	Escala 1:1.700.000
Weber, 1956	Bosque tropical seco y húmedo Bosque de montaña Bosque nuboso Páramo	1000msnm 1000-2000 msnm 2000-3150 msnm +3150 msnm
Joseph Tosi, 1969. Costa Rica.	Mapa ecológico de Costa Rica, 19 Zonas de Vida. Utiliza como variables la precipitación y la biotemperatura.	1:750.000
L. D. Gómez y Wilberth Herrera, 1986.	Macrotipos de vegetación de Costa Rica.	1:250.000
Gómez, L. D. 1986.	Vegetación y Clima de Costa Rica.	1:750.000
Herrera, W. y L.D. Gómez, 1993	Mapa de Unidades Bióticas de Costa Rica.	1:685.000
Bolaños y Watson, 1993. Costa Rica	Mapa ecológico de Costa Rica, 12 Zonas de Vida y 12 zonas de transición. Utiliza como variables la precipitación y la biotemperatura.	1:200.000
Bravo y Ocampo, 1993	Mapa de humedales.	1:750.000
Fallas, 2003	Mapa de Ecosistemas de Costa Rica.	1:250.000
Fondo Mundial para la Naturaleza, Ecorregiones	En Costa Rica existen 7 de las ecorregiones identificadas a nivel mundial.	Escala mundial
Kohlmann et al. 2002;	Cuatro clases de bosque y paramo.	Nivel de bioma.
Hammel et al. 2003	Regiones florísticas de Costa Rica.	Divide el país en 24 regiones florísticas.
Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). 2007	Mapa de Unidades Fitogeográficas	Divide el país en 31 unidades fitogeográficas.

Fuentes: Gómez, 1986; Bravo y Ocampo, 1993; Bolaños y Watson, 1993; Savitsky et al. 1992, Fallas, 2003; Herrera y Gómez, 1993, Kohlmann et al. 2002; Zamora, Hammel y Grayum, 2004; Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), 2007.

CAPITULO CINCO

5 ¿Cómo crear mapas de Ecorregiones y de ecosistemas?

La ecorregión y el ecosistema son concepto abstractos y como tales no tiene límites absolutos; su definición, demarcación y caracterización dependen de la disciplina desde la cual se emprenda su estudio (e.g. científica, gestión, política, social). La descripción y análisis de los procesos en un ecosistema pueden abordarse desde una escala de microhábitat (e.g. copa de un árbol o apertura en el bosque), de un parche (e.g. área de bosque aislado) hasta el nivel de paisaje (e.g. mosaico de bosque-cultivos-pasto) y de ecorregión o “Gran Ecosistema” (e.g. bosque nuboso de Costa Rica).

Desde la perspectiva del legislador, usuario(a) y regulador de los bienes y servicios del ecosistema, a la complejidad del concepto “estático” de ecosistema, debe agregarse la incertidumbre asociada a los escenarios de cambio local y global como los pronosticados debido al cambio climático. Las predicciones actuales indican que posiblemente los grandes ecosistemas denominados biomas (e.g. bosque seco, bosque nuboso, páramo y manglar) no desaparecerán en el mediano plazo; sin embargo, sí es posible que se modifique su extensión así como el ensamblaje de sus comunidades (Colwell, et al., 2008). Por ejemplo, el bosque seco puede dar paso a un bosque húmedo y el bosque húmedo a un bosque pluvial ó reducirse la extensión del bosque nuboso. La distribución histórica y actual de especies, por otra parte, es el resultado de una combinación de aspectos tales como las tasas de extinción y colonización, la deriva de los continentes, la glaciación, el cambio en el nivel del mar, las modificaciones en los sistemas de drenaje y el aislamiento debido a barreras físicas o bióticas (Bush 1991).

En espacios climático y topo diversos como Costa Rica, existe evidencia de que el medio abiótico juega un papel importante en la distribución de la biodiversidad regional de avifauna (Stiles y Skutch, 1989), mariposas (DeVries, 1987) y plantas (Hammel et al. 2004). Sin embargo al interior de regiones bióticas homogéneas, también existen variaciones abióticas locales que explican las divergencias con respecto a los patrones regionales (e.g. bosque ribereño siempre verde en formaciones secas). Los factores biológicos tales como el régimen de alteración operan en el corto y mediano plazo (10-100 años), en tanto que otros como la evolución lo hacen en el largo plazo (miles a millones de años).

Dada la complejidad de la organización de las comunidades de seres vivos y de los componentes abióticos, el enfoque de clasificación multiescala y jerárquico permite crear tantas clases y subclases como sea necesario; así como fusionarlas para crear ecoambientales con un mayor grado similitud y generalización (Di Gregorio y Jansen, 2000). Una jerarquía es un arreglo ordenado de una serie de compartimentos naturales o culturales. Las jerarquías biológicas, geográficas y ecológicas son de naturaleza anidada (aunque no necesariamente contiguas); ya que el nivel superior está formado por dos o más unidades del nivel inmediato inferior. Un ejemplo de una clasificación jerárquica es la siguiente:

- Biosfera: Área que sustenta la vida en el planeta (océanos, tierra y primer nivel de la atmósfera).
- Región biogeográfica: Constituida por continentes y océanos. Cada una con su propia flora y fauna particulares.

- **Biomás:** Grandes unidades regionales conformada por ecorregiones. Por ejemplo el océano o un gran extensión de pastizales es un bioma.
- **Ecorregión:** Conjunto de comunidades naturales que comparten un espacio geográfico; condiciones ambientales similares, la mayoría de sus especies; su dinámica ecológica y cuyas interacciones ecológicas son críticas para su persistencia a largo plazo.
- **Paisaje:** Conjunto de ecosistemas.
- **Ecosistema (o ecotopo):** Comunidad biótica más el ambiente y sus interacciones.
- **Comunidad biótica:** Conglomerado biológico que incluye todas las poblaciones que viven en un área dada. No incluye el entorno físico.
- **Población (especie):** Conjunto de individuos de una especie que habitan en un espacio determinado.
- **Organismo:** Elementos básicos que conforman una población.

Los dos primeros niveles de la clasificación se refieren a grandes extensiones de la tierra ó de los océanos que poseen características muy generales en común y que además son moldeados por procesos de mega escala a nivel planetario. El tercer nivel permite delimitar sistemas naturales con un mayor grado de detalle y es apropiado para estudios a nivel continental o sub continental (e.g. Mapa de Ecorregiones de Centro América de Olson y Dinerstein, 1994). El cuarto, quinto y sexto nivel son apropiados para estudios a nivel nacional y regional. En tanto que los dos últimos niveles son apropiados para estudios locales y de micro escala.

Otro sistema jerárquico muy conocido es el sistema de clasificación de vegetación de la UNESCO, el cual consta de los siguientes niveles:

Nivel	Código
Clase de formación	I, II, III, ... VIII
Subclase	A, B, C,
Grupo	1, 2, 3,
Formación	a, b, c, d,
Subformación	(1), (2), (3),
Sub Sub-formación	(a), (b), (c),

La definición y reconocimiento en el campo de las cuatro primeras subdivisiones del sistema UNESCO es fácil y reproducible en cualquier parte del mundo; sin embargo las sub formaciones y las divisiones de las sub formaciones son muy particulares y dependen del tipo de hábitat bajo estudio o del criterio del analista; por ejemplo, es posible utilizar criterios fisionómicos, procesos ecológicos dominantes (e.g. inundación) ó considerar variables climáticas o altitudinales. En términos generales, el Sistema UNESCO reconoce que los ecosistemas son “unidades” complejas y muy variadas y que por tanto el esquema utilizado para su clasificación debe ser, por un lado, suficientemente claro y con límites visibles, pero por otro, no puede basarse en normas rígidas ni en premisas de respuestas uniformes de la vegetación ante uno u otro factor ambiental.

5.1 Enfoques para Delimitar Ecorregiones y Ecosistemas

La ecorregión y el ecosistema son conceptos abstractos que, bajo ciertas premisas y concesiones, pueden representarse espacialmente. Para Margalef (1977), un ecosistema es un “sistema⁹ formado por individuos de muchas especies, en un ambiente de características particulares e involucrados en un proceso dinámico e inagotable de interacción, ajuste y regulación; expresable bien como intercambio de materia y energía, bien como nacimientos y muertes, y uno de cuyos resultados es la evolución a nivel de las especies y la sucesión en el sistema como un todo. La palabra ecosistema no se usa en el sentido de unidad concreta, sino de nivel de organización”.

Su concepto de ecosistema como nivel de organización abierto, compuesto de elementos complejos e interconectados, formando una red de interacciones flexible y adaptable en el tiempo, expresa claramente el grado de dificultad que cualquier persona encontrará al intentar delimitarlos. En la realidad, la mayoría de los ecosistemas son a su vez componentes de otros sistemas mayores (Macro Ecosistema-Biosfera).

La comprensión de los procesos del ecosistema está íntimamente relacionada con los flujos de energía y materia que atraviesan sus fronteras. Aun cuando un determinado ecosistema (e.g. turbera) tiene cierto grado de independencia y autosuficiencia que le permite organizarse y funcionar, mantiene relaciones de dependencia con otros ecosistemas a un nivel biorregional (e.g. bosques nuboso); por esta razón para entender el funcionamiento del “micro ecosistema turbera” se debe analizar también el “marco ecosistema bosque nuboso” (Fig. 9).

El enfoque ecorregional ha sido tratado desde muy diferentes disciplinas y en diferentes momentos de la historia y por tanto existen diferentes visiones y aproximaciones sobre ¿qué son? y ¿cómo deben mapearse? Ante esta complejidad conceptual y de enfoques, la literatura científica reconoce tres grandes aproximaciones metodológicas para delinear y describir “ecorregiones”: el enfoque aditivo, el paisajístico y el sistémico. A continuación se describe cada uno de ellos.

⁹ Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí y con otros sistemas; por ejemplo, todo sistema vivo (organismos, partes de los organismos y comunidades de organismos) se relacionan entre sí y con el ambiente creando una trama dentro del propio sistema y surgiendo redes de relaciones directas e indirectas no lineales.



Figura 9: Turbera inmersa en el ecosistema de bosque nuboso. Cerro Buena Vista. Cordillera de Talamanca. Fuente: J. Fallas

5.1.1 Enfoque Aditivo

Este enfoque es el más simple y parte del supuesto que la variabilidad espacial de los distintos componentes de un ecosistema (e.g. elementos bióticos y abióticos) pueden segregarse en mapas temáticos (e.g. edafología, geología, geomorfología, hidrología, clima, uso-cobertura de la tierra) y que su posterior combinación y reclasificación utilizando un Sistema de Información Geográfica permite crear “unidades ecológicas, naturales o geoambientales”. El método permite asignar a cada capa de geodatos el mismo peso o asignar pesos diferenciados (ponderación) así como técnicas de análisis multivariada o de criterios múltiples para definir las unidades homogéneas. El método es simple de aplicar, replicable y flexible sin embargo una de sus principales desventajas es que no reconoce la relación funcional entre los diferentes componentes de la ecorregión.

5.1.2 Enfoque Paisajístico

Un segundo enfoque es el paisajístico, el cual regionaliza el territorio utilizando “unidades de paisaje” considerando como criterio de clasificación la percepción visual del analista ante un mosaico de usos actuales del territorio (*Fenosistema*). El elemento clave en la clasificación es el aspecto fisonómico del conjunto de ecosistemas y por tanto no considera explícitamente su dimensión no visible (*Criptosistema*) o relativa a su funcionamiento, la cual subyace al paisaje percibido y explica su arquitectura visual (Cuadro 5). Según la “enciclopedia libre universal”¹⁰ un paisaje es “un área que incluye tanto rasgos naturales como culturales que pueden definirse por sus formas, que se articulan entre sí y que tiene su expresión visual en el espacio” (Fig. 10). Aun cuando toda clasificación es subjetiva y obedece a fines particulares,

¹⁰ <http://enciclopedia.us.es/index.php/Paisaje>

los paisajes puede dividirse en “naturales” (e.g. Braulio Carrillo), “modificados” (e.g. Páramos) y “totalmente transformados u ordenados” (e.g. zonas urbanas y rurales). La estructura, composición y funcionamiento de los ecosistemas en cada uno de estos espacios geográficos se rige por diferentes impulsores de cambio y su gestión tiene objetivos muy particulares, lo cual caracteriza y define las relaciones que se establecen entre sus elementos constitutivos (Otte, Simmering and Wolters, 2007; Sohl et.al. 2010).



Figura 10: Paisaje típico de la Cordillera de Talamanca-Pacífica sobre rocas sedimentarias del Oligoceno-Mioceno (5 a 33 millones de años). En el primer plano se observan los bosques de roble, luego los pastos y al fondo el poblado de Santa María de Dota. Foto: J. Fallas.

El método de análisis permite incluir el componente multiescala al distinguir entre paisajes, tipos de paisaje y asociaciones de tipos (Sanz et.al. 2004). La primera fase para establecer una tipología de paisajes es realizar una clasificación territorial basada en factores abióticos, los cuales son perdurables y relativamente constantes en términos humanos (Bunce et al., 1996). Tras un estudio preliminar del territorio, se seleccionan las variables abióticas apropiadas para la tarea, siguiendo criterios de disponibilidad de datos cartográficos, trascendencia del factor ecológico a la escala de análisis, ausencia de correlación entre las variables e idoneidad de escala.

Una vez definidos y localizados los “Tipos de Paisaje” se puede proceder a evaluar su composición, configuración y evolución espacio-temporal (García et al. 2007, Rosselló et al. 2003). La distinción entre la matriz, cobertura esencial y marginal se hace siguiendo criterios predefinidos como los sugeridos por García del Barrio et al. (2003) (matricial cobertura superior al 50% de la superficie total, esencial del 25 a 50% y marginal entre 15 y 25%).

Al establecer los límites de un paisaje natural o cultural, el autor(a) utiliza sus sentidos, la intuición, así como la abstracción y la lógica, integrando de esta manera el enfoque intuitivo global-sensorial con el enfoque intelectual, analítico, cuantitativo y abstracto. La geología, suelo, clima, el ser humano, las aves, mamíferos e insectos forman parte del paisaje aportándole un valor económico, emocional, cultural y recreativo.

Al delimitar un paisaje se pueden utilizar tres enfoques. El “ecológico” que considera tanto los elementos bióticos y abióticos como su interacción (fenosistema y criptosistema). El “estético”, el cual hace referencia a la percepción instantánea de formas y colores del territorio. Y el “cultural” el cual considera el paisaje como un medio natural condicionado y susceptible a ser modificado por actividades socioeconómicas.

Con frecuencia, los paisajes (naturales-culturales) tienden a ser considerados como un “ente” estático; sin embargo, sus componentes, dominados por interacciones en tiempo y espacio, están caracterizados por el cambio y el dinamismo. Esta percepción se justifica porque el ser humano percibe la estructura del paisaje y no los procesos que sustentan su funcionamiento y mantenimiento.

En términos humanos, en todo paisaje tenemos elementos cuasi estáticos (e.g. geología y suelos) y otros con un alto grado de dinamismo como el tiempo meteorológico o el uso-cobertura de la tierra. El paisaje también refleja la acción del tiempo sobre sus componentes y procesos. Por ejemplo, el paisaje actual en el valle del Tempisque es el resultado de procesos geológicos milenarios (Aluviones del Cuaternario), climáticos de corto y largo plazo y en especial de siglos de pastoreo e incendios; en tanto que el paisaje boscoso de montaña del Parque Nacional Braulio Carrillo es igualmente producto de procesos geológicos (Vulcanismo del Cuaternario) y climáticos pero en especial de la ausencia de actividades humanas.

A escalas temporales de meses y con una recurrencia más o menos cíclica tenemos alteraciones climáticas globales. Uno de los ejemplos mejor conocidos es el fenómeno El Niño-Oscilación SUR (ENOS), el cual tiene un componente oceánico y otro atmosférico. Este fenómeno climático tiene una influencia enorme sobre los ecosistemas naturales y culturales de Costa Rica; por ejemplo, en años Niño en Guanacaste se registra una reducción de hasta 70% en la lluvia anual en tanto que durante años Niña se registra un incremento en la lluvia, la cual con frecuencia causa inundaciones. Ambos eventos, repercuten en los bienes que proveen los ecosistemas y por ende en la economía regional, nacional y en el bienestar humano de los costarricenses.

La ecología del paisaje en la ciencia que estudia estos “sistemas” conformados por flora, fauna y elementos culturales poniendo énfasis en la identificación de los patrones de heterogeneidad espacial, su caracterización, interacción y cambio en el tiempo (Forman y Godron 1986). La ecología del paisaje utiliza sensores remotos (fotos aéreas, imágenes satelitales), la fotointerpretación y la clasificación automatizada de imágenes para estudiar la *estructura* (organización espacial de los elementos o usos del territorio: relación matriz-parche-corredor); *función* (movimiento o flujo de los componentes del paisaje a través de la estructura: conectividad, resistividad paisajística, porosidad, relaciones entre parches, áreas de influencia) y *dinámica* (transformación del espacio a lo largo del tiempo: perforación, disección, fragmentación, encogimiento, eliminación).

Desde la perspectiva de la conservación y de los bienes y servicios de los ecosistemas esta ciencia provee datos e información sobre pérdida de hábitat (e.g. conversión de hábitats naturales o culturales) y fragmentación de hábitat (e.g. aumenta el número de parches, disminución en el tamaño medio de los parches); cambio en la forma de los parches (efecto borde) y aumento en el aislamiento entre parches (Cain, Riitters and Orvis 1997, Cleary et.al. 2005, Sohl et.al. 2010). Estos datos son importantes para tareas de planificación territorial integral, planes de gestión de espacios naturales, evaluación de la integridad y viabilidad de ecosistemas y en estudios de impacto ambiental. Dentro de esta metodología se encuentran los trabajos de Bunce et.al. (1996), Countryside Agency and Scottish Natural Heritage (2001), García et.al. (2007, 2008), Rosselló (2003), Sánchez, Rubio y Blanco (2004), Pliscoff et.al. 2005 y Turner (1991).

5.1.3 Enfoque Ecosistémico

Este enfoque, sustentado en principios ecológicos y sistémicos, pretende crear “verdaderos mapas ecológicos” al identificar y plasmar en mapas los procesos biofísicos esenciales que determinan la expresión espacial multiescala de los ecosistemas (Montes y col., 1998) (Cuadro 6). El procedimiento requiere de un pensamiento integrador (intuitivo, holístico y no lineal) que permita descubrir el sistema de relaciones ecológicas que caracteriza el entorno natural y su expresión en componentes temáticos. Mientras el pensamiento analítico aísla un determinado elemento para conocerlo, el pensamiento sistémico lo ve como parte de un entorno mayor. A partir del siglo XX se creó la teoría de la biología organísmica que dio origen a algunas de las características del pensamiento sistémico. El comprender “algo” sistémicamente significa ponerlo en contexto y establecer la naturaleza de sus relaciones. En la ciencia sistémica los “organismos” son estudiados y entendidos en un contexto más amplio, como partes de redes de relaciones que a su vez forman parte de redes mayores, muchas veces aparentemente caóticas pero equilibradas, siendo las relaciones el aspecto más importante y no sus fronteras. Esta visión del mundo ser recoge con toda claridad en las palabras de Marcy (2004).

“Descubrieron que todos – sean células, cuerpos, ecosistemas o el planeta en sí – no son apenas piezas distintas, pero sí sistemas dinámicamente organizados y complejamente equilibrados, interdependientes en cada movimiento, cada función, cada cambio de energía e información.” (Marcy, 2004, p. 60).

El término holístico significa mirar a un todo funcional y comprender la interdependencia de sus partes o sea ¿cómo una determinada parte de un todo se relaciona con las otras partes del mismo todo? La visión ecológica incluye eso y además la percepción de cómo un todo, compuesto de partes, encaja en su ambiente natural y social. Reconoce la interdependencia de todos los fenómenos y el hecho de que los individuos y la sociedad forman parte de los procesos de la naturaleza, siendo por lo tanto, dependientes de dichos procesos. Esta visión denominada “ecología profunda”¹¹ fue propuesta por el filósofo noruego Arne Naess en 1973, como una respuesta a la visión dominante del hombre sobre la naturaleza. Una vez

¹¹ La ecología profunda es una rama de la filosofía ecológica que considera a la humanidad parte de su entorno.

descrita la visión filosófica-científica del enfoque, se describe a continuación su enfoque operacional, el cual reconoce dos aproximaciones válidas: la cartografía ecológica inductiva y la deductiva.

La *cartografía ecológica inductiva* no parte de ninguna idea preconcebida de clasificación ni regionalización ecológica del territorio con el fin de buscar una mayor objetividad en su descripción sintética. Mediante el empleo de técnicas estadísticas multivariantes, este procedimiento busca indicadores ecológico-espaciales que permitan definir y reconocer en un mapa las distintas escalas espaciales en que se manifiesta la heterogeneidad ecológica de un territorio.

La mayor ventaja del método es su objetividad y repetitividad, dos aspectos claves en el enfoque científico; ya que no depende de los juicios de valor del analista; sin embargo esta fortaleza es la vez su mayor inconveniente ya que no incorpora en el análisis la dinámica del sistema. A su vez, la rigidez del proceso impide comprender si el espacio analizado podría formar parte de una estructura funcional mayor (Gran Ecosistema). Por último, el método enfrenta dificultades a la hora de explicar la dinámica y los procesos ecológicos que rigen el funcionamiento de las unidades discretas delineadas puesto que no suelen trabajar, al menos en todo el proceso, equipos multidisciplinarios. Dentro de esta metodología se encuentran los trabajos de Sánchez et al. (1977), Gandullo et al. (1977), Roselló et al. (1990), Besteiro y Montes (1991) y de Agar et al. (1995).

La *cartografía ecológica deductiva* parte de una jerarquía preconcebida de relaciones espaciales y temporales de los compartimentos y procesos ecológicos (modelo ecológico a priori) que pretende describir, en forma objetiva y simplificada, la compleja realidad ecológica de un espacio geográfico. El proceso inicia con la selección de un "Gran Ecosistema" para posteriormente y utilizando un procedimiento de clasificación por subdivisión o descendente (Zonneveld, 1994) introducirle niveles espaciales de más detalle que permiten reconocer ecosistemas de menor tamaño (Montes et al. 1998).

El "Gran Ecosistema" es un espacio homogéneo en su génesis y evolución y que representa el área mínima requerida para englobar los procesos biofísicos que mantienen la integridad y funcionalidad del sistema. Las subdivisiones posteriores representan ecosistemas más pequeños y con mayor grado de detalle que mantienen su condición de espacios geográficos homogéneos y funcionales pero que a su vez dependen del "espacio mayor" para su permanencia en el tiempo. Una de las ventajas de la aplicación de este modelo de organización jerárquico-funcional es la posibilidad de seleccionar, para cada escala de análisis, las características del medio (factores de control/limitantes) que mejor expliquen el funcionamiento del sistema a esa escala. A su vez, este sistema permite adoptar, para cada escala, indicadores de la estructura o funcionamiento del ecosistema para evaluar su salud e integridad.

Muchas personas y organizaciones han definido el término gestión de ecosistemas (Agee and Johnson 1987, Christensen et al. 1996, Grumbine 1994, Yaffee Steven L. 1999) sin embargo todos resaltan dos temas comunes: (1) la gestión debe mantener o mejorar la salud y la productividad de los ecosistemas manteniendo las interacciones y procesos ecológicos necesarios para mantener la estructura y función del ecosistema y (2) los ecosistemas debería ofrecer una gama de bienes y servicios a las generaciones actuales y futuras.

Recuadro 3: Gran Ecosistema de Yellowstone y "Conservación desde Yellowstone hasta Yukon" (Y2Y): Ejemplos de planificación ecorregional a gran escala.

El término “Gran Ecosistema de Yellowstone” tiene su origen en una audiencia de los subcomités de Terrenos Públicos, Parques Nacionales y Recreación de la Cámara de Representantes de los Estados Unidos realizada en 1985. En 1986 el Servicio de Investigación del Congreso emitió el informe, el cual indicaba que existían serias deficiencias de coordinación interinstitucional y que a consecuencia de esto, los valores esenciales de la zona estaban en riesgo (Congressional Research Service, 1986; Keiter and Boyce, 1991). Los límites originales del Parque fueron trazados en 1872 y pretendía incluir todas las cuencas regionales de energía geotérmica de la zona. Posteriormente, en la década de 1970, el rango hogareño del oso pardo (*Ursus arctos*) se convirtió en el primer límite informal del ecosistema de Yellowstone, el cual incluía 16.000 Km², equivalente a un 32% del territorio costarricense; posteriormente en 1994 su área se extendió a 76.890 Km² (1.4 el tamaño de Costa Rica). En 1997, el concepto se expandió a todo el sistema montañoso, al formalizarse la iniciativa “Conservación desde Yellowstone hasta Yukon” (Y2Y) como parte de una acción conjunta entre los gobiernos de Canadá, Estados Unidos, territorios aborígenes y organizaciones sin fines de lucro. El objetivo de Y2Y es gestionar el ecosistema montañoso y sus habitantes (humanos y silvestres) de tal forma que se mantenga saludable y conectado en el largo plazo. El territorio de Y2Y abarca 1,3 millones de Km² y se extiende a lo largo de una franja de 3.200 kilómetros por entre 500 y 800 Km de ancho. Actualmente este esfuerzo constituye uno de los proyectos más emblemáticos y exitosos de planificación ecorregional transnacional a escala mundial.

<http://www.y2y.net/>

Regionalización ecológica deductiva	Regionalización ecológica inductiva	Regionalización paisajística
<p>El medio natural es entendido como un sistema de relaciones biofísicas entre sus componentes estructurales y funcionales.</p> <p>Parte de un modelo jerárquico de organización espacial del medio natural.</p>	<p>El medio natural es abordado como una superposición de componentes abióticos (clima, geología, suelos, etc.) y bióticos (fauna y vegetación) actuando al mismo nivel.</p> <p>No suele contemplar la jerarquía de escalas espaciales.</p>	<p>El medio natural se aborda como un imagen o escena percibida. Bajo el concepto de paisaje subyace una fuerte influencia de la geomorfología, la vegetación y los usos del territorio.</p> <p>Puede considerar un modelo de organización jerárquico del medio natural.</p>
<p>Bajo el concepto de ecosistema los componentes bióticos y abióticos se trabajan conjuntamente, desde una perspectiva sistémica.</p> <p>De entre estos componentes se reconocen aquellos factores bióticos o abióticos clave que, imponiéndose sobre el resto, condicionan el funcionamiento de los ecosistemas a diversas escalas espaciales.</p>	<p>No se parte de ningún modelo preconcebido de organización espacial del medio natural.</p> <p>Mediante el uso de técnicas estadísticas multivariantes busca indicadores ecológico-cartográficos de la heterogeneidad ecológica del territorio</p> <p>Permite una gran objetividad.</p>	<p>Propone límites basados en un conjunto de aspectos temáticos aislados o estéticos</p> <p>La delimitación de unidades se basa exclusivamente en la componente visual del ecosistema o escenario perceptible y por tanto olvidan a su funcionamiento (procesos geo-físico químicos que subyacen a la escena percibida)</p>
<p>Propone límites basados en el funcionamiento ecológico del medio natural estableciendo ecorregiones: unidades operativas ecológicamente.</p> <p>La delimitación de ecorregiones permite la gestión de ecosistemas a diferentes escalas (local, nacional, continental, global) independientemente de límites administrativos o competenciales.</p>	<p>Delimita unidades ecológicas o ambientales: mapa de ecosistemas a diferentes niveles de detalle.</p> <p>Presenta problemas a la hora de interpretar los resultados y para explicar la dinámica y los procesos ecológicos que rigen el funcionamiento de las unidades detectadas.</p>	<p>Las unidades delimitadas a menudo se relacionan con los usos tradicionales del territorio.</p> <p>Las unidades de paisaje contemplan solamente el aspecto fisionómico de los sistemas ecológicos. Hacen referencia a las características visuales o perceptivas del territorio, más que a otras consideraciones de tipo funcional o ecológico.</p>

Fuente: Basado en Ruiz-Labourdette y Montes, sf.

5.2 Consideraciones al Delimitar Ecorregiones

Al delimitar ecorregiones y/o ecosistemas desde una perspectiva jerárquica-funcional se deben tener en cuenta los siguientes aspectos (Klijn 1994, Klijn and Udo de Haes 1994, Omernik 1987, 1995, Omernik and Bailey 1997, Schultz, 1995).

1. Las ecorregiones pueden identificarse y mapearse a varios niveles de detalle, sin embargo los límites establecidos a un cierto nivel permanecen intactos en niveles más detallados de la clasificación. Conforme se baja en el nivel escalar de observación aumentan los detalles, las clases se hacen más pequeñas y el número de límites se incrementa. La definición de los límites entre unidades a una escala pueden revisarse con mayor precisión a escalas más detalladas. La clasificación ecorregional jerárquica es un procedimiento que implica la delimitación de espacios eco-homogéneos con un aumento progresivo en el detalle de la clasificación al avanzar en la jerarquía, es decir, esencialmente se utilizan las mismas características en los distintos niveles, pero con más detalle a medida que uno se desplaza a un nivel superior en el sistema. Además, las características consideradas como claves pueden variar de un lugar a otro.
2. El enfoque ecosistémico reconoce que los componentes del ecosistema funcionan como un todo interdependiente y no como elementos aislados.
3. Los ecosistemas y sus componentes poseen patrones regionales definidos por la confluencia espacial de factores tales como clima, disponibilidad de nutrientes (suelo y geología), fisiografía y cobertura vegetal. Estos factores interactúan entre sí de una forma diferencial en tiempo y espacio para dar como resultado diferentes ecosistemas. El enfoque se basa en el análisis de los patrones que exhiben las características terrestres y en la premisa de que existen zonas relativamente homogéneas; las cuales pueden ser mapeadas analizando simultáneamente los factores determinantes a la escala de interés.
4. La delimitación de regiones ecológicas se basa en la evaluación cualitativa y cuantitativa de mapas temáticos que inciden en las diferencias espaciales de los ecosistemas. Cuando varios de esos fenómenos coinciden espacialmente se espera que los ecosistemas sean similares y que a su vez los límites del ecosistema coincidan con el mayor número posible de discontinuidades. Las ecorregiones son esbozadas utilizando la "opinión de experto" sustentada en bases de datos y en su conocimiento local sobre los umbrales de las características claves de cada ecosistema. Además, las características clave pueden variar de una región a otra. Por ejemplo, en zonas montañosas los pisos térmicos reflejan la presencia de mosaicos de flora y fauna asociados a diferencias en precipitación, temperatura, suelos y usos de la tierra. En otras regiones como las tierras bajas la presencia de una tabla de agua superficial determina el patrón de vegetación y el uso de la tierra. Los límites de la ecorregión expresan, más que un cambio abrupto en los patrones de los atributos ambientales analizados en el área, comparada con las áreas circundantes, la opinión del "experto" en cuanto a la delimitación que mejor describe las divergencias eco-ambientales. La magnitud y distribución de los atributos que conforman un patrón de paisaje son importantes para decidir si un área particular debería ser clasificada como una región

separada o por el contrario integrarla a una región vecina a un determinado nivel de resolución regional. Al respecto, no existen reglas fijas para determinar cuál es la superficie mínima de cada ecorregión.

5. La clasificación ecorregional utiliza múltiples características en cada nivel de la jerarquía. Las regiones ecológicas son espacios en los que existe una similitud relativa en el mosaico de los elementos y ecosistemas que la conforman. La resolución y exactitud de los materiales de referencia imponen una limitante en cuanto al nivel de detalle que puede representarse en el mapa ecorregional. La delimitación de regiones con mayor grado de detalle que la mayor parte del material de referencia utilizado para definir las, es engañosa. Idealmente, las regiones deben ser menos detalladas que los componentes que fueron utilizados para definir las.

Un marco de análisis general estará conformado por regiones relativamente grandes separadas por fronteras suaves, con descripciones muy generales listando sólo las características principales de cada región. Por el contrario, un estudio muy refinado tendrá ecorregiones pequeñas (o más niveles de jerarquía regional) con límites más intrincados y una descripción más detallada de las características regionales. Lo importante aquí es que el objetivo del análisis regula el nivel de detalle que debe tener el producto final.

CAPITULO SEIS

6 Ecorregiones y Ecosistemas de Costa Rica: Aspectos Metodológicos

La presente sección describe el enfoque, metodología y datos utilizados para delimitar las ecorregiones y ecosistemas naturales y antrópicos de Costa Rica. El proceso de regionalización abarcó las siguientes fases:

- 1) Revisión de las propuestas previas de regionalización climática, socioeconómica, fitogeográfica y faunística de Costa Rica.
- 2) Elaboración de un marco general de niveles de clasificación jerárquica de ecosistemas (propuesta de jerarquización de ecosistemas).
- 3) Determinación de los factores claves (e.g. relieve, clima, geología, evolución) que controlan o regulan la organización, funcionamiento y dinámica del sistema ecológico actual de Costa Rica a diferentes escalas espaciales y temporales.
- 4) Selección de indicadores cartográficos que mejor representan el patrón espacial de los factores de control.
- 5) Cartografiado de indicadores y definición de límites operativos entre ecorregiones y ecosistemas para una gestión sistémica de los ecosistemas a nivel nacional.
- 6) Descripción de cada ecorregión y ecosistema en términos de su extensión, factores bióticos y abióticos, bienes y servicios, amenazas e impulsores de cambio.

La delimitación de las ecorregiones y ecosistemas se realizó considerando cuatro criterios fundamentales:

- 1) El sistema de clasificación debe ser simple, intuitivo y comprensible por una amplia gama de actores que incluya científicos, políticos, gestores de recursos y público en general.
- 2) El sistema de clasificación debe estar sustentado en criterios ecológicos y socioeconómicos múltiples que reflejen las condiciones actuales de los ecosistemas y su capacidad para proveer bienes y servicios a largo plazo.
- 3) El mapa de ecorregiones y ecosistemas debe integrar la información cartográfica y documental disponible en el país.
- 4) El producto final debe entenderse como una primera versión de las eco-regiones/ecosistemas de Costa Rica y no como un producto acabado y por tanto sujeto a un proceso de revisiones sucesivas a medida que se avanza en los conocimientos científicos que los sustentan.

6.1 Trabajos previos

En la regionalización ecológica se consideraron trabajos previos como el mapa de regiones socioeconómicas de Nuhn (1973), el clima de Costa Rica (Herrera 1985), los macrotipos de vegetación de Gómez y Herrera (1986), los mapa de vegetación de Vargas (1992) y Gómez (1985), las unidades

bióticas de Gómez y Herrera (1993), el mapa de Zonas de Vida de Holdridge a escala 1:200.000 (Bolaños y Watson, 1993), la cartografía creada por Ecomapas para el 57% del país (INBio-SINAC, 1998-2005), la regionalización climática de Costa Rica (Solano y Villalobos, 2001), las unidades de vegetación de Hammel et al. (2003) y las regiones fitogeográficas creadas por Nelson Zamora como parte del proyecto GRUAS II (Sistema Nacional de Áreas de Conservación del Ministerio de Ambiente y Energía, 2007). Este último mapa considera la distribución de los patrones de vegetación e integra las regiones botánicas de INBio y el mapa de macrotipos de vegetación. A nivel global, se consultó el mapa de ecorregiones elaborado por el Fondo Mundial para la Naturaleza¹² (Olson et.al. 2001), las “Áreas Importantes para la Conservación de Aves” (IBAs, por sus siglas en inglés) de BirdLife International¹³; mapa de suelos (Acón y Asociados, 1992; Vázquez 1989), mapas oficiales de uso-cobertura de diversos periodos (1984, 1992, 2000 y 2005), mapa geológico (Tournon y Alvarado, 1977) así como imágenes Landsat y Agua-Terra para delimitar las áreas con vegetación caducifolia. También se consultaron obras clásicas como “Aves de Costa Rica” (Stiles y Skutch 1989), “Biodiversidad de los Bosques de Roble” (Kappelle, 2008), “Páramos de Costa Rica” (Kappelle y Horn, 2005), “Bosques Nublados del Trópico” (Kappelle y Brown, 2001), “The Butterflies of Costa Rica” (DeVries, 1987) y “The Amphibians and Reptiles of Costa Rica” (Savage Jay 2002). Para la descripción biótica de las ecorregiones se utilizaron tesis de grado y posgrado, informes técnicos y publicaciones en revistas nacionales e internacionales (ver lista de referencias).

Si bien todos los trabajos previos incorporan en la descripción de las “unidades homogéneas” aspectos temáticos tales como litología, geomorfología, clima y vegetación; la metodología utilizada para su delimitación no está sustentada en un enfoque jerárquico de tipo eco-funcional. Aun cuando los criterios utilizados sí permiten inferir sobre elementos de la organización y funcionamiento de los ecosistemas, La ausencia de un modelo conceptual inclusivo con un enfoque ecosistémico ha dificultado crear un lenguaje común entre políticos, científicos, técnicos, gestores y usuarios de los diferentes bienes y servicios de los ecosistemas (e.g. sector turismo, agropecuario, forestal, protección de la biodiversidad, ONGs) que permita abordar su gestión en forma eficiente y equitativa.

6.2 Sistema Jerárquico de Clasificación

Costa Rica es un país pequeño pero extremadamente variado y por tanto al definir ecorregiones/ecosistemas solo se puede pretender aproximar su funcionamiento y dinámica ecológica integrando los conocimientos acumulados a lo largo de años de observaciones geográficas, geológicas, meteorológicas, botánicas, faunísticas, etnográficas y sociológicas.

La metodología adoptada en el presente trabajo parte de la premisa que existen factores de control bióticos (e.g. evolución y patrones de migración), abióticos (e.g. clima, litología, hidrología, edafología, relieve) y antropogénicos (i.e. uso de la tierra) que condicionan la estructura, composición y funcionamiento del ecosistema a diferentes escalas espaciales y temporales. En esta aproximación

¹² http://www.worldwildlife.org/wildworld/profiles/terrestrial_nt.html

¹³ <http://www.birdlife.org/action/science/sites/index.html>; <http://www.birdlife.org/datazone/ebas/index.html>

ecológica-funcional, los componentes bióticos, abióticos y antropogénicos se analizan conjuntamente tratando la información desde una perspectiva sistémica. En síntesis, se trata de utilizar un sistema jerárquico flexible (Fig. 11) que considere la organización espacial natural del territorio costarricense a partir de rasgos permanentes, distintivos y fácilmente reconocibles tales como las vertientes, las formaciones geológicas y el relieve; y otros más difusos tales como los gradientes de humedad y temperatura y/o la distribución de organismos que conforman comunidades bióticas especiales tales como los manglares, páramos, humedales herbáceos y el bosque nuboso (Olson, 2001).

La nomenclatura utilizada refleja la condición biótica ó abiótica dominante ó la localidad en la cual se encuentra. Por ejemplo, en el primer nivel se utilizan nombres tales “Península de Osa” y en el segundo “bosque nuboso y páramo”. Los ecosistemas culturales se clasificaron según su uso dominante (“Urbano”, “cultivos” y “pastos”).

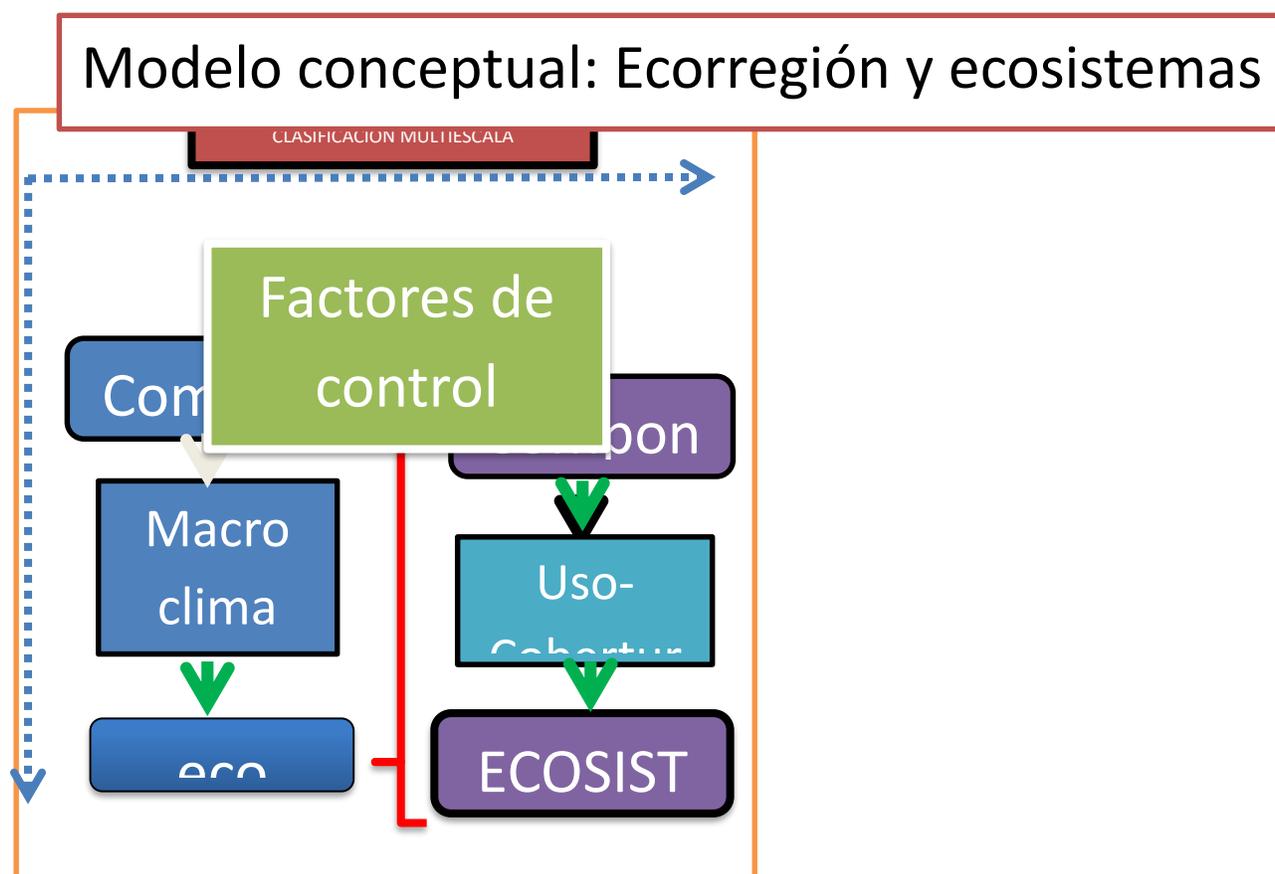


Figura 11: Modelo conceptual del diseño de ecorregión y ecosistemas.

El mapeo utiliza capas temáticas que describen el patrón espacial de las variables consideradas como claves por su influencia en la dinámica y estructura del ecosistema, lo que en definitiva permite inferir los rasgos más evidentes del funcionamiento del sistema como un todo. El enfoque jerárquico-funcional no es estricto en cuanto al número de subdivisiones a utilizar y por tanto cada país o incluso cada región

pueden optar por un sistema muy sencillo o muy detallado (Montes y col. 1998, Borja y Román 2003). Para Costa Rica se sugiere utilizar tres niveles:

- 1) *Ecorregiones*: Espacios geográficos del orden de cientos a miles de kilómetros cuadrados que han evolucionado durante miles de años bajo la influencia de impulsores de cambio similares (e.g. clima, geología, patrones de migración) y que, desde la perspectiva del gestor de la biodiversidad, representan condiciones “similares y estables” en cuanto a composición, estructura y funcionamiento así como de los bienes y servicios que puede proveer a la sociedad, los cuales son percibidos a un nivel nacional e incluso global (e.g. regulación climática, producción de carne y leche). Una ecorregión está conformada por un mosaico de ecosistemas continuos ó discontinuos y la acción antrópica se expresa a escala de paisaje (e.g. grandes espacios agropecuarios y urbanos). La ecorregión es un marco de planificación territorial regional que permite definir políticas de gestión de la biodiversidad y de los bienes y servicios que proveen los ecosistemas que la conforman. Cada ecorregión es un nivel apropiado para analizar y monitorear temas de interés nacional (e.g. seguridad alimentaria) así como aspectos de interés regional pero de significancia nacional (eg. sequías, inundaciones, patrones de biodiversidad).
- 2) *Ecosistemas*: Este nivel de la jerarquía presupone la existencia de condiciones bióticas/abióticas similares y trata de capturar aquellos elementos de la estructura, composición y dinámica del ecosistema a una escala subregional de cientos a miles de hectáreas y por periodos similares al ciclo de vida de la forma de vida dominante en el ecosistema (e.g. árboles, arbustos, herbazales). Los bienes y servicios que prestan son más particulares y con frecuencia son percibidos con mayor facilidad por los actores y usuarios locales (e.g. agua, hábitats para fauna silvestre). La acción antrópica en este nivel de la jerarquía se expresa a escala local (e.g. conversión parcial de un ecosistema natural en uno seminatural).
- 3) *Ecolocalidad*: Este nivel de la jerarquía trata de capturar variaciones locales prominentes en uno o más de los elementos bióticos/abióticos del sistema y que se expresan de una manera particular en la estructura, composición y/o funcionamiento del ecosistema a escalas de decenas a cientos de hectáreas y por periodos iguales o inferiores al ciclo de vida de la forma de vida dominante del ecosistema. Los bienes y servicios que prestan son más particulares, con frecuencia de alto valor económico para los actores y usuarios locales (e.g. área de recarga, área endémica, asociación vegetal particular). La acción antrópica en este nivel de la jerarquía se expresa a escala local o de microescala (e.g. explotación forestal). Un ejemplo de una ecolocalidad antrópica es el área localizada en la falda sur del Volcán Irazú (clima fresco, suelos jóvenes y muy fértiles de origen volcánico-andisoles-, en relieve con fuerte pendiente, productora de legumbres y hortalizas y fuente de sedimentos y contaminantes agroquímicos). Otro ejemplo, pero de una ecolocalidad natural es la Caldera Hule, ubicada a 13 Km al sur del Volcán Poás en la vertiente Caribe. Esta estructura geológica alberga las lagunas Hule (diámetro 2*2,2 Km y 140m de profundidad con respecto al terreno en el borde este), Congo y Montealegre. El origen de las lagunas está asociado a esta antigua caldera o depresión producto de una explosión volcánica y cuyo fondo se impermeabilizó a lo largo

de los años. (geológicamente a esta estructura se le denomina "maar"). Según Alvarado, Cigarán y Pérez (2000) este tipo de estructura puede ser única en Costa Rica.

6.3 Factores de Control en el Ecosistema

Al observar el uso de la tierra de una finca, un paisaje, un bosque maduro ó un parche de pasto en regeneración podemos afirmar que su apariencia (fenosistema) es diferente. Por ejemplo, se pueden observar diferencias en el tamaño de las plantas (estructura, dinámica poblacional), número de especies (composición) y patrón de su distribución espacial (estructura). También es posible que podamos percibir diferencias en temperatura, insolación, velocidad el viento; así como diferencias en especies de insectos, aves, mamíferos y reptiles. Esto nos hace suponer que existen factores de control que explican la configuración espacial, composición y estructura de los elementos que conforman dichas expresiones de la ecodiversidad¹⁴. Sin embargo, y en especial para sistemas complejos como los tropicales, no es fácil observar y medir directamente los procesos que conforman y regulan el funcionamiento del ecosistema (e.g. fotosíntesis, respiración, mineralización, retención de nutrientes). Por esta razón, los científicos han tornado su mirada hacia variables fácilmente medibles del ecosistema que nos permiten inferir sobre su funcionamiento tales como productividad primaria, niveles tróficos, biodiversidad, temperatura, humedad, radiación solar y disponibilidad de nutrientes.

Teóricamente, existe consenso sobre el enfoque, sin embargo en la práctica, no es fácil ni evidente seleccionar los factores y variables que cumplan con dicha función y mucho menos que permitan predecir la viabilidad del ecosistema. A la fecha lo único que se puede afirmar con total certeza es que “las propiedades y procesos de los ecosistemas dependen de factores abióticos y de sus componentes bióticos”. Por ejemplo, Schlöpfer y Schmid (1999) indican que al examinar el efecto de la biodiversidad en las propiedades y procesos de ecosistemas naturales, agrícolas y forestales, utilizando cuatro variables del ecosistema y 14 tipos de niveles tróficos; existen 56 hipótesis que explican tal relación ó su ausencia y que de ellas, solo 20 habían sido probadas de modo experimental.

Por otro lado, los investigadores que estudian procesos en ecosistemas han utilizado el enfoque “estado-factor” para analizar la interacción entre factores de control y el funcionamiento de los ecosistemas (Van Cleve, 1991). Bajo este paradigma, se deben elegir factores con un “marcado efecto en la respuesta del ecosistema” o sea aquellos elementos que permitan explicar patrones o cambios en las propiedades y/o procesos de los componentes abióticos (e.g. radiación solar, precipitación, disponibilidad de nutrientes) y bióticos (rol de los organismos en la creación, modificación y mantenimiento de hábitats) en el ecosistema (Chapin et al. 1997, Lawton 1994, Schlöpfer y Schmid 1999). Inicialmente, la investigación ecológico centró sus estudios en ambientes naturales sin embargo actualmente se ha reconocido que el ser humano es un agente de cambio clave en la dinámica, mantenimiento y evolución de los ecosistemas (Daily et al. 2001, Ehrlich and Wilson 1991, Folke et al. 1996, Hooper et.al. 2005, Portela and Rademacher 2001, Rosero-Bixby et al. 2002).

¹⁴ Variedad integral del paisaje, considera diversidad biológica, abiótica, cultural y étnica (Kappelle, 2008).

En la selección de los factores de control se partió de lo expuesto por autores como Klijn (1994), Klijn y Udo de Haes (1994), Omernik (1987 y 1995), Omernik y Bailey (1997) y Schultz (1995). Por las características propias del país se eligieron tres factores de control: el clima, el relieve/geología/suelo y el uso-cobertura de la tierra (factor biótico), por considerarse que tienen una marcada influencia en los procesos del gran ecosistema (región), el ecosistema y la ecolocalidad (cuadro 7).

Por su posición geográfica (8° a 11° de latitud norte y 82° a 85° longitud oeste), Costa Rica pertenece a la región biogeográfica Neotropical, la cual incluye América del Sur, Centroamérica y el Caribe. Su ubicación en la zona geoastronómica intertropical (entre los Trópicos de Cáncer y de Capricornio) le confiere un régimen térmico anual y estacional muy estable. El desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI) y los vientos alisios del Noreste y del Sureste explican el patrón estacional de lluvias del país y su interacción con el relieve explica su patrón espacial. Bajo estas condiciones abióticas y por su condición de puente biológico entre América del Norte y del Sur, la vegetación natural predominante de Costa Rica es el bosque con aportes de las Regiones Neártica (provincia xérica mexicana y provincia montañosa boreal) y Neotropical (provincias amazónica, andina o del páramo y xérica suramericana). La distribución de la fauna está asociada a los mismos factores y en especial a la cobertura boscosa. Por otro lado, la expresión actual de la biodiversidad a nivel nacional es el resultado de la intervención humana sobre los ecosistemas originales, convirtiéndose en un agente de cambio muy importante.

Los factores seleccionados también permiten inferir sobre procesos ecológicos (e.g. producción primaria neta, tasas de mineralización, distribución de especies) y la magnitud de los bienes y servicios que puede ofrecer cada ecorregión. A nivel de ecosistemas, estos mismos factores juegan un papel preponderante, pero su expresión espacial abarca áreas más pequeñas (e.g. bosque nuboso ó bosque de robles). Al delinear ecorregiones y ecosistemas los límites reflejan la distribución espacial de estos factores de control a diferentes escalas, de tal forma que pueden ser reconocidos en el campo, comparados y monitoreados en el tiempo.

La circulación atmosférica global y de mesoescala aunado a la configuración del relieve y a la acción antrópica son los factores que juegan un papel preponderante en la expresión de los elementos climáticos (e.g. temperatura, precipitación, estacionalidad); los cuales a su vez inciden en los patrones de biodiversidad regional y local. El sistema montañoso principal que corre de noroeste a sureste sirve de línea divisoria o parte aguas entre las tres vertientes principales del país (Pacífico, Caribe y Zona Norte) y a la vez incide en los procesos erosivos, de remoción en masa, la formación del sistema de drenaje superficial y el transporte de nutrientes y detritus desde las secciones superiores de las cordilleras y lomas hacia las secciones bajas (llanuras) así como los procesos de infiltración y escorrentía superficial.

Cuadro 7: Factores de control y su expresión a nivel de ecorregión, ecosistema y ecolocalidad.

Factor de control	Ecorregión	Ecosistema	Ecolocalidad
Clima	<ul style="list-style-type: none"> • Dinámica de procesos meteorológicos globales y de mesoescala (e.g. Desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical-ZCI, patrón anual de vientos alisios del NE y SW; empujes fríos, tormentas tropicales, ENSO). • Circulación de agua y nutrientes a escala de vertiente hidrográfica. • Dinámica regional de eventos que alteran el “Gran Ecosistema” (e.g. patrones regionales de incendios, sequías, inundaciones). 	<ul style="list-style-type: none"> • Dinámica de procesos meteorológicos subregionales (e.g. procesos orográficos, brisas de valle-montaña, procesos convectivos en tierras bajas, condensación de humedad en tierras altas). • Circulación de agua y nutrientes a nivel de subcuenca hidrográfica (i.e. principales tributarios de una cuenca mayor). • Dinámica local de eventos que alteración el ecosistema (e.g. incendios locales, inundaciones,). 	<ul style="list-style-type: none"> • Dinámica de procesos meteorológicos a escala local (e.g. pasos, fondos de valle, cimas de montañas). • Circulación de agua y nutrientes a nivel de microcuenca hidrográfica (i.e. tributarios de orden uno y dos en áreas montañosas). • Dinámica local de eventos que alteración el ecosistema (e.g. inundaciones, incendios locales).

Cuadro 6: Factores de control y su expresión a nivel de ecorregión, ecosistema y ecolocalidad. Cont.

Factor de control	Ecorregión	Ecosistema	Ecolocalidad
Relieve geología y suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Dinámica geológica y edafológica regional (e.g., cronología, génesis, órdenes de suelos). • Patrones de erosión/deposición regionales (e.g. vertientes). • Define pisos o regiones térmicas. • Modifica condiciones climáticas regionales (e.g. sotavento y barlovento). • Modifica patrones regionales de suelo, el cual es controlada por: material parental, clima, topografía, seres vivos (incluido el ser humano) y tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dinámica morfotectónica subregional (e.g. litologías). • Patrones de erosión/deposición locales (e.g. Montañas Vs Valles Vs llanuras) • Modifica condiciones climáticas locales (e.g. vientos, distribución espacial de lluvia). • Patrones subregionales de disponibilidad de humedad, nutrientes, densidad aparente y textura según su origen climático-geológico y relieve. • Presencia de algún factor dominante en el suelo (e.g. áreas anegadas, suelos orgánicos). 	<ul style="list-style-type: none"> • Dinámica geomorfológica local (e.g. deslizamientos, cambios abruptos en pendiente). • Patrones de erosión/deposición locales (e.g. forma y posición de la pendiente) • Modifica condiciones climáticas locales (e.g. cresta de montaña, pasos locales). • Patrones locales de disponibilidad de humedad, nutrientes, densidad aparente y textura (e.g. turberas, suelos orgánicos). • Presencia de elementos tóxicos localizados (e.g. exceso de aluminio y cobre, ausencia de suelo mineral).
Bióticos	<ul style="list-style-type: none"> • Afinidad zoogeográfica y fitogeográfica de fauna y vegetación. • Patrones regionales de uso de la tierra (e.g. zonas agrícolas, ganaderas). • Extinción, invasión de especies 	<ul style="list-style-type: none"> • La vegetación natural y la fauna muestran una afinidad a nivel de familias y géneros así como en formas de vida (e.g. árboles, arbustos, herbazales, palmas). • Predominan ciertos usos de la 	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de un elemento biótico dominante (e.g. bosque anegado de Bagaces) ó bosque de Yolillo de Tortuguero. • Ecosistema relicto en una localidad particular. • Localidad con presencia de una

	a nivel regional	tierra (e.g. plantaciones de banano, café, palma africana, pastos de altura).	especie endémica • Extinciones locales
--	------------------	---	---

6.4 Descripción de los factores de control

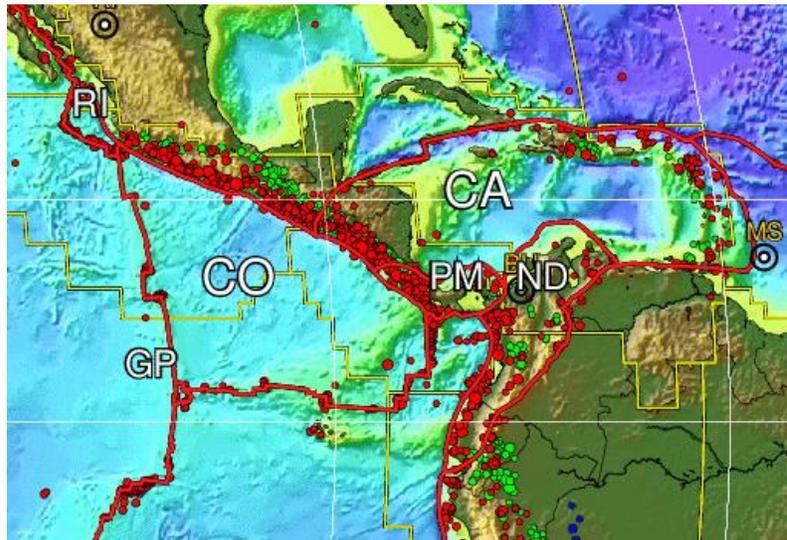
Una vez definidos los factores de control (relieve/geología/suelo, climatología y bióticos) que inciden sobre los procesos de los ecosistemas y finalmente sobre su composición y estructura y expresión a nivel de paisaje, se analizó su dinámica para determinar cuáles variables serían las más idóneas para explicar dicha dominancia. Las variables seleccionadas fueron:

- A. Relieve/geología/suelos: unidades morfotectónicas y pendiente
- B. Clima: temperatura media anual, precipitación media anual-estacional y meses secos
- C. Biótico: uso-cobertura de la tierra

Los criterios utilizados para seleccionar las variables fueron disponibilidad de datos y su relación con los procesos/propiedades de los ecosistemas a los diferentes niveles espaciales analizados, para mayores detalles sobre los argumentos ecológicos ver la sección tres del presente documento.

6.4.1 Relieve y unidades morfotectónicas

El análisis morfotectónico permite regionalizar un espacio geográfico a partir de la génesis de los principales accidentes topográficos. Genéticamente, el relieve es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las formas actuales del relieve costarricense son el resultado de procesos tectónico-erosivos que han tenido lugar a lo largo de millones de años. La geodinámica de Costa Rica es el producto, en buena parte, de su ubicación en el "Cinturón de fuego del Pacífico" y de la actividad tectónica permanente producto de la interacción entre las placas Caribe (CO), la cual incluye la micro placa de Panamá (PM) y Coco (CO) a lo largo de la Fosa Mesoamericana, la cual se extiende aproximadamente desde la costa sur de Méjico hasta los alrededores de la Península de Osa-Costa Rica; continuando luego con la fosa de Colombia y la placa del Norte de los Andes (ND) en Suramérica.



Relación entre sismicidad y placas tectónicas. Fuente:

http://www.geos.ed.ac.uk/homes/s9535097/world_poster.gif

La actividad volcánica, los deslizamientos y la actividad sísmica asociada a la dinámica morfotectónica son considerados como amenazas para los seres humanos y sus bienes; sin embargo desde la perspectiva

de un enfoque ecosistémico son agentes de cambio que modifican en el largo plazo la composición, estructura y funcionamiento del ecosistema y sobre los cuales el gestor del recurso no puede tomar ninguna acción para evitarlos. Según Mora (1983) el país puede clasificarse morfo-tectónicamente en tres grandes regiones: Tramo Arco-Fosa, Arco Interno y Tras-arco (cuenca retro-arco).

Tramo Arco-Fosa

Este se divide a su vez en *Arco Externo* e *Intra fosa*. La primera conformado actualmente por las Península de Sana Elena, Nicoya, Osa y las Puntas de Herradura, Quepos y Burica. Geológicamente, esta zona está compuesta por las rocas más antiguas del país (Jurásico superior-Cretácico inferior). La sección Intra-Fosa corresponde los Golfos de Nicoya, Dulce, Bahía Charco Azul y los valles de Tempisque, Diquis, y Coto Colorado y posiblemente las llanuras de Parrita y Portalón. Estas depresiones están rellenas con material sedimentario marino y continental del Terciario y Cuaternario.

Arco Interno

El *Arco Interno* está formado por tres subsistemas. El sistema de fallas longitudinales y Cordillera Solevantada, actual Fila Costeña que se extiende desde los alrededores del valle del río Candelaria hasta la frontera con Panamá, su orientación general es hacia el NE, predominan las rocas sedimentarias del Eoceno hasta el Cuaternario.

Las *cuencas de intra-arco* que dieron origen a depresiones inter e intramontañosas como resultado del relleno de sedimentos continentales de origen volcánico y erosivo (e.g. lahares, fanglomerados, cenizas, lavas, ignimbrita). Y los *Valles y Depresiones* representados por la depresión tectónica central (San José-Guarco), General-Coto Brus, depresión de Arenal, cuenca alta y media del río Reventazón (valles de Orosi, Ujarras y Turrialba), depresiones de Copey-Los Santos en la cuenca del río Pirris y los valles de la Estrella, Talamanca y Quetzal-Moravia de Chirripó.

El tercer subsistema es *Arco Plutónico-volcánico* representado por las cordilleras volcánicas y plutónicas del país, sus áreas de piedemonte y algunas filas montañosas de orden secundario; el cual se dividido a su vez en las *cordilleras volcánica* de Guanacate y Central y las cordilleras *Vulcano-Plutónicas*, caracterizadas por actividad volcánica alternada y algunas veces correlacionada con el plutonismo (rocas intrusivas): Este subsistema corresponde a la cordilleras de Talamanca, Tilarán-Aguacate y Matama. Las cimas de Talamanca fueron afectadas durante el Pleistoceno por pequeños glaciales de tipo "alpino" que se evidencia en el paisaje actual por la presencia de valles en forma de "U" y morrenas.

Tras-arco

La zona de tras-arco (cuenca retro-arco) se caracteriza por Llanuras y cuencas sedimentarias e incluye a las llanuras de la vertiente Caribe (e.g. Guatuso, Santa Clara, Sarapiquí, Tortuguero, baja Talamanca-Cahuita), las cuales están rellenas de sedimentos clásticos, marinos y continentales del Terciario al Cuaternario.

La geología y la configuración del relieve permiten dividir el país unidades morfotectónicas como se muestra en la figura 12. A continuación se describe cada una de ellas.

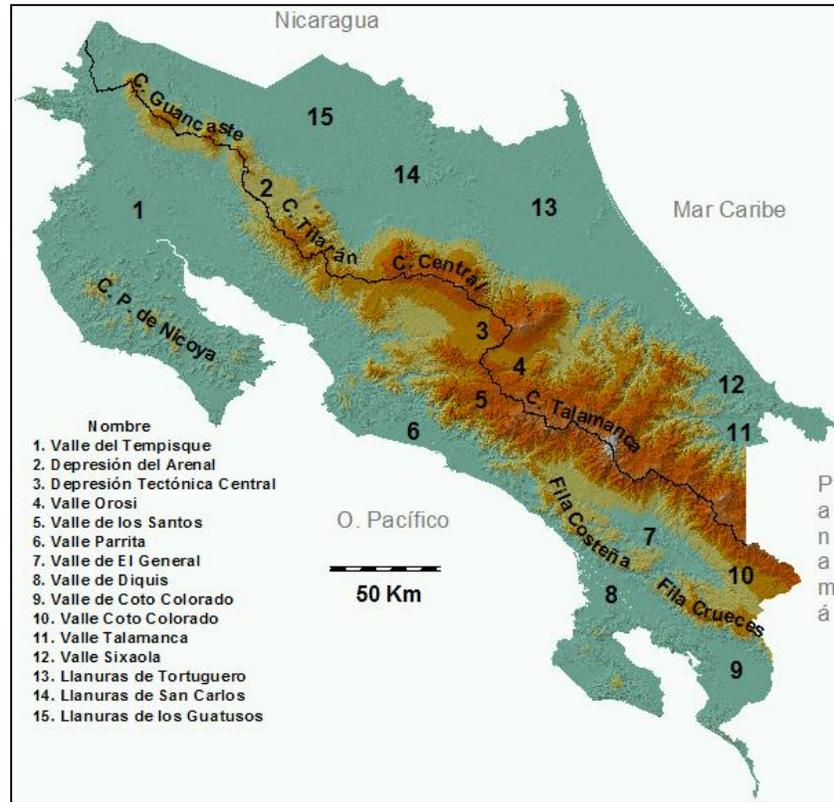


Figura 12: Unidades de macro relieve de Costa Rica.

A. Zona Montañosa

Áreas sobre 500 m pacífico y 600m en el Caribe

Cordillera Volcánica de Guanacaste: Esta unidad se originó en el Cuaternario (rocas volcánicas recientes); tiene una longitud de aproximadamente 75 Km y su orientación es NO-SE. Sus principales volcanes, de norte a sur son: Orosí (1487m), Rincón de la Vieja (1806m), Miavalles (2028m), Tenorio (1196m) y Arenal (1638m). Otras estructuras volcánicas de importancia son el Volcán Góngora (1686m), el Cacao (1659m) y el Chato (1100m). En el piedemonte (aproximadamente 550 msnm) y hacia las tierras bajas del Pacífico (aproximadamente 100 msnm) del flanco Occidental de la cordillera se encuentra la meseta de Santa Rosa formada por ingnimbritas, lahares y depósitos pumíceos del pleistoceno.

Cordillera Volcánica de Tilarán: Una porción del área se originó en el Cuaternario (rocas volcánicas recientes) y otra en el Terceario superior (rocas volcánicas) y tiene una longitud de aproximadamente 55 km. La cordillera inicia en la falla del Arenal y termina al suroeste en la falla de Las Juntas. En los montes del Aguacate se encuentran tres restos volcánicos muy erosionados: Cerro Pelón (881m); Cerro Tinaja o Tinajitas (925m) y el Cerro Mondongo (1020 m). En el área de Monteverde se encuentra la formación del mismo nombre, la cual está constituida por lavas andesíticas y tobas riodiríticas con un espesor de hasta 200 m y originada en el pleistoceno. En la Cordillera de Tilarán se han localizado vetas de oro Abangares y Miramar.

Cordillera Volcánica Central: El área se originó en el Cuaternario (Rocas Volcánicas recientes). La cordillera puede dividirse en tres sectores: El extremo Noroeste formado por los volcanes Viejo (2060 msnm), Porvenir (2267 msnm), Congo (2024 msnm), Platanar (2183 msnm) y Poás (2700 msnm); un sector central formado por el macizo del Barba-Tres Marías (2906 msnm), cerro Cacho Negro (2136 msnm) y el extremo sureste formado por los volcanes Irazú (3423 msnm) y Turrialba (3339 msnm).

Cordillera de Talamanca: Es la formación montañosa más extensa (8512 Km²) y de mayor elevación en Costa Rica (4820 msnm). Su eje mayor tiene una longitud de 120 Km en sentido NE-SO y su eje menor 69 Km en sentido SO-NE. El 70% de la cordillera se encuentra en la vertiente Caribe. El área se originó a partir rocas del Terciario (Rocas Volcánicas) y del Cretaceo a Plioceno (Rocas sedimentarias de aguas profundas). El flanco oeste (Pacífico) desciende en forma más abrupta que el este (Caribe).

Cordillera Costeña o Brunkeña: Se extiende por aproximadamente 155 Km en sentido NO-SW desde el río Savegre en Costa Rica hasta el Valle de Chiriquí en Panamá. Está formada por rocas sedimentarias de aguas profundas del Oligo-Mioceno, con afloraciones calizas del Eoceno. El relieve es de lomerías con una altura media de 800 msnm y una altura máxima de 1685 msnm en el cerro Zapotal (Fila Coquito, extremo sureste).

B. Zona litoral

La zona de litoral está expuesta a procesos morfológicos típicos de ambientes terrestres y marinos. Los ríos acarrear y depositan sedimentos en los litorales y son redistribuidos a lo largo de las playas. El litoral Pacífico de Costa Rica tiene una longitud de aproximadamente 1355 km y su morfología es más compleja e irregular que la del Caribe debido a la presencia de grandes penínsulas y golfos (Ej. Santa Elena, Nicoya y Osa); gran cantidad de bahías, esteros, puntas, así como flechas de arena, acantilados e islas (Ej. San Lucas, Chira, Negritos, etc).

Por su parte el litoral Caribe tiene una extensión de tan solo 239 km y se caracteriza por una costa regular en su sección norte y central (aproximadamente hasta Moín). La sección sur es un poco más irregular con presencia de puntas tales como Cahuita y Puerto Viejo; la plataforma marina es más angosta que la Pacífica y en algunos sectores presenta arrecifes coralinos (Ej. P. N. Cahuita).

C. Llanuras

Aun cuando Costa Rica el 48% del país tiene un relieve de ondulado a fuertemente escarpado (pendiente +15%) la actividad volcánica, la erosión de los sistemas montañosos y los cambios en el nivel del mar en tiempos geológicos han permitido el desarrollo de llanuras formadas tanto por material aluvial como por antiguas terrazas marinas. Las principales llanuras de Costa Rica son:

Llanura Caribeña Norte: El área es drenada por las cuencas de los ríos Chirripó-Colorado, Tortuguero, Pacuare y Matina e incluye a las llanuras de Tortuguero y de Santa Clara. Es una zona muy plana con ríos meándricos que se desbordan con facilidad en la estación lluviosa. Geológicamente, están formadas por depósitos del cuaternario (lahar y aluvios-coluvios).

Llanura Caribeña Sur: Es la continuación de la llanura Caribeña Norte y se caracteriza por ser más angosta y estar formada por rocas sedimentarias volcanoclásticas del Eoceno a Cuaternario. La cuenca del río La Estrella alberga el valle fluvial del mismo nombre; en tanto que la cuenca del río Telire alberga al Valle de Talamanca. En el área de Cahuita existen depósitos y arrecifes coralinos.

Llanuras del Norte: Esta es el área drenada por las cuencas de los ríos Sarapiquí, San Carlos y Frío e incluye a las llanuras de San Carlos y de Los Guatusos. Es una zona muy plana con ríos que se desbordan con facilidad en la estación lluviosa Geológicamente, están formadas por depósitos del cuaternario (lahar y aluvios-coluvios).

Llanuras aluviales de los ríos Tempisque, Cañas y Bebedero-Lajas: El área se caracteriza por un relieve de plano a casi plano (pendiente 0-3%) que se originó como consecuencia del tectonismo y de la formación de terrazas marinas recubiertas por material volcánico. El valle o depresión del Tempisque es el de mayor extensión; posee un ancho de 20 a 35 Km; una longitud de 55 Km en sentido NO-SO y una elevación media de 30 m. Geológicamente, están formadas por depósitos aluviales y coluviales del Cuaternario.

Llanura del Pacífico Central y sur: Esta es un área que se originó a partir de terrazas marinas y sobre el cual se encuentran valles fluviales que se extienden desde el Valle de Tárcoles hasta Punta Burica. Su ancho es variado y está definido por la extensión de las estribaciones de La Cordillera Costera o Brunka.

Llanuras peninsulares del Pacífico: La Península de Nicoya y de Osa forman parte de las áreas montañosas más antiguas de Costa Rica y por lo tanto han estado sometidas a procesos de erosión por millones de años; lo cual ha permitido la formación de pequeñas llanuras en una topografía más accidentada.

D. Valles y depresiones intermontanas

Las depresiones tectónicas son áreas que se encuentran entre secciones de las cadenas montañosas y que se originaron por un proceso de descenso de bloques como resultado de la actividad tectónica.

Depresión tectónica central (conocida como Valle o Meseta Central). Se ubica entre la cordillera Volcánica Central y la Cordillera de Talamanca. El Alto de Ochomogo divide el valle en Oriental y Occidental y la vez sirve de punto de contacto entre las dos cordilleras. Es el área más poblada del país y el centro de la actividad económica y de servicios de Costa Rica. El material geológico es fundamentalmente de origen volcánico del cuaternario; aunque también se encuentran cortes y rellenos fluviales y a antiguos depósitos lacustres.

Valles de El General y Coto Brus. Estos valles forman parte de la cuenca media del río Grande de Térraba. Los materiales que la conforman son muy homogéneos y en su mayoría de origen fluvial. Rocas volcanoclásticas; terrazas formadas por materiales aluvionales en su mayoría de origen volcánico (Denyer, Kussmaul, 2000).

Valle Coto Colorado: Se ubica en el extremo sureste de Costa Rica y se extiende hasta Panamá. Su longitud es de 37 por 23km (773Km²). Es drenado por el río Colorado y está conformado por aluviones

del cuaternario y por terrazas sedimentarias.

Valle de Diquis: Se encuentra en la cuenca baja del río Térraba y está conformado por aluviones del cuaternario.

Relieve

El relieve¹⁵ es un elemento modificador del clima y de los procesos de formación y erosión del suelo. La influencia del relieve en el suelo puede observarse en la fuerte erosión típica de las laderas empinadas en relación con las zonas de baja pendiente. El mismo fenómeno puede apreciarse en la respuesta hidrológica de las cuencas con fuerte pendiente. Las laderas cóncavas son muy empinadas cerca de la cima de la loma y se aplanan hacia su sección inferior. La humedad del suelo tiende a acumularse en el pie del talud por el flujo de humedad del subsuelo lateral y con frecuencia forma pequeños riachuelos. Por el contrario, la pendiente convexa es más plana en la parte superior y más pronunciada hacia el segmento inferior. Las pendientes monotónicas (rectas) indican un gradiente similar a lo largo de la pendiente. A partir de estas consideraciones y considerando su efecto en los procesos del ecosistema el país se dividió en tres grandes unidades de relieve (Fig. 13):

- a) Plano-ondulado: 0-30% pendiente. Terrenos aptos para uso agrícola. Incluye desde planicies hasta lomeríos y áreas montañosas.
- b) Fuertemente ondulado: 30-50% pendiente. Terrenos aptos para cultivos permanentes, semipermanentes y pastoreo. Terrenos montañosos.
- c) Escarpado a fuertemente escarpado: + 50 % pendiente. Terrenos no aptos para usos agropecuarios; se pueden utilizar para producción forestal y servicios ecosistémicos de protección.

¹⁵ Relieve: Conjunto de formas de la superficie terrestre, tomando en cuenta la altura, la pendiente y el aspecto del terreno (Kappelle, 2008)

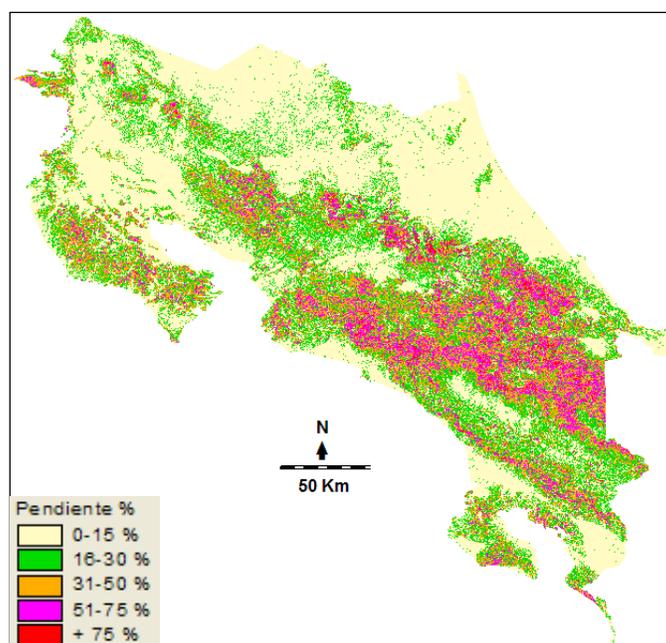


Figura 13: Configuración del paisaje según la pendiente dominante. Fuente: Elaboración a partir de modelo digital de elevación. Resolución 50m.

Cuadro 8: Extensión (Km²) de las unidades de relieve según Pendiente dominante en Costa Rica.

Unidades de relieve	Área Km ²	Área %	Potencial agroecológico/ecológico
Plano-ondulado (0-30%)	381117	73.3	Terrenos aptos para uso agrícola. Albergan la mayor parte de los humedales del país. Incluye desde planicies hasta lomeríos y áreas montañosas.
Fuertemente ondulado (31-50%)	83023	17.3	Terrenos aptos para cultivos permanentes, semipermanentes y pastoreo. Terrenos montañosos.
Escarpado y fuertemente escarpado (+ 50%)	46269	9.4	Terrenos no son aptos para usos agropecuarios; se pueden utilizar para producción forestal y servicios ecosistémicos de protección.
Total	510409	100.0	

Aun cuando Costa Rica es catalogada como un país montañoso, el 73% del territorio tiene una pendiente inferior o igual a 30%, lo que ubica su relieve como plano-ondulado. La mayor parte de dicha área se encuentra en la vertiente Caribe, Zona Norte, Valle Central; Meseta de Sta. Rosa y Valle del Tempisque, Valle de General-Coto Brus, Valle de Diquís y Valle de Coto Colorado.

6.4.2 Clima

Costa Rica se ubica en la Zona Intertropical (entre los trópicos de Cáncer y Capricornio) y por tanto su clima se caracteriza por presentar muy poca variación en temperatura a lo largo del año (isotermo); así como una mayor amplitud térmica estacional y diaria; especialmente en las zonas montañosas. Este

comportamiento climático se debe a que tanto el día como la noche tienen una duración de 12 horas durante casi todo el año. La superficie terrestre se calienta durante el día y se enfría en la noche por irradiación. Otra característica relevante de la Zona Intertropical es su alta variabilidad en precipitación anual, estacional y/o mensual. La temperatura, disponibilidad de agua, humedad y evapotranspiración son posiblemente los elementos del clima que más influyen en los procesos del ecosistema (Gaston, 2000, Kluge 2006, Nemani et al. 2003, Watkins, 2006).

A. Temperatura y Pisos Térmicos

La temperatura es un indicador de la energía disponible en el ecosistema para procesos claves tales como producción primaria, evapotranspiración y descomposición de detritus (mineralización). La temperatura usualmente juega un papel limitante para los organismos, ya sea por ser muy elevada ó muy baja (Kluge 2006, Kapelle y Sally, 2005). Los bosques nubosos y el páramo ilustran claramente el efecto de las bajas temperaturas en la composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Fig.14).



Figura 14: Vegetación paramuna de Costa Rica. Mosaico de plantas arbustivas, gramíneas, poáceas, plantas arrosetadas, chusquea, musgo y plantas en forma de cojín. Febrero 2009, Cerro de la Muerte, 3100 msnm. El círculo muestra la escarcha encontrada a las 8:00 am.

La división del país en pisos térmicos considera la configuración natural del relieve de Costa Rica (e.g. Cadenas montañosas, valles y llanuras) y el efecto de los vientos alisios de mesoescala del este y oeste en la temperatura media anual y estacional. El criterio y la terminología utilizada para crear y designar los pisos térmicos son similares a los utilizados por autores como Holdridge (1978) en su sistema de Zonas de Vida ó Kappelle (2001) y Silva (2002 para designar pisos térmicos y altitudinales en Costa Rica y Venezuela.

No existe suficiente evidencia biológico/agrológico para establecer los límites entre los pisos térmicos de Costa Rica y por tanto las clases térmicas que se muestran en el cuadro 9 deben considerarse como una propuesta inicial y no como límites absolutos. A pesar de lo anterior, los límites de cada piso se eligieron

tratando de reflejar la relación que existe entre los patrones espaciales de temperatura y los patrones espaciales de elementos del ecosistema tales como riqueza de especies, producción primaria, tasas de mineralización y cultivos predominantes. Por ejemplo, los estudios sobre riqueza de especies en transectos altitudinales en Costa Rica indican que las polillas (*Geometridae*) en la vertiente Caribe alcanzan su valor máximo entre 1100 y 2000 m (19,7 y 13,7 °C), lo cual corresponde a tierras frescas y muy frescas; por su parte las aves tienen su máximo de riqueza a los 500 m (22,9 °C, tierras calientes) y la composición de la avifauna cambia entre los 500 y 1000 m (20,2 °C, paso de tierras calientes a tierras frescas). Los árboles muestran su mayor riqueza de especies entre 300 y 500 m en la vertiente Caribe (24,0 °C y 22,9 °C, tierras calientes) en tanto que las epífitas de copas lo hacen a los 1000 m (20,2 °C, tierras frescas) seguido por un segundo máximo a 1600 m (17,0 °C, tierras muy frescas). De igual manera, las teridófitas alcanzan su máxima riqueza entre 1500 y 1700 m (17,5 °C y 16,4 °C, tierras muy frescas). En cuanto a los cultivos, el 81,9% de las plantaciones de café se encuentran en zonas con temperaturas medias anuales entre 18,8 °C y 23,9 °C (tierras calientes y frescas) en tanto que la totalidad del cultivo de piña, banano y palma africana se encuentran en las tierras muy calientes (+24 °C). Estas evidencias no prueban que la clasificación sea “ecológica o agrológicamente correcta” sino que se ajuste a los patrones de riqueza y uso del territorio y que probablemente refleje los procesos que caracterizan a cada ecosistema.

Los pisos térmicos (Figura 15) se delimitaron a partir del mapa digital de temperatura media anual de Fallas y Valverde (2011). Dicho mapa fue elaborado utilizando un modelo digital de elevación con una resolución de 100 metros y dos ecuaciones de regresión de elevación vs temperatura media anual (°C); una para la vertiente Pacífica y otra para la Vertiente Caribe-Zona Norte. El mapa representa homólogos térmicos y no altitudinales; ya que dos localidades con la misma elevación tendrán diferentes temperaturas en la vertiente Pacífica y en la Caribe-Zona Norte (ver cuadro 9).

El 61,8% del territorio costarricense posee temperaturas superiores a 24°C (condiciones muy calientes); en tanto que el 23,8% corresponde a pisos Montanos (Tierras frescas a frías). Solo el 0,3% del territorio posee condiciones térmicas de muy frías a heladas; las cuales corresponden al bioma de Páramo (Kappelle y Horn, 2005).

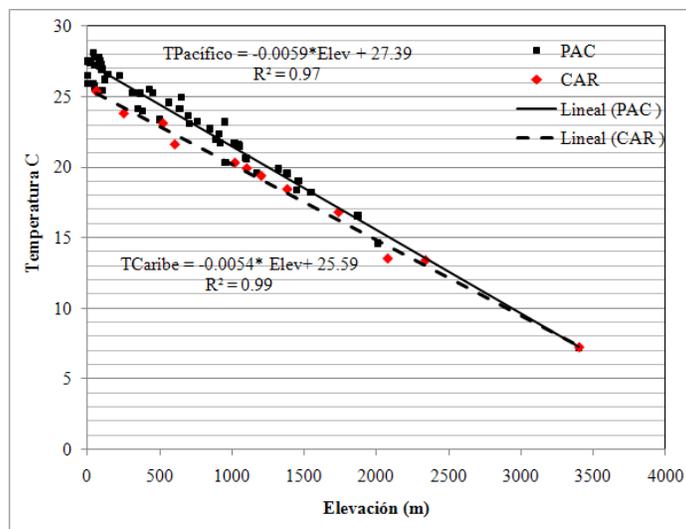


Figura 15: Relación temperatura media anual-elevación sobre el nivel medio del mar. Fuente: Fallas y Valverde, 2011.

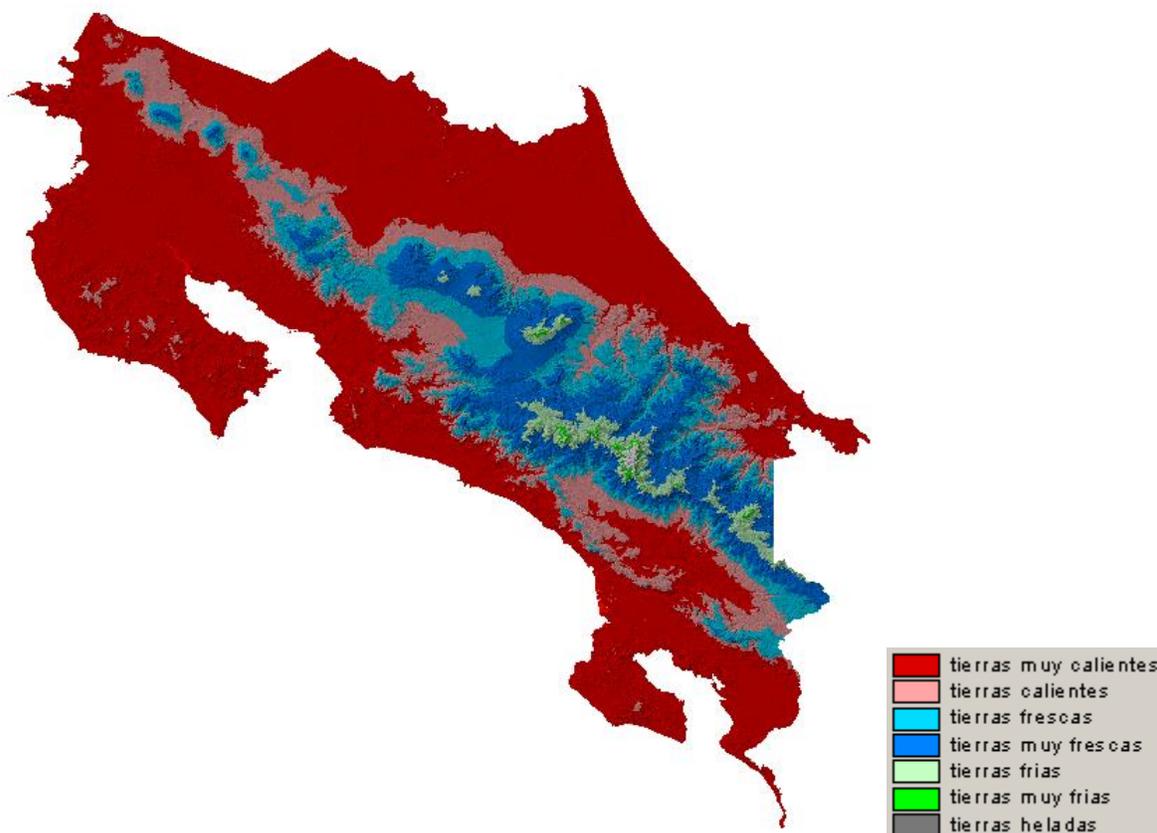


Figura 16: Pisos térmicos. Temperatura media anual. Fuente: elaboración propia a partir de datos de Fallas y Valverde (2009).

Cuadro 9: Pisos térmicos de Costa Rica.

Piso Térmico	T. media anual °C	Piso altitudinal	Área (Km ²)	Área (%)	Elevación (msnm)	
					Pacífico	Caribe Zona Norte
Tierras muy calientes	+24 °C	Basal	31548,15	61,8	0-600	0-300
Tierras calientes	23,9 a 21,5 °C	Premontano	7165,61	14,0	600-1000	300-750
Tierras frescas	21,4 a 18,8 °C	Montano Bajo	5686,51	11,1	1000-1500	750-1300
Tierras muy frescas	18,7 a 12,6 °C	Montano	5315,34	10,4	1500-2500	1300-2400
Tierras frías	12,5 a 9,1 °C	Montano Alto	1190,32	2,3	2500-3100	2400-3050
Tierras muy frías	9,0 a 7,9 °C	Subalpino	102,12	0,2	3100-3300	3050-3275
Tierras heladas	7,8 a 4,9 °C	Páramo	72,32	0,1	3300-3820	3275-3820

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Fallas y Valverde (2009).

B. Precipitación Media Anual

La precipitación anual y su distribución estacional es un indicador de la cantidad de agua disponible para los seres vivos y sus procesos vitales; así como para los procesos biogeoquímicos. La producción primaria, las tasas de descomposición de detritus y la evapotranspiración responden directamente a la temperatura y a la disponibilidad/ausencia de agua (Gómez y Gallopín 1991) y juegan un papel importante en los bienes y servicios que proveen los ecosistemas. El agua es un elemento esencial en el ecosistema y es especialmente crítico bajo condiciones de escasez (e.g. sequía) ó de exceso (e.g. anegado). Los ecosistemas de bosque seco, nuboso y de yolillo (*Raphia taedigera*) ilustran el efecto de la lluvia en la composición y estructura de los ecosistemas. Al respecto, Gentry (1988) indica que existe una mejor correlación entre la precipitación y la riqueza de especies en las tierras bajas de los trópicos que con los factores edáficos y que el aumento casi lineal de la riqueza de especies con la precipitación parece alcanzar un punto de saturación a los 4000 mm.

La clasificación del país por categorías de precipitación (Cuadro 10) considera la cantidad de lluvia y su patrón geoespacial, el cual está estrechamente relacionado con la configuración del relieve (e.g. cadenas montañosas, valles, llanuras y cercanía a la costa) y su interacción con los vientos (Alisios del este y oeste y las brisas locales). Dado que no existe un procedimiento universalmente aceptado para elaborar clases de precipitación, en el presente trabajo se utilizó el método de “clases naturales”. Este procedimiento utiliza la variabilidad del set de datos para dividirlo en “n” número de clases, de tal forma que se minimice la variabilidad a su interior y se maximice la diferencia entre clases. Las clases propuestas son similares a las utilizadas por Holdridge (1978) para definir Zonas de Vida ó a las de otros autores para definir condiciones de humedad (Bolaños y Watson, 1993); Gómez, 1986; Herrera y Gómez, 1993; Fallas 2003).

El mapa de clases de precipitación media anual (Fig. 17) se elaboró a partir del mapa digital de precipitación media anual de Fallas y Valverde (2011). La superficie de precipitación media anual fue elaborada utilizando puntos con valores de precipitación media anual publicados por el Instituto Meteorológico (periodo 1960-1990), el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y la Empresa de Transmisión Eléctrica S.A de Panamá (ETESA, <http://www.hidromet.com.pa>). El método de interpolación utilizado fue Kriging lineal del programa Surfer con una resolución de 200 metros (versión 8.09.2391, 2008).

La precipitación media anual de Costa Rica es 3128 mm; sin embargo la figura 18 permite apreciar su alta variabilidad a nivel nacional, con mínimos de 1300 mm y máximos de hasta 8000 mm; así como los gradientes de precipitación y las transiciones entre sitios secos, húmedos y muy húmedos (Fig. 19).

Cuadro 10: Precipitación media anual (mm).

Pt anual (mm)	Área Km ²	Área %	Formación ecológica
1300-1800	3792.4	7.4	Muy secas
1801-2500	10792.0	21.1	Secas
2501-3100	9057.1	17.7	Moderadamente húmedas
3101-4000	18043.4	35.3	Húmedas
4001-5000	8006.7	15.7	Muy húmedas
5000-7000	1419.4	2.8	Hiper húmedas
Total	51111	100.0	

Fuente: Basado en datos de Fallas y Valverde (2009).

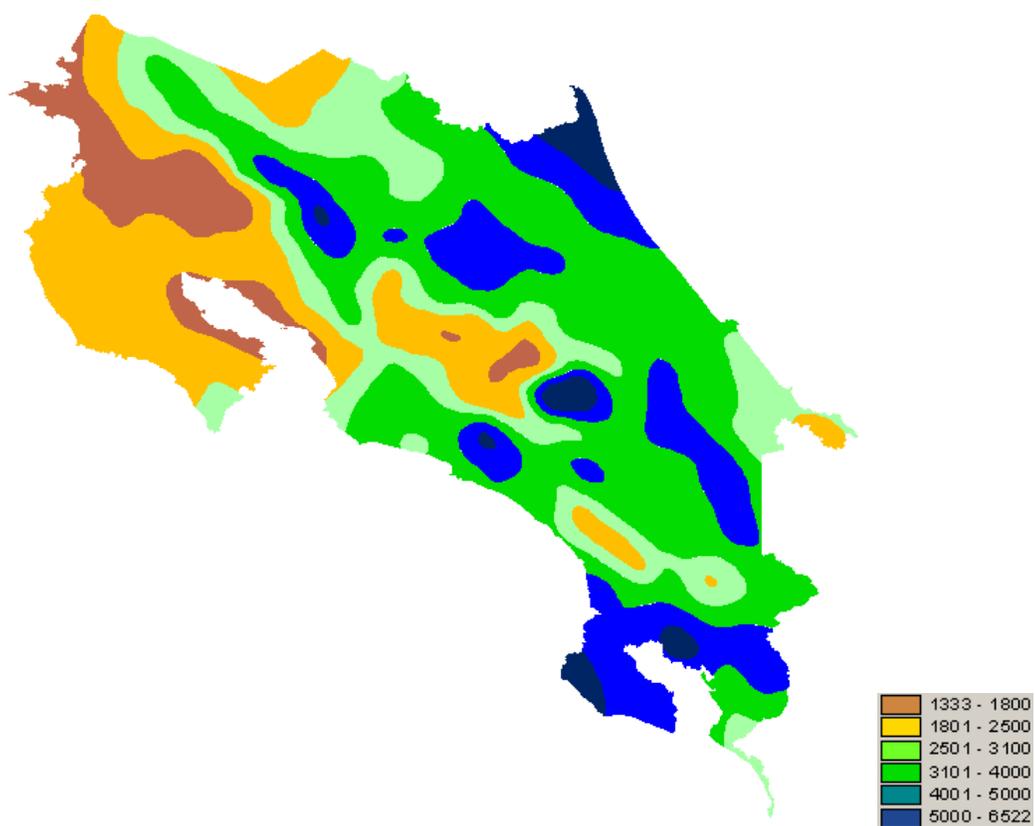
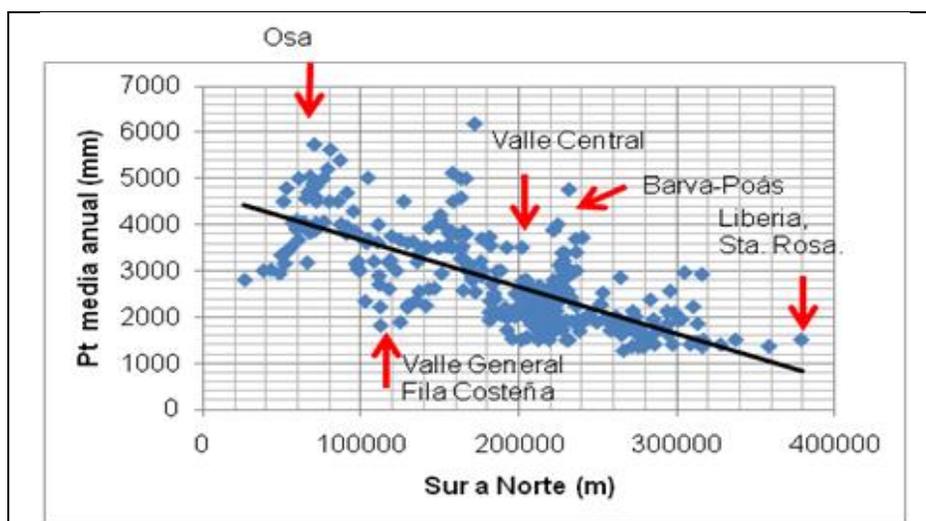


Figura 17 : Precipitación media anual (mm) para Costa Rica. Fuente: Basado en datos de Fallas y Valverde (2009).



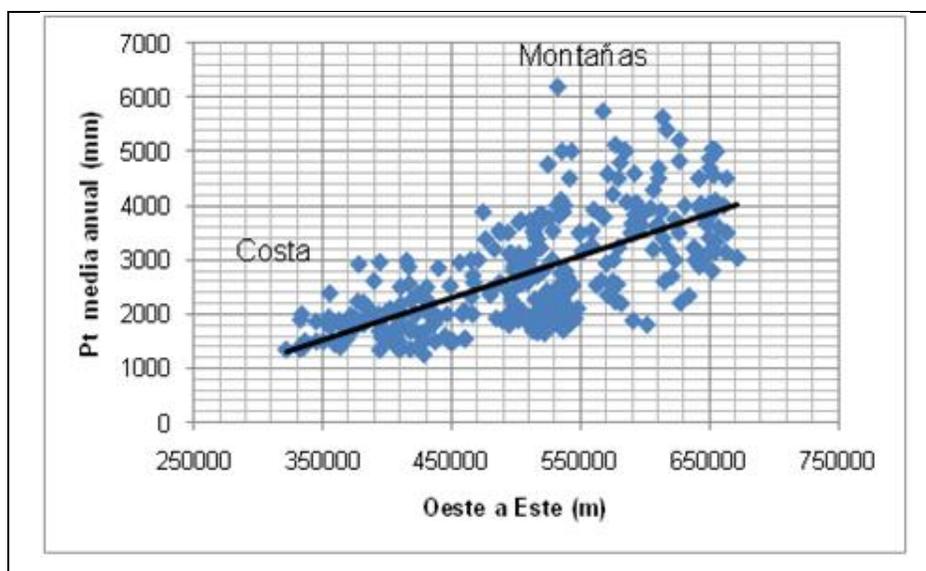


Figura 18: Gradiente (latitud y elevación) de la precipitación media anual (mm) en la vertiente Pacífica de Costa Rica. Fuente: Basado en datos del Instituto Meteorológico Nacional.

El patrón general de lluvia puede describirse de la siguiente manera:

1. *Pacífico Norte y Valles Central, del Guarco, San Marcos, San Pablo y Dota*: Zona caracterizada por una precipitación media anual entre 1200 y 2400 mm. El Pacífico Norte (Península de Santa Elena y los alrededores de Cañas-Bagaces y Liberia) así como en la zona costera que bordea el Golfo de Nicoya y una porción del valle central Oriental (Cartago, Cipreses, Paraíso, Tobosi, San Cristobal Norte) reciben entre 1300 y 1800 mm de lluvia al año.
2. *La península de Osa* y una banda que inicia en el humedal Térraba-Sierpe, continua por el sector sur de el Valle de El Diquis, las filas Golfito-Rocha y las estribaciones sur de las filas Santa Rita-Las Cruces y termina en el sector norte del valle del río Coto Colorado recibe entre 4000 y 5500 mm de lluvia al año.
3. *Caribe Central y Norte*: Esta zona tiene precipitaciones superiores a los 3000 mm anuales y en la zona de Tortuguero y la estribación norte de la cordillera Volcánica Central (cuenca superior del río Sarpiquí) alcanza hasta 4500 mm.
4. *Caribe Sur*: La zona costera comprendida entre Wesfalia y el río Sixaola, así como los valles de Talamanca y La Estrella reciben una precipitación media anual entre 2400 y 3100 mm.
5. *Zona Norte*: Esta zona muestra un aumento en la precipitación de norte a sur. El sector más seco corresponde a los Chiles, Medio Queso, Caño Negro, El Imperio, Caño Ciego, Colonia Puntarenas, San Jorge, San Judas y La Cruz con 2000 a 2400 mm. Luego le sigue una banda que inicia en el extremo noroeste en las montañas Las Marías, Lomas Buenavista hasta los 100-150 m, San José,

Santa Clara, Canalete (100-150 m), Cerro Olla de Carne (200m), Buena Vista, Palmira (50-100 m), Sta. Marta, Altamira, Encuentro, Cerros Chaparrón, Boca Tapada, Banderas, Guaria, San Isidro y Tiricias con 3500 a 3100 mm anuales. La tercera banda corresponde al piedemonte de las cordilleras de Guanacaste, Tilarán y Volcánica Central, el sector norte del paso de Tapezco y concluye hacia el norte en la llanura de San Carlos, el cerro La Mona, Chamorro, Llano Verde, Crucitas, Jocote y Tiricias con 3100 a 4000 mm.

C. Meses secos

Un mes seco se definió como aquel mes con una precipitación igual o inferior a 75 mm. Este valor es aproximadamente entre 0,8 y 1,2 de la evapotranspiración potencial mensual (60-90mm/mes). El mapa de meses secos (Fig. 19 y cuadro 11) se creó a partir del mapa digital de meses secos elaborado por Fallas y Valverde (2009). El mapa de meses secos fue elaborado utilizando 529 puntos corresponden a estaciones meteorológicas y/o pueblos utilizados como datos auxiliares. A cada pueblo se le asignó el número de meses secos basado en su ubicación, en el patrón de meses secos observados a partir de los registros con datos y en el conocimiento local del autor. La superficie de meses secos fue creada utilizando el método de interpolación Kriging lineal del programa Surfer (versión 8.09.2391, 2008) con una resolución de 200 metros.

El 29.6% del país tiene entre 4 y 5 meses secos (Pacífico Norte-Central, así como los Valles Central, del Guarco, San Marcos, San Pablo, Dota, la fila Costeña-Valle de El General); en tanto que el 30.4% carece de meses secos (Vertiente Caribe, estribaciones orientales de la Cordillera Volcánica de Tilarán; Península de Osa, Valle de Diquís, Fila de Golfito-Esquinas y Valle de Coto Colorado). La Zona Norte y las áreas montañosas de la vertiente Caribe y Pacífica presentan entre 1 y 3 meses secos.

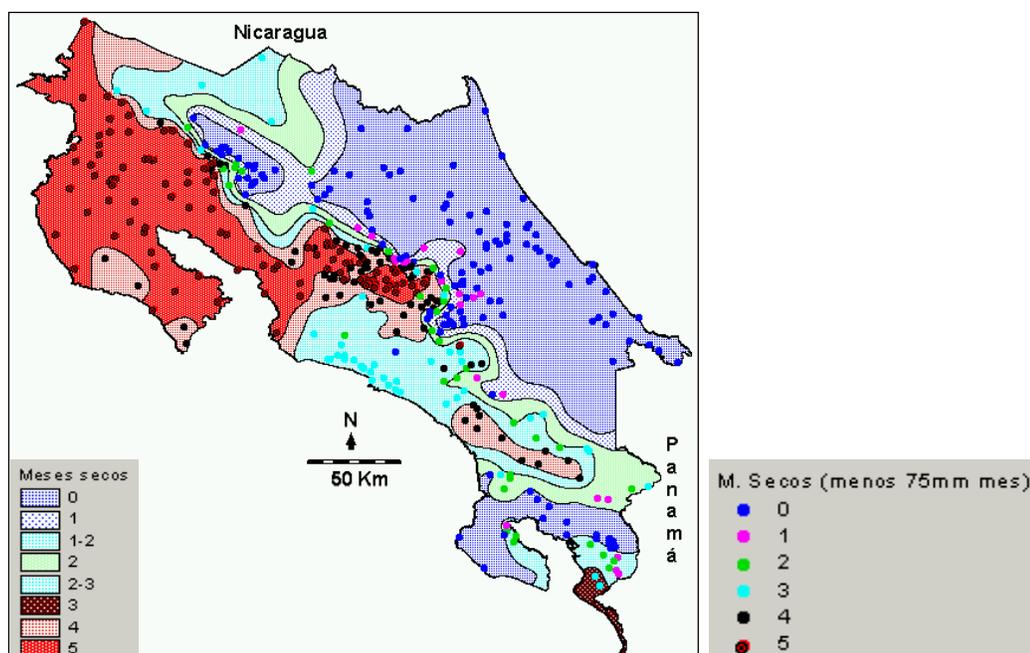


Figura 19: Meses secos (menos 75 mm/mes) de Costa Rica. Fuente: Basado en datos de Fallas y Valverde (2009).

Cuadro 11: Numero de meses secos (menos 75 mm mensual).

Mese secos	Área Km2	Área %	Ubicación
0 MS	15537	30,4	Vertiente Caribe, Llanuras de Tortuguero, Osa-Valles de Diquis y Coto Colorado.
1 MS	3874	7,6	Franja en zona montañosa hacia la divisoria topográfica en la vertiente Caribe.
2 MS	9237	18,1	Franja en zona montañosa hacia la divisoria topográfica en la vertiente Pacífica.
3 MS	7290	14,3	Pacífico Central, Zona de Piedemonte. Punta Burica.
4 MS	1782	3,5	Pacífico norte, valle de El General, Valle Central.
5 MS	13347	26,1	Pacífico norte, valle de El General, Valle Central.
Total	51066	100,0	

Fuente: Basado en datos de Fallas y Valverde (2009).

6.4. 3 Uso-cobertura de la tierra

El mapa de uso-cobertura utilizado en el presente trabajo se creó a partir del mapa de uso-cobertura del proyecto GRUAS II (SINAC, 2007) y el mapa de cobertura forestal del 2005 (Sánchez-Asofeifa, 2005). El mapa de GRUAS II se rasterizó a una resolución de 100 metros (1 ha). El mapa de Sánchez-Asofeifa et al. (2006) se utilizó para actualizar el área de cultivos de café y cobertura forestal. Finalmente y

considerando la similitud eco-fisionómica de cada cobertura, las mismas se reclasificaron en 8 clases (Figura 20 y cuadro 12).

Cuadro 12: Agregación del uso-cobertura utilizado en GRUAS II en 8 clases.

Código	Uso-cobertura GRUAS II	Código	Clase de uso-cobertura
1	Urbano	1	Urbano
2.1	Cultivos varios	2	Cultivos no permanentes
2.2	Banano	2	Cultivos no permanentes
2.3	Piña	2	Cultivos no permanentes
2.4	Melones	2	Cultivos no permanentes
2.5	Arroz	2	Cultivos no permanentes
2.6	Caña	2	Cultivos no permanentes
2.7	Café	3	Cultivos permanentes
2.8	Frutales	3	Cultivos permanentes
2.9	Plantación forestal	3	Cultivo permanentes
2.10	Palma	3	Cultivo permanentes
3.1	Pasto	4	Pasto
3.2	Pasto con árboles	4	Pasto
3.3	Sabana	4	Pasto
3.3	Charral-tacotal	4	Pasto
4.1	Bosque	5	Bosque
4.2	Bosque secundario	5	Bosque
4.3	Mangle	5	Bosque
5.1	Humedales	6	Vegetación natural
6	Páramo	6	Vegetación natural
7.1	Cuerpos de Agua	7	Cuerpos de agua
8.1	Terreno descubierto	8	Terreno sin cobertura vegetal
8.2	Playas	8	Terreno sin cobertura vegetal

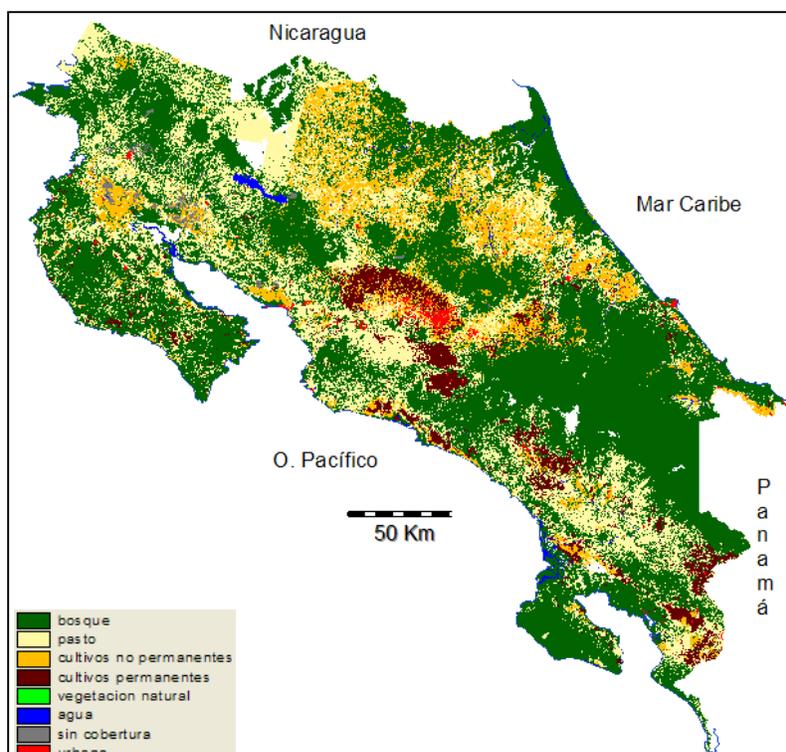


Figura 20: Uso-cobertura. Fuente: Elaborado a partir de mapa de uso-cobertura de RUAS II y mapa de cobertura forestal de Sánchez-Asofeifa et al. (2006).

El 54.1% del país se encuentra bajo cobertura boscosa (bosque, bosque secundario, bosque de palmas y mangle) seguido por pasto con un 26.6% y cultivos con un 15.1% (cuadro 13). Aun cuando la cobertura de los bosques no es homogénea a nivel nacional como puede apreciarse en la figura 21, la matriz actual del paisaje costarricense puede considerarse como boscosa.

Cuadro 13 : Uso-cobertura de la tierra.

Uso-cobertura	Área Km ²	Área %
Bosque	27673.68	54.1
Pasto	13613.85	26.7
Cultivos no permanentes	5124.89	10.0
Cultivos permanentes	2611.27	5.1
Vegetación natural (humedales herbáceos, paramo)	745.64	1.5
Sin cobertura	454.65	0.9
Urbano	429.87	0.8
Agua	323.14	0.6
Sin datos	141.52	0.3
Total	51118.5	100.0

Fuente: elaboración propia basado en mapa de uso-cobertura editado por el autor.

CAPITULO SIETE

7 Ecorregiones

En esta sección se describen los criterios y procedimientos utilizados para definir y delimitar las ecorregiones a nivel nacional. El primer paso fue crear una geobase digital en formato raster con una resolución de 100 m (1 ha) en la proyección CRTM05. Las capas originales en otras proyecciones fueron homogenizadas a CTM05 utilizando los parámetros de transformaciones oficiales del Instituto Geográfico Nacional.

La delimitación de regiones ecológicas se basó en una evaluación cualitativa y cuantitativa de mapas temáticos que inciden en las diferencias espaciales de los ecosistemas. Cuando varios de esos fenómenos coincidieron espacialmente se asumió que los ecosistemas eran similares y que a su vez los límites de las ecorregiones coincidían con el mayor número posible de discontinuidades. Las ecorregiones reflejan la “opinión del experto” sustentada en bases de datos y en su conocimiento local sobre los umbrales de las características claves que inciden en la estructura, composición y funcionamiento de cada ecosistema. Dichas características pueden variar entre ecosistemas y entre regiones. Por ejemplo, en zonas montañosas los pisos térmicos reflejan la presencia de mosaicos de flora y fauna asociados a diferencias en precipitación, temperatura, humedad, suelos y usos de la tierra (). En otras regiones como las tierras bajas del Caribe o de la Zona Norte, la presencia de una tabla de agua superficial determina el tipo vegetación y así como el uso de la tierra.

Los límites de la ecorregión expresan, más que un cambio abrupto en los patrones de los atributos analizados en comparación con las áreas circundantes, la opinión del "experto" en cuanto a la delimitación que mejor describe las divergencias eco-ambientales. La magnitud y distribución de los atributos que conforman un paisaje son importantes para decidir si, un área particular debería ser clasificada como una región separada ó por el contrario, integrarla a una región vecina a un determinado nivel de resolución regional. Al respecto, no existen reglas fijas para determinar cuál es la superficie mínima de cada ecorregión.

Las regiones ecológicas son espacios en los que existe una similitud relativa en el mosaico de los elementos y ecosistemas que la conforman. La resolución y exactitud de los materiales de referencia imponen una limitante en cuanto al nivel de detalle que puede representarse en el mapa ecorregional.

Un marco de análisis nacional estará conformado por regiones relativamente grandes separadas por fronteras suaves, con descripciones muy generales listando sólo las características principales de cada ecorregión. Por el contrario, un estudio muy refinado tendrá ecorregiones pequeñas (o más niveles en la jerarquía regional) con límites más sinuosos y una descripción más detallada de las características bióticas y abióticas. Lo importante es recordar que el objetivo del análisis regula el nivel de detalle que debe tener el producto final.

7.1 Ecorregiones: Límites Ecofuncionales del Territorio Costarricense

Para las condiciones de Costa Rica, una ecorregión, región ecológica o biorregión puede definirse como un espacio geográfico relativamente grande (del orden de 10^2 a 10^3 Km²) que se distingue por su relativa homogeneidad en su ecodiversidad, la cual incide en el funcionamiento del ecosistema y puede percibirse en su composición y estructura a nivel de paisaje. Este espacio debe gestionarse como un todo, como una entidad integrada y unitaria. El ecosistema es un continuo en el espacio y el tiempo y por lo tanto cualquier sistema de clasificación es imperfecto y refleja los objetivos para los cuales fue creado (Hassan, Scholes y Ashlle, 2005; Olson, 2001). Dado que un espacio geográfico pueden existir varios ecosistemas y múltiples límites, Hassan et al. (2005) recomiendan que una aproximación práctica a dicha limitación es elaborar y sobreponer mapas de factores o condiciones que incidan de manera significativa en la estructura, componentes y procesos de los ecosistemas e identificar las discontinuidades en cuanto a:

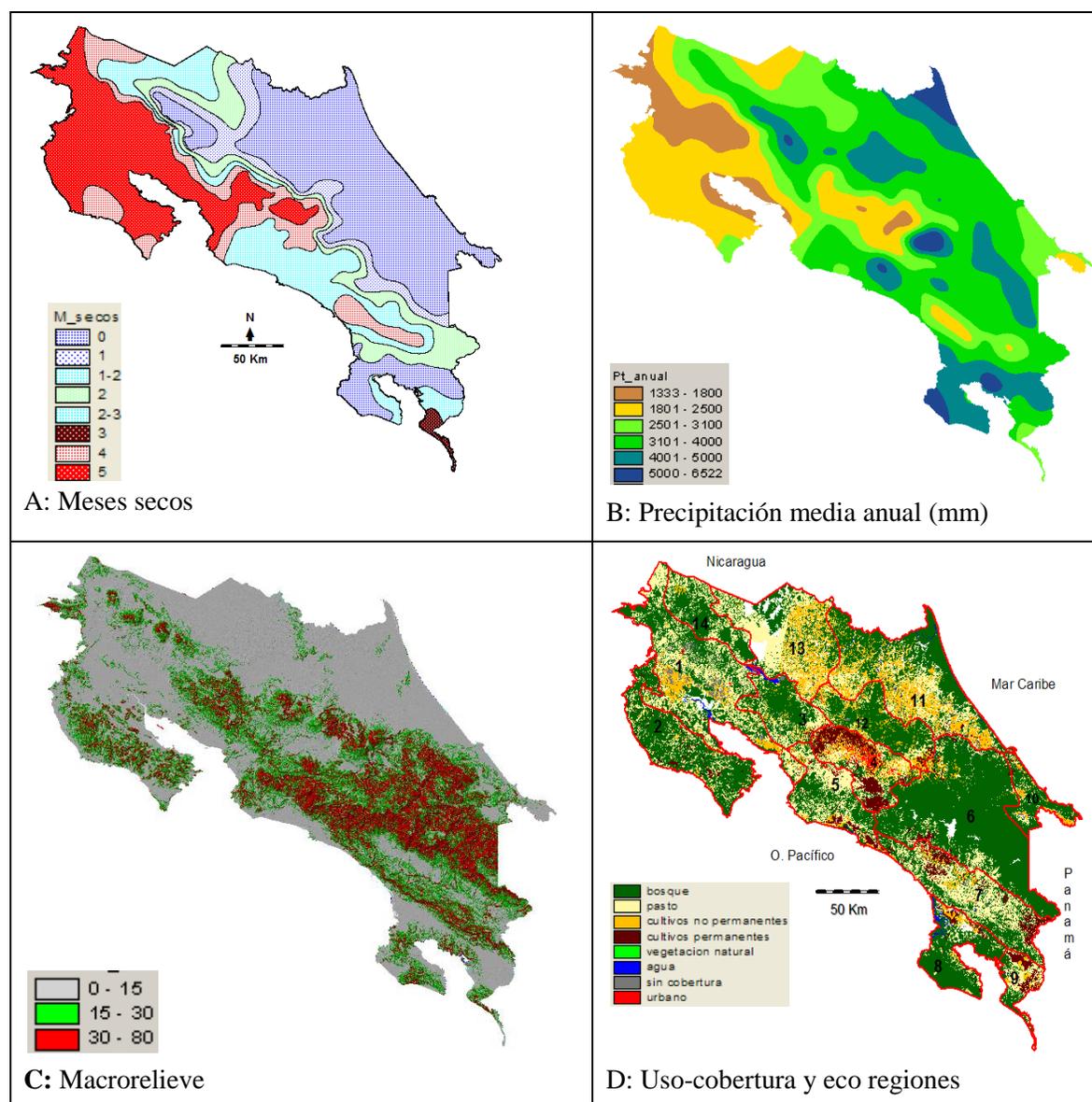
- a) Factores abióticos tales como textura, porosidad y densidad aparente del suelo, profundidad de cuerpos de agua, precipitación, temperatura y elevación.
- b) Discontinuidades en el relieve (e.g cuencas hidrográficas, cimas, lomas, fondos de valles).
- c) Distribución de organismos (e.g. plantas, aves, mariposas, anfibios y reptiles).
- d) Las interacciones espaciales de los organismos tales como el ámbito hogareño y las rutas de migración.
- e) Patrones de alteración de los ecosistemas originales (e.g. ecosistemas naturales, seminaturales y transformados o culturales).

En Costa Rica, la coincidencia espacial del relieve-elevación-temperatura, cantidad y régimen de lluvia definen franjas o pisos transversales tanto en la vertiente Pacífica como Caribe-Zona Norte con grandes ecosistemas diferenciables en cuanto a su composición, estructura y funcionamiento. Sin embargo, desde una perspectiva biológica, dichas franjas no reflejan límites absolutos o discontinuidades ya que los seres vivos y en especial los mamíferos mayores y las aves tienen rangos de distribución muy amplios. Por ejemplo, las aves con desplazamientos altitudinales (e.g. Pájaro Campana *Procnias tricarunculata*) y las migrantes continentales (i.e. millones de aves se desplazan sobre la costa Caribe de Costa Rica cada año entre agosto y noviembre en su viaje desde Norte América hacia Centro y Sur América) pueden ocupar hábitats que abarcan cientos o miles de kilómetros cuadrados. Por otro lado, existen otros organismos que completan su ciclo de vida en unos cuantos metros cuadrados o hectáreas (e.g. algunos anfibios y reptiles). También tenemos organismos con rangos de distribución muy restringidos conocidos como “endémicos”, los cuales conforman “áreas de endemismo”, o sea, espacios geográficos que tienen especies que no se encuentran en ninguna otra localidad o región del mundo.

Las ecorregiones se delimitaron integrando los mapas de meses secos, precipitación medio anual, temperatura media anual, macrorrelieve y uso-cobertura de la tierra. La precedencia en los criterios utilizada fue la siguiente: inicialmente se utilizaron criterios climáticos (pisos térmicos, áreas con más de 3000 mm de precipitación ó áreas con 4-5 meses secos). Posteriormente los límites se ajustaron considerando la configuración del relieve-geología y finalmente se ajustaron a las grandes categorías de uso-cobertura de la tierra. Una vez creadas las ecorregiones se fusionaron las áreas pequeñas (Ej. Serranías

de la Península de Santa Elena, Valle de Coto, Valle de Parrita y Serranías de Burica) con regiones aledañas para crear el mapa final de ecorregiones (Fig. 21).

El límite final de las ecorregiones no coincide estrictamente con las características abióticas/bióticas del territorio costarricense. Por ejemplo, geológicamente, la ecorregión 9 (Serranías de Punta Burica y Valle Coto Colorado) está conformada por aluviones del cuaternario y material sedimentario del Plioceno-Pleistoceno marino y el uso-cobertura de la tierra está conformado por dos clases dominantes: pasto y cultivos en el Valle de Coto y bosque-pasto en la Península de Burica; sin embargo se agruparon en un ecorregión dada que desde la perspectiva de la gestión ecorregional del territorio es una unidad muy pequeña. El tercer nivel de la clasificación -las ecolocalidades- pueden utilizarse para delinear comunidades bióticas al interior de los ecosistemas.



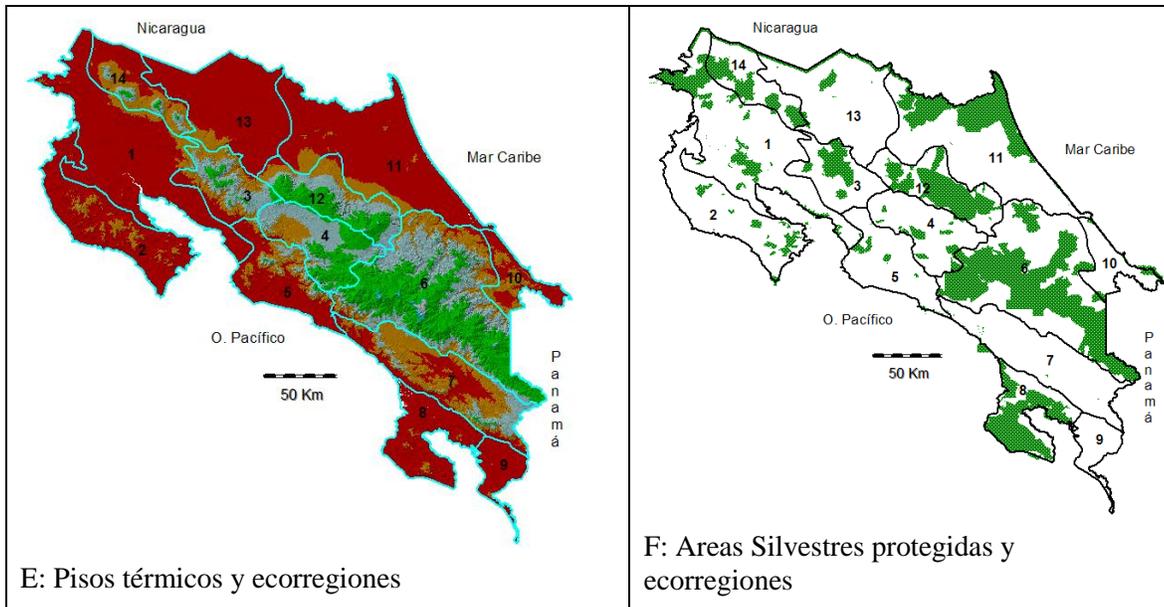


Figura 21: Ecorregiones de Costa Rica. Los números indican la ecorregión.

Recuadro 4: Definición de parche y cálculo del número de parches

El parche se define con un fragmento de cobertura, en este caso natural, que no está conectado con otro segmento del mismo tipo de cobertura y que por lo tanto está aislada. Los parches son importantes como indicadores de la integridad espacial y funcional de los ecosistemas. A mayor densidad de parches existe un mayor grado de fragmentación del ecosistema y lo tanto menor integridad; lo cual interfiere con los procesos vitales de los organismos que conforman el ecosistema.

Las métricas del paisaje (e.g. números de parches, densidad de parches y aislamiento) se utilizan para describir la estructura, composición y configuración espacial de un área o espacio geográfico determinado. Una limitación de dichas métricas es que dependen del tamaño del área de referencia y del criterio espacial utilizada para crear los parches. Los parches utilizados en el presente análisis se crearon fusionando las áreas de bosque, bosque secundario, mangle, humedales, bosque secundario y paramo para crear una clase o categoría de cobertura denominada “cobertura natural”. Esta gran clase cubre 28419,32 Km² (55.6%) del país. Sin embargo, desde la perspectiva de la funcionalidad de los parches, su área efectiva es menor. Por ejemplo, si consideramos que los primeros 100 metros alrededor de cada fragmento corresponden a borde, el área remanente o “núcleo” se reduce a 20735,22 Km², lo cual representa un 73% del área de cobertura natural original. Por tanto, en el presente trabajo el número de parches utilizado para el análisis corresponde a las “áreas núcleo” y no al número de fragmentos original de cobertura natural.

7.1 Descripción de las ecorregiones

Los cuadros 14, 15 y 16 muestran, la extensión y resumen las características bióticas y abióticas de cada ecorregión. Las 13 ecorregiones puede agruparse en 10 macroclimas como se indica en el cuadro 14, los cuales van desde ambientes secos, muy calientes y estacionales como Guancaste, P. de Nicoya hasta hiperhúmedos, no estacionales y muy calientes como Osa y Tortuguero.

La cobertura natural de Costa Rica es de 28419,32 Km² (55.6%) por lo que la matriz del país es “natural”; sin embargo su distribución espacial a nivel nacional es muy heterogénea y fragmentada como puede apreciarse en la figura 22. De los 10668 parches núcleo contabilizados (ver recuadro 1), el 50% tiene menos que 3 hectáreas, el 75% menos de 10 hectáreas y solo el % tiene un área superior a 109 hectáreas (cuadro 15).

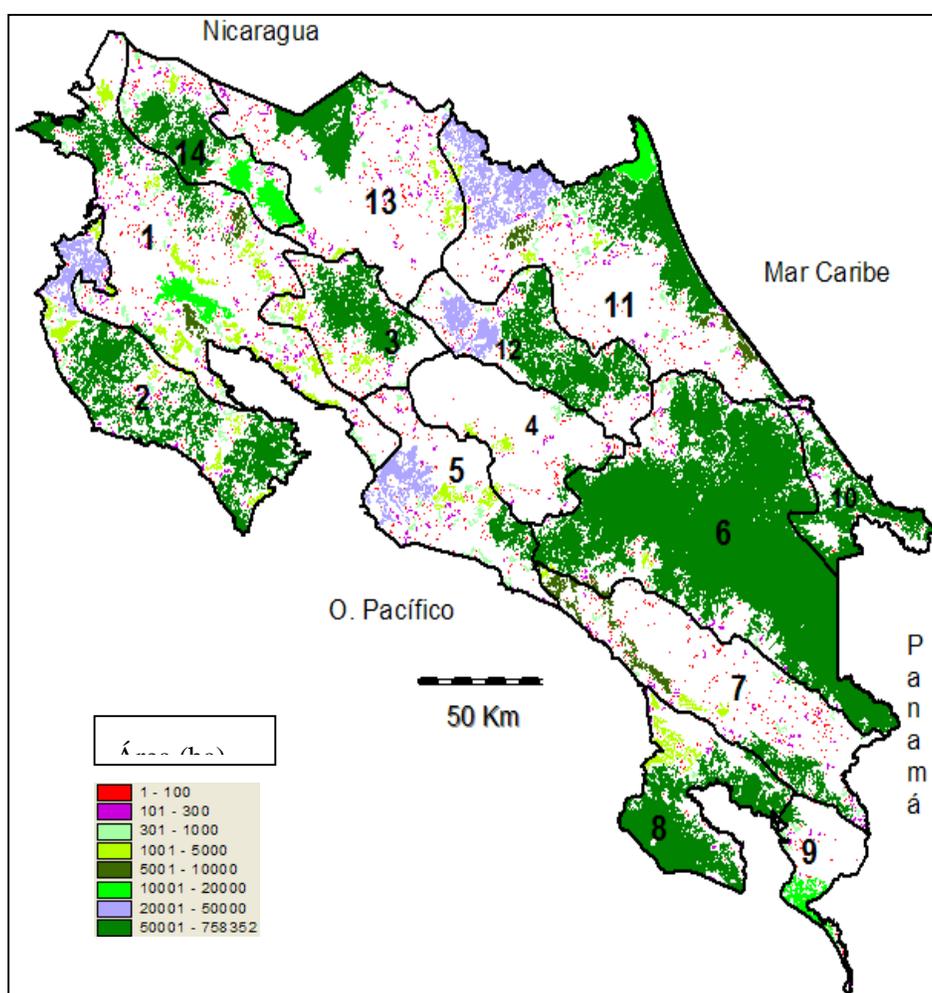


Figura 22 : Fragmentación de la cobertura natural por Ecorregión. Valores en hectáreas.

La ecorregión con la menor cobertura natural es la 4 (Valles Central-Orosi-Guarco-S. Marcos-S. Pablo) con un 6.5%, seguida por la 7 (Cord. Costeña, V. General y V. Coto Brus) con un 17.7% y por la 13

(Llanuras de Sta. Clara, Los Chiles, Upala) con un 19.2%. La principal características de estas ecorregiones es su cobertura urbana y agropecuaria. El parche medio es inferior a 70 hectáreas y la densidad media de parches es de 0.3/Km². En el otro extremo tenemos a las ecorregiones 8 (Diquís-Península de Osa-Golfito), 10 (Baja Talamanca, Valle La Estrella y Llanura Sixaola) y 6 (Talamanca) con más de 55% de cobertura natural, parches medios superiores a 500 hectáreas y una densidad media de parches 0.09/ km².

Las ecorregiones 1 (V.Tempisque-P.Sta.Elena-LLanura Esparza-Orotina) y 5 (Montes del Aguacate-Caraigres-Turrubares-Parrita) forman un continuo espacial con un gradiente de humedad y un 25% de cobertura natural conformada por un parche medio de 80 a 90 hectáreas y una densidad media de parches de 0.29Km².

Las ecorregiones 2 (Serranías de la Península de Nicoya) y 14 (Cord. Guancaste y Lomas Buenavista) poseen una cobertura natural entre 41 y 47% con un parche medio de entre 128 y 167 hectáreas y una densidad media de fragmentos de 0.29/Km².

El quinto grupo está conformado por las ecorregiones 3 (Cord. Tilarán) y 12 (Cord. Volcánica Central) con una cobertura natural entre 49 y 52%, un parche medio de 250 hectáreas y una densidad media de fragmentos de 0.20/Km².

Cuadro 14: Extensión de las ecorregiones.

Descripción	Código	Área Km ²	Área %
V. Tempisque, P. Sta. Elena y Llanura Esparza-Orotina	1	6532.8	12.78
Serranías de la Península de Nicoya	2	3810.0	7.45
Cordillera de Tilarán	3	2125.8	4.16
Valles Central, Orosi, Guarco, S. Marcos, S. Pablo y Dota	4	2708.7	5.30
Montes del Aguacate, Caraigres, Turrubares y Parrita	5	2719.4	5.32
Talamanca	6	8370.7	16.38
Cordillera Costeña, V. General y V. Coto Brus	7	4107.8	8.04
Diquís y Península de Osa-Golfito	8	2402.5	4.70
Serranías de Punta Burica y Valle Coto Colorado	9	1063.1	2.08
Baja Talamanca, Valle de La Estrella y Llanura Sixaola	10	1306.8	2.56
Caribe Central y Norte	11	6463.0	12.64
Cordillera Volcánica Central	12	2733.0	5.35
Llanuras de Sta. Clara, Los Chiles, Upala	13	4759.0	9.31
Cordillera Guancaste y Lomas Buenavista	14	2016.1	3.94
Total		51118.8	100.00

Cuadro 15: Ecorregiones: Características abióticas

Descripción	No.	Área %	Pend. Media %	Pt media (mm)	M. secos	T. media (°C)
V. Tempisque, P. Sta. Elena y Llanura Esparza-Orotina	1	12.78	11	1748	5	26.6
Serranías de la Península de Nicoya	2	7.45	23	2077	4 a 5	26.3
Cordillera de Tilarán	3	4.16	29	3285	0 a 3	22.7
Valles Central, Orosi, Guarco, S. Marcos, S. Pablo y Dota	4	5.30	24	2174	3 a 4	19.7
Montes del Aguacate, Carraigres, Turrubares y Parrita	5	5.32	26	3267	3 a 4	25.3
Talamanca	6	16.38	40	3845	0	18.2
Cordillera Costeña, V. General y V. Coto Brus	7	8.04	25	3281	0 a 3	24.1
Diquís y Península de Osa-Golfito	8	4.70	18	4673	0 a 2	26.7
Serranías de Punta Burica y Valle Coto Colorado	9	2.08	12	3503	1 a 3	26.9
Baja Talamanca, Valle de La Estrella y Llanura Sixaola	10	2.56	16	2668	0	24.9
Caribe Central y Norte	11	12.64	6	3840	0	25.6
Cordillera Volcánica Central	12	5.35	28	3917	0 a 2	19.5
Llanuras de Sta. Clara, Los Chiles, Upala	13	9.31	7	2863	2 a 3	26.7
Cordillera Guancaste y Lomas Buenavista	14	3.94	18	3149	1 a 4	24.3

Cuadro 16: Ecorregiones: Características bióticas

Descripción	No.	Bosque		Pasto		C. No. Perm		C. Perm.	
		Km ²	%						
V. Tempisque-P. Sta. Elena-LLanura Esparza-Orotina	1	2778.4	42.6	2559.9	39.2	599.3	9.2	48.1	0.7
Serranías de la Península de Nicoya	2	2805.7	73.8	712.4	18.7	69.9	1.8	187.9	4.9
Cord. Tilarán	3	1309.1	60.6	607.0	28.1	120.3	5.6	39.5	1.8
Valles Central-Oosi-Guarco-S. Marcos-S. Pablo	4	432.9	16.0	716.3	26.4	442.9	16.3	899.2	33.2
Mtes del Aguacate-Caraigres-Turrubares-Parrita	5	1167.0	42.9	1160.1	42.7	121.5	4.5	206.4	7.6
Talamanca	6	7243.4	86.5	645.4	7.7	154.7	1.8	182.7	2.2
Cord. Costeña, V. General y V. Coto Brus	7	1508.1	36.7	1822.4	44.4	151.3	3.7	562.8	13.7
Diquis-Península de Osa-Golfito	8	1703.5	71.0	323.9	13.5	110.1	4.6	128.6	5.4
Serranías de Punta Burica-Valle Coto Coloado	9	368.5	34.8	369.2	34.8	77.6	7.3	227.0	21.4
Baja Talamanca, Valle La Estrella, Llanura Sixaola	10	932.2	71.4	171.9	13.2	148.1	11.3	25.7	2.0
Caribe Central y Norte	11	3006.3	46.5	1531.8	23.7	1609.9	24.9	40.6	0.6
Cord. Volcánica Central	12	1789.4	65.5	402.1	14.7	457.1	16.7	61.4	2.2
Llanuras de Sta. Clara, Los Chiles, Upala	13	1289.2	27.3	1957.9	41.5	1027.2	21.7	0.5	0.0
Cord. Guancaste y Lomas Buenavista	14	1321.7	65.6	629.5	31.2	33.5	1.7	0.2	0.0

Cuadro 17: Agrupación de las ecorregiones por macroclimas

Ecorregión	No.	Macro clima
V. Tempisque, P. Sta. Elena y Llanura Esparza-Orotina	1	Seca, estacional y muy caliente
Serranías de la Península de Nicoya	2	
Valles Central, Orosi, Guarco, S. Marcos, S. Pablo y Dota	4	Seca, estacional y fresca
Llanuras de Sta. Clara, Los Chiles, Upala	13	Húmeda, estacional y muy caliente
Baja Talamanca, Valle de La Estrella y Llanura Sixaola	10	Húmeda, no estacional y caliente
Cordillera de Tilarán	3	Muy húmeda, semi estacional y fresca
Cordillera Volcánica Central	12	
Talamanca	6	
Montes del Aguacate, Caraiques, Turrubares y Parrita	5	Muy húmeda, estacional y caliente
Cordillera Costeña, V. General y V. Coto Brus	7	Muy húmeda, semi estacional, caliente
Cordillera Guancaste y Lomas Buenavista	14	
Serranías de Punta Burica y Valle Coto Colorado	9	Muy húmeda, semiestacional y muy caliente.
Caribe Central y Norte	11	Muy húmeda, no estacional y muy caliente.
Diquís y Península de Osa-Golfito	8	Hiperhúmeda, no estacional y muy caliente

Cuadro 18: Matriz, estado de conservación e integridad de las ecorregiones.

Ecorregión	No.	Matriz	Área Protegida (%)	Integridad	Biomás relevantes	No. Parches	Parche medio (ha)**	Densidad parches por Km ² *****
V. Tempisque-P. Sta. Elena-Llanura Esparza-Orotina	1	Bosque-Pasto	16.82	Baja	B. Seco	2100	80	0.32
Serranías de la Península de Nicoya	2	Bosque	8.41	Moderada	B. Seco	782	257	0.21
Cord. Tilarán	3	Bosque	26.81	Moderada a Buena	B. nuboso, endemismo	689	128	0.32
Valles Central-Orosi-Guarco-S. Marcos-S. Pablo	4	Cultivos	11.26	Muy baja	Endemismo	464	38	0.17
Montes del Aguacate-Caraigres-Turrubares-Parrita	5	Bosque-Pasto	5.63	Moderada a Baja	Ninguna	725	95	0.27
Talamanca	6	Bosque	54.42	Alta	B. nuboso, páramo, endemismo, alta riqueza mariposas	603	1114	0.07
Cord. Costeña, V. General y V. Coto Brus	7	Pasto-Bosque	0.55	Baja	Endemismo	1315	55	0.32
Diquis-Península de Osa-Golfito	8	Bosque	62.25	Moderada a alta	Mangle	259	563	0.11
Serranías de Punta Burica-Valle Coto Coloado	9	Bosque-Pasto	0.09	Moderada a baja	Ninguna	173	136	0.16
Baja Talamanca, Valle La Estrella, Llanura Sixaola	10	Bosque	8.29	alta a moderada	B. anegado	116	648	0.09
Caribe Central y Norte	11	Bosque-Pasto-Cultivos	29.68	Moderada a baja	B. Palmas, humedales	1227	180	0.19

Cuadro 18: Matriz, estado de conservación e integridad de las ecorregiones. Cont.

Cord. Volcánica Central	12	Bosque	53.55	Alta	B. nuboso, endemismo, alta riqueza mariposas	557	240	0.20
Llanuras de Sta. Clara, Los Chiles, Upala	13	Pasto-Bosque-cultivos	7.85	Baja	Humedales	1288	71	0.27
Cord. Guancaste y Lomas Buenavista	14	Bosque-Pasto	39.09	Moderada	B. nuboso, alta riqueza mariposas	569	167	0.28

* Remanente del área original de cobertura natural después de descontar el área equivalente a 100 metros alrededor del perímetro de cada polígono. ** Parche medio de cobertura natural (áreas núcleo). *** Densidad de parches con respecto al área total de la ecorregión.

7.2 Marco Ecorregional y Gestión del Territorio

El objetivo de la ecorregión es facilitar la integración de los datos que utilizan diferentes instituciones gubernamentales, ONGs y empresarios, de tal manera que sea útil y funcional para todas las partes interesadas. El mapa de ecorregiones debe utilizarse como un espacio geográfico común que permite describir, estudiar y entender los procesos ecosistémicos en Costa Rica y a partir de ello proponer políticas, planes locales, programas de investigación y temas que requieren coordinación entre instituciones y grupos de interés. En este sentido, el marco ecorregional debe utilizarse como una herramienta estratégica para la evaluación de políticas, proponer un sistema de monitoreo y comunicar conceptos ecológicos a una audiencia muy variada.

El uso ecorregiones o biorregiones no es nuevo en el país. En el pasado se han utilizado conceptos como Zonas de Vida, Unidades Bióticas y Macro Tipos de Vegetación como marcos de referencia espacial para describir el estado del ambiente, evaluar y describir el estado y grado de amenaza de hábitats de flora y fauna, evaluar la representatividad de las áreas silvestres protegidas, estudios del probable impacto del cambio climático y la distribución de especies raras y/o amenazadas.

Para la mayoría de los tomadores de decisiones, lo ideal sería contar con un único marco de referencia espacial para planificar acciones y tomar decisiones; sin embargo, en la práctica, esto no es posible pues otros grupos han invertido tiempo y recursos en proponer esquemas de regionalización propios que responden a sus necesidades particulares. Por esta razón, se espera que el mapa de ecorregiones y ecosistemas sea utilizado como la base ecológica para la toma de decisiones y que opere de manera integrada con otros esquemas de regionalización administrativa, jurídica o de cuencas existentes en el país.

7.3 Aplicaciones en Monitoreo

La gestión de bienes y servicios de los ecosistemas en espacios protegidos y no protegidos se sustenta en el concepto de “ecosistema” como unidad funcional y en el manejo adaptativo como herramienta de gestión. En este nuevo esquema de gestión, el ser humano puede intervenir en los procesos del ecosistema modificando uno o más elementos de su estructura-composición ó alterando los flujos de materia y/o energía. La premisa bajo la cual se aplica el manejo adaptativo es que el gestor

o administrador de los bienes y servicios tiene acceso a datos suministrados por un sistema de monitoreo de largo plazo que le permite evaluar el efecto de sus actuaciones y con base en esto proponer nuevas acciones.

De lo expuesto en la sección sobre procesos del ecosistema es evidente que no es sencillo ni fácil proponer un sistema de monitoreo nacional que brinde indicadores sobre la composición, estructura y función del ecosistema a bajo costo y en el corto plazo. Por esta razón es necesario elegir algunos indicadores factibles de medir y comprometerse a mantener el sistema operando en el largo plazo. A nivel local (e.g. área protegida, proyecto turístico, proyecto hidroeléctrico) se puede ampliar el número de criterios e indicadores a utilizar. Como punto de partida se pueden utilizar algunos de los elementos propuestos por Noss (1990) para monitorear la biodiversidad. A nivel nacional, el MINAE (2008) ha promulgado los “Estándares de Sostenibilidad” para el manejo del bosque natural, los cuales ha implementado como tres instrumentos de trabajo:

- A. Los Principios, Criterios e Indicadores, como instrumento que vela por los intereses de la sociedad y que pretende medir la integridad ecológica de los bosques manejados.
- B. El Código de Prácticas, como un instrumento que regula las actividades privadas de manejo en el bosque como actividad productiva y define el campo de acción del ingeniero forestal, del regente forestal, del dueño de bosque y del encargado del aprovechamiento.
- C. El Manual de Procedimientos, como un instrumento de la Administración Forestal del Estado (AFE) para garantizar la gobernabilidad y la seguridad jurídica del sector forestal, así como para definir el campo de acción del oficial de la AFE.

Dada la complejidad de los procesos que tienen lugar en el ecosistema, posiblemente la mejor decisión sea monitorear al menos el cambio en la cobertura natural de cada Ecorregión/Ecosistema. Como se documentó en la sección tres del presente informe, la mayoría de los procesos, bienes y servicios del ecosistema se pueden “resguardar” manteniendo y/o recuperando la cobertura vegetal natural.

En los ecosistemas antrópicos, necesarios para proveer hábitat y alimento para los seres humanos, se pueden utilizar los principios ecosistémicos y de sostenibilidad para proponer y monitorear sistemas de producción y vivienda que maximicen la biodiversidad bajo dichas condiciones.

Las ecorregiones pueden facilitar el monitoreo al ofrecer un marco espacial ecológicamente homogéneo que permite designar y asociar sitios a una jerarquía ecológica estándar, minimizando la variabilidad ambiental y aumento la posibilidad de aplicar los resultados a áreas mayores con condiciones ecológicas similares.

El Sistema Nacional de Áreas de Conservación ha adoptado el concepto de ecorregión como un marco de referencia espacial que le permite planificar sus acciones a nivel local considerando el marco ecológico regional que incide sobre la biodiversidad del país, la cual se espera que continúe proveyendo bienes y servicios a las generaciones actuales y futuras.

Entre los temas que todavía no se han sido resueltos están el impacto que tendrá el cambio climático y el transporte de contaminantes por vía aérea o acuática en los ecosistemas que se encuentran al momento protegidos. Dado que los ambientes naturales legalmente no protegidos son gestionados por los gobiernos locales, es importante que los funcionarios municipales tomen conciencia de la interrelación que existe entre los sitios protegidos y el entorno que sustenta las actividades antrópicas.

EL plan nacional de carbono neutral¹⁶ requiere de un mapeo de los sitios que funcionan como fuentes y como sumideros de carbono. Los bosques secundarios son una excelente fuente de secuestro de carbono y el evitar la tala del bosque actual es una forma de mantener el carbono almacenado en la vegetación. Este es un esfuerzo en línea con el monitoreo de uno de los bienes (biomasa) y servicios de los ecosistemas (estabilización del clima mundial) que podría utilizarse como modelo para iniciar un programa de monitoreo a nivel nacional.

Dada la expansión actual de los medios electrónicos de comunicación social, el SINAC y los gobiernos locales podrían proveer sitios en Internet que permitan a los ciudadanos participar en el sistema de monitoreo. Por ejemplo, los y las ciudadanas pueden reportar focos de contaminación, incendios, comportamientos atípicos en la fauna silvestre ó muerte de individuos, fenómenos meteorológicos poco frecuentes como granizadas, datos de lluvia y temperatura, inundaciones, sequías, inicio y fin de la estación lluviosa, días con presencia de neblina. Estos registros pueden ayudar a suplementar las variables registradas en sitios particulares designados para formar parte de la red nacional de monitoreo. Esta idea puede implementarse a través de un “Observatorio Virtual para el Enfoque Ecosistémico” (OVEE) con el fin de facilitar el intercambio de ideas, datos, publicaciones y conocimiento entre los funcionarios del SINAC, los municipios, el sector empresarial y la ciudadanía, permeando las barreras impuestas por los límites políticos o administrativos.

Al mejorar nuestros datos sobre los procesos y funcionamiento de los ecosistemas mediante el programa de monitoreo, el mapa de ecorregiones y ecosistemas puede perfeccionarse y refinarse, mejorando de esta manera nuestra base de conocimiento requerida para una gestión adaptativa de los bienes y servicios que proveen y asegurando de esta manera la biodiversidad en el largo plazo.

¹⁶ <http://www.encc.go.cr/carbono/index.html>

CAPITULO OCHO

8 Ecosistemas

El segundo nivel de la clasificación (ecosistemas) considera la distribución de comunidades vegetales fisionómicamente similares tales como bosque, páramo y humedales herbáceos; así como los principales ecosistemas culturales (i.e. urbano, pasto y cultivos). El mapa refleja la extensión y ubicación de los ecosistemas actuales y no los potenciales, aspecto esencial para determinar y evaluar posteriormente los bienes y servicios que provee cada ecosistema.

La metodología utilizada para delinear los ecosistemas parte de la premisa que las formas de vida observadas en una localidad, sus procesos vitales, capacidad de adaptación y respuesta a los impulsores de cambio están asociados a variables climático-hídricas, edáficas, orográficas y al régimen de alteración (Aitken, Roberts y Shultz, 2007; Colwell, et al. 2008; Del Grosso, et al., 2008; Kapustka, et al., 2004; Turner, Gardner y O' Neill, 2001).

La cobertura vegetal actual (incluida la cultural y seminatural) es el resultado de la interacción en espacio y tiempo de factores climáticos, geológicos, relieve, edáficos, evolutivos y en especial de las actividades antropogénicas (Deborah et al. 2001, Del Grosso et al. 2008, Gómez y Gallopín 1991, Thuiller et al. 2003). Con el objetivo de mantener el enfoque multiescala se utilizaron los mismos criterios y variables empleadas para delimitar las ecorregiones (precipitación media anual, meses secos, temperatura media anual, configuración del relieve y uso-cobertura de la tierra) (Fig. 23).

Para delinear los ecosistemas se utilizó una clasificación a priori sustentada en los lineamientos de FAO para el sistema mundial de clasificación de cobertura de la tierra (<http://www.africover.org/>), en el sistema de UNESCO adaptado a Centro América (Vreugdenhil, et al., 2002) y en la propuesta metodológica de Olson et al. (2001). Los archivos se procesaron digitalmente utilizando una resolución de 100 m (1 hectárea).

El esquema jerárquico utilizado en la clasificación fue el siguiente:

Ecosistemas naturales

Tierras bajas

 Bosques anegados (Ecositios)

 Palmas

 Mangle

 Latifoliados

 Bosques no anegados

 Tierras bajas

 Premontanos

 Montanos

 Bosque nuboso

Herbáceos/pantanosos

 Tierras bajas

Tierras altas (turberas)

Ecosistemas seminaturales

Ecosistemas culturales o antropogénicos

Tierras bajas

Pasto

Ganadería leche

Ganadería carne

Sistemas agrosilvopastoriles

Agrícola

Cultivos anuales

Arroz

Melón

Sandía

Cultivos semipermanentes

Piña

Bañano

Cultivos permanentes

Café

Palma aceite

Cacao

Urbano

Alta densidad

Baja densidad

Premontanos

Pasto

Agrícola

Urbano

Tierras altas

Pasto

Agrícola

Urbano

1. Ecosistemas de tierras bajas, secas y con fuerte estacionalidad
 - a. Bosque anegado en Tierras Muy Calientes
 - b. Humedales herbáceos
2. Ecosistemas de tierras bajas y húmedas
3. Ecosistemas de tierras bajas y muy húmedas
4. Ecosistemas de tierras premontanas y con estacionalidad marcada

5. Ecosistemas de tierras montanas
a. Ecosistemas nubosos

6. Cuadro 19: Pisos térmicos de Costa Rica.

Piso Térmico	T. media anual °C	Piso altitudinal	Área (ha)	Área (%)	Elevación (msnm)	
					Pacífico	Caribe Zona Norte
Tierras muy calientes	+24 °C	Basal			0-600	0-300
Tierras calientes	21.5 a 24 °C	Premontano			600-1000	300-750
Tierras frescas	21.5 a 18.8 °C	Montano Bajo			1000-1500	750-1300
Tierras muy frescas	18.5 a 12.6 °C	Montano			1500-2500	1300-2400
Tierras frías	12.6 a 9.1 °C	Montano Alto			2500-3100	2400-3050
Tierras muy frías	6.1 a 7.9 °C	Subalpino			3100-3300	3050-3275
Tierras heladas	7.9 a 4.9 °C	Páramo			3300-3820	3275-3820

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Fallas y Valverde (2009).

La figura 24 muestra el mapa de ecosistemas conformado por 80 unidades, de las cuales 39 son naturales (bosque, humedal no arbóreo, mangle y páramo), 37 son antrópicas o culturales (cultivos, pasto, urbano); dos corresponden a sitios sin datos de uso-cobertura y dos a cuerpos de agua (ríos, lagunas, embalse). Una descripción de sus características abióticas-bióticas así como de de los servicios, amenazas, estado y grado de alteración de cada ecosistema se muestra en el cuadro 19. Aun cuando los ecosistemas proveen múltiples servicios, los más importantes son el suministro de materias primas y alimentos (cultivos-pastos, manglares); madera y otros bienes no maderables, recreación, regulación climático-hídrica y agua de alta calidad (bosques, humedales, páramo) y mantenimiento de la biodiversidad (bosque, manglares y páramo).

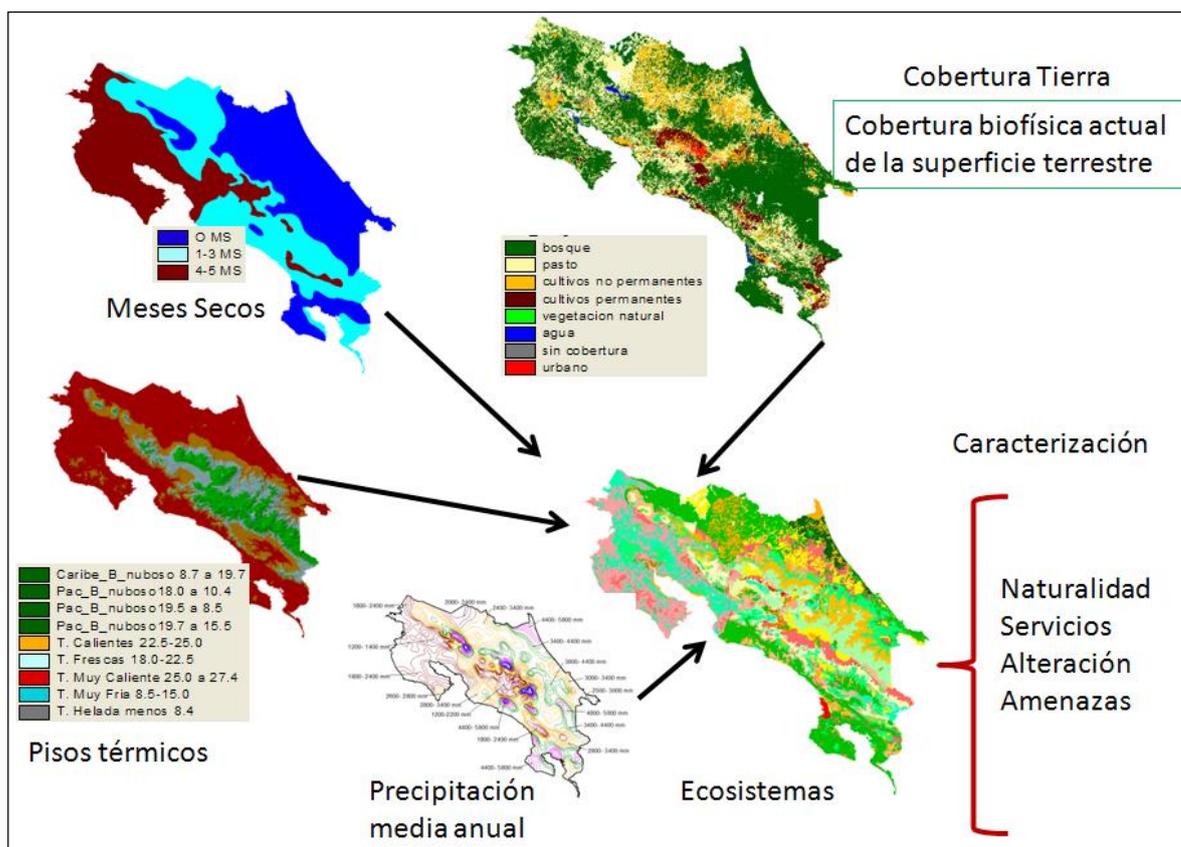


Figura 23 : Variables abióticas y bióticas utilizadas para elaborar el mapa de ecosistemas de Costa Rica.

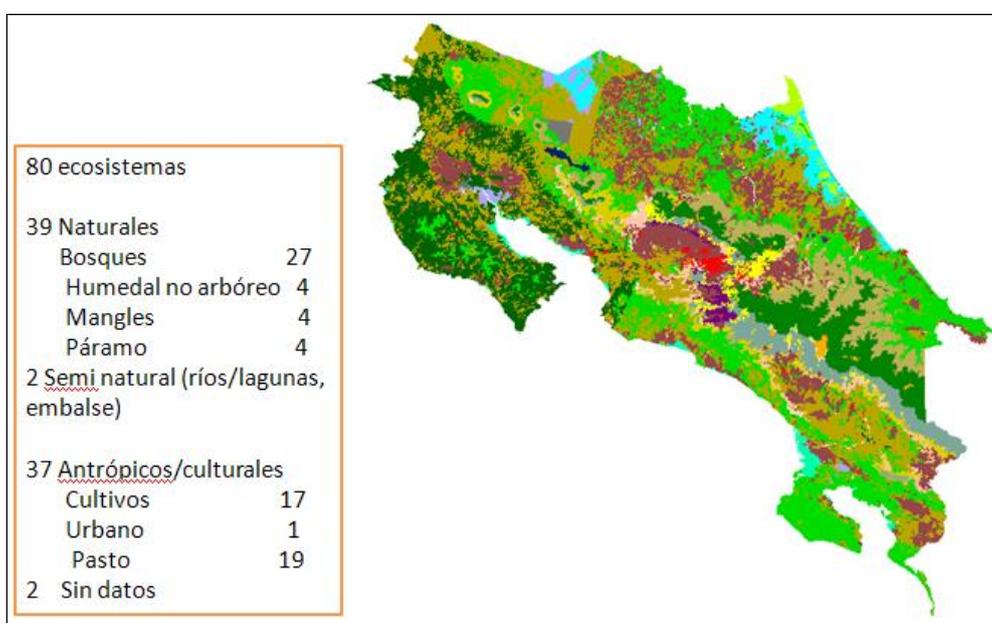


Figura 24 : Mapa de ecosistemas de Costa Rica.

Cuadro 20: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

Uso Cobertura	Ecosistema	Área (ha)	Área (%)	Pt anual (mm)	Pt anual D.E. (mm)	Meses Secos	Servicios	Amenazas	Estado	Alteración
Bosque	Bosque anegado en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 C; 0 MS	92572	1.82	4463	622	0 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	Cambio climático, tala ilegal, drenado	natural	bajo a moderado; fragmentación
Bosque	Bosque anegado en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 C; 1-3 MS	31144	0.61	2013	125	1-3 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	Cambio climático, tala ilegal, drenado	natural	bajo a moderado; fragmentación
Bosque	Bosque de palmas en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 C; 0 MS	34768	0.68	5172	717	0 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	Cambio climático, tala ilegal, drenado	natural	bajo a moderado; fragmentación
Bosque	Bosque en Tierras Calientes 22.5 a 25.0 C; 0 MS	238452	4.70	3994	876	0 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal	natural	bajo a moderado; fragmentación

Cuadro 19: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

bosque	Bosque en Tierras Calientes 22.5 a 25.0 C; 1-3 MS	144236	2.84	3433	717	1-3 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque en Tierras Calientes 22.5 a 25.0 C; 4-5 MS	80780	1.59	2255	404	4-5 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	incendios, erosión, deslizamientos	natural	alto, bosque degradado, fragmentación
bosque	Bosque en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 C; 0 MS	390728	7.69	3927	884	0 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 C; 1-3 MS	257772	5.07	3411	629	1-3 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque en Tierras Frescas 18.0 a 22.5 C; 0 MS	284960	5.61	4227	1083	0 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	erosión, deslizamientos; cambio climático, tala ilegal	natural	bajo a moderado; fragmentación

Cuadro 21: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

Uso cobertura	Ecosistema	Área (ha)	Área (%)	Pt anual (mm)	Pt anual D.E. (mm)	Meses Secos	Servicios	Amenazas	Estado	Alteración
bosque	Bosque en Tierras Frescas 18.0 a 22.5 C; 1-3 MS	133272	2.62	3451	823	1-3 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque en Tierras Frescas 18.0 a 22.5 C; 4-5 MS	8856	0.17	2464	305	4-5 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal, incendios	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque en Tierras Frías 8.5 a 15.0 C; 0 MS	1528	0.030	3492	432	0 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	erosión, deslizamientos; cambio climático, tala ilegal	natural	bajo a moderado; fragmentación

Cuadro 22: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración

Uso cobertura	Ecosistema	Área (ha)	Área (%)	Pt anual (mm)	Pt anual D.E. (mm)	Meses Secos	Servicios	Amenazas	Estado	Alteración
bosque	Bosque en Tierras Frías 8.5 a 15.0 C; 1- 3 MS	3376	0.07	3081	715	1-3 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal, incendios	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque en Tierras Muy Frias menos 8.4 C; 1-3 MS	320	0.006	2048	170	1-3 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	erosión, deslizamientos	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque nuboso del Caribe en Tierras Frescas y Frías 8.7 a 19.7 C; 0 MS	240816	4.74	4371	1300	0 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque nuboso del Caribe en Tierras Frescas y Frías 8.7 a 19.7 C; 1-3 MS	86556	1.703	3404	1091	1-3 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	erosión, deslizamientos, cambio climático	natural	bajo a moderado; fragmentación

Cuadro 23: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

bosque	Bosque nuboso del Caribe en Tierras Frescas y Frías 8.7 a 19.7 C; 4-5 MS	5404	0.11	2204	351	4-5 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal, incendios	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque nuboso del Pacífico en Tierras Frescas 10.4 a 18.0 C; 0 MS	22748	0.45	4112	719	0 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque nuboso del Pacífico en Tierras Frescas 10.4 a 18.0 C; 1-3 MS	103752	2.04	3209	686	1-3 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	erosión, deslizamientos, cambio climático	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque nuboso del Pacífico en Tierras Frescas 10.4 a 18.0 C; 4-5 MS	10900	0.21	2267	313	4-5 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal, incendios	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque nuboso del Pacífico en Tierras Frescas 15.5 a 19.7 C; 0 MS	340	0.007	4228	88	0 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal	natural	bajo a moderado; fragmentación

Cuadro 24: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

Uso cobertura	Ecosistema	Área (ha)	Área (%)	Pt anual (mm)	Pt anual D.E. (mm)	Meses Secos	Servicios	Amenazas	Estado	Alteración
bosque	Bosque nuboso del Pacífico en Tierras Frescas 15.5 a 19.7 C; 1-3 MS	8136	0.160	2928	423	1-3 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	erosión, deslizamientos, cambio climático	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque nuboso del Pacífico en Tierras Frescas 15.5 a 19.7 C; 4-5 MS	284	0.006	2113	60	4-5 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal, incendios	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque nuboso del Pacífico en Tierras Frescas y Frías 8.5 a 19.5 C; 0 MS	6916	0.136	3772	494	0 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque nuboso del Pacífico en Tierras Frescas y Frías 8.5 a 19.5 C; 1-3 MS	33396	0.657	3619	671	1-3 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	erosión, deslizamientos, cambio climático	natural	bajo a moderado; fragmentación

Cuadro 25: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

Uso cobertura	Ecosistema	Área (ha)	Área (%)	Pt anual (mm)	Pt anual D.E. (mm)	Meses Secos	Servicios	Amenazas	Estado	Alteración
bosque	Bosque nuboso del Pacífico en Tierras Frescas y Frías 8.5 a 19.5 C; 4-5 MS	1848	0.036	2212	243	4-5 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	cambio climático, tala ilegal, incendios	natural	bajo a moderado; fragmentación
bosque	Bosque Seco en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 C; 4-5 MS	569760	11.200	2118	501	4-5 MS	Regulación clima-crecidas, recreación, madera; diversidad biológica, educación; agua alta calidad	incendios, erosión, deslizamientos	natural	alto, bosque degradado, fragmentación
cultivos no permanentes	Cult. no permanente en ambiente nuboso del Caribe 8.7 a 19.7 C; 0 MS	4044	0.080	3416	819	0 MS	alimentos, fibra	erosión, exceso agua	antrópico	transformación total
cultivos no permanentes	Cult. no permanente en ambiente nuboso del Caribe 8.7 a 19.7 C; 1-3 MS	2296	0.045	2314	694	1-3 MS	alimentos, fibra	sequía, erosión	antrópico	transformación total
cultivos no permanentes	Cult. no permanente en ambiente nuboso del Caribe 8.7 a 19.7 C; 4-5 MS	3592	0.071	1609	232	4-5 MS	alimentos, fibra	sequía, erosión	antrópico	transformación total

Cuadro 26: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

Uso cobertura	Ecosistema	Área (ha)	Área (%)	Pt anual (mm)	Pt anual D.E. (mm)	Meses Secos	Servicios	Amenazas	Estado	Alteración
cultivos no permanentes	Cult. no permanente en ambiente nuboso del Pacífico 10.4 a 18.0 C; 0-3 MS	444	0.009	4685	443	0 MS	alimentos, fibra	erosión, exceso agua	antrópico	transformación total
cultivos no permanentes	Cult. no permanente en ambiente nuboso del Pacífico 8.5 a 19.5 C; 4-5 MS	3200	0.063	2122	213	4-5 MS	alimentos, fibra	sequía, erosión	antrópico	transformación total
cultivos no permanentes	Cult. no permanente en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 C; 0 MS	616924	12.130	3141	899	4-5 MS	alimentos, fibra	sequía, erosión	antrópico	transformación total
cultivos no permanentes	Cult. permanente en ambiente nuboso del Pacífico 10.4 a 18.0 C; 4-5 MS	4104	0.081	2072	183	4-5 MS	alimentos, fibra	incendios, erosión, deslizamientos	antrópico	transformación total
cultivos no permanentes	Cult. no permanentes en clima nuboso del Pacífico 8.5 a 19.5 C; 1-3 MS	1416	0.028	2974	288	1-3 MS	alimentos, fibra	erosión, deslizamientos	antrópico	transformación total

Cuadro 27: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

Uso cobertura	Ecosistema	Área (ha)	Área (%)	Pt anual (mm)	Pt anual D.E. (mm)	Meses Secos	Servicios	Amenazas	Estado	Alteración
cultivos no permanentes	Cult. no permanentes en ambiente nuboso del Pacífico 10.4 a 18.0 C; 1-3 MS	3816	0.075	3256	552	1-3 MS	alimentos, fibra	sequía, erosión	antrópico	transformación total
cultivos permanentes	Cult. no permanente en Tierras Frescas 18.0 y 22.5 C; 4-5 MS	39764	0.782	2264	574	4-5 MS	alimentos, fibra	sequía, erosión	antrópico	transformación total
cultivos permanentes	Cult. no permanente en Tierras Frescas 18.0 y 22.5 C; 1-3 MS	56120	1.104	3215	896	1-3 MS	alimentos, fibra	sequía, erosión	antrópico	transformación total
cultivos permanentes	Cult. permanente en ambiente nuboso del Caribe 8.7 a 19.7 C; 1-3 MS	224	0.004	2403	463	1-3 MS	alimentos, fibra	erosión, deslizamientos	antrópico	transformación total
cultivos permanentes	Cult. permanente en ambiente nuboso del Pacífico 10.4 a 18.0 C; 1-3 MS	2824	0.056	2271	269	1-3 MS	alimentos, fibra	erosión, deslizamientos	antrópico	transformación total
cultivos permanentes	Cult. no permanente en Tierras Frescas 18.0 y 22.5 C; 0 MS	10480	0.206	3590	876	0 MS	alimentos, fibra	erosión, exceso agua	antrópico	transformación total

Cuadro 28: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

Uso cobertura	Ecosistema	Área (ha)	Área (%)	Pt anual (mm)	Pt anual D.E. (mm)	Meses Secos	Servicios	Amenazas	Estado	Alteración
cultivos permanentes	Cult. permanente en ambiente nuboso del Pacífico 15.5 a 19.7 C; 4-5 MS	508	0.010	2181	74	4-5 MS	alimentos, fibra	sequía, erosión	antrópico	transformación total
cultivos permanentes	Cult. permanente en ambiente nuboso del Pacífico 8.7 a 19.7 C; 1-3 MS	13188	0.259	2570	536	1-3 MS	alimentos, fibra	erosión, deslizamientos	antrópico	transformación total
cultivos permanentes	Cult. permanente en ambiente nuboso del Pacífico; 8.7 a 19.7 C; 4-5 MS	9644	0.190	2093	265	4-5 MS	alimentos, fibra	sequía, erosión	antrópico	transformación total
urbano	EcoUrbano sistema	29844	0.587	2363	797	4-5 MS	hábitat seres humanos	contaminación, deslizamientos, inundaciones	antrópico	transformación total
agua	Embalse en Tierras Calientes 22.5-25.0	9012	0.177	2656	560	1-3 MS	energía hidroeléctrica, turismo, riego	sedimentación, terremotos, erupción volcánica, sequía	antrópico	transformación total

Cuadro 29: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

Uso cobertura	Ecosistema	Área (ha)	Área (%)	Pt anual (mm)	Pt anual D.E. (mm)	Meses Secos	Servicios	Amenazas	Estado	Alteración
humedal no arbóreo	Humedales en Tierras Calientes 22.5 a 25.0 C; 0 MS	204	0.004	4126	249	0 MS	regulación hídrica; biodiversidad	drenado, sedimentos	Semi-natural	bajo a moderado; drenado
humedal no arbóreo	Humedales en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 C; 0 MS	11696	0.230	4270	510	0 MS	regulación hídrica; biodiversidad	drenado, sedimentos	Semi-natural	bajo a moderado; drenado
humedal no arbóreo	Humedales en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 C; 1-3 MS	29592	0.582	2436	488	1-3 MS	regulación hídrica; biodiversidad	incendios, sequía	Semi-natural	alto, pastoreo, incendios
humedal no arbóreo	Humedales en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 C; 4-5 MS	14172	0.279	1916	120	4-5 MS	regulación hídrica; biodiversidad	incendios, sequía	Semi-natural	alto, pastoreo, incendios
mangle	Mangle en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 ; 0 MS	12284	0.242	4874	416	0 MS	proteína, protección costas, regulación hidrológica, biodiversidad	cambio climático, tala ilegal	natural	moderado, tala, drenado
mangle	Mangle en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 ; 1-3 MS	3484	0.069	4477	270	1-3 MS	proteína, protección costas, regulación hidrológica, biodiversidad	cambio climático, tala ilegal	natural	moderado, tala, drenado

Cuadro 30: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

Uso cobertura	Ecosistema	Área (ha)	Área (%)	Pt anual (mm)	Pt anual D.E. (mm)	Meses Secos	Servicios	Amenazas	Estado	Alteración
mangle	Mangle en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 C; 1-3 MS	8380	0.165	3640	365	1-3 MS	proteína, protección costas, regulación hidrológica, biodiversidad	cambio climático, tala ilegal	natural	moderado, tala, drenado
mangle	Mangle en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 C; 4-5 MS	15848	0.312	1738	177	4-5 MS	proteína, protección costas, regulación hidrológica, biodiversidad	cambio climático, tala ilegal	natural	moderado, tala, drenado
páramo	Páramo en Tierras Frías con temperaturas entre 8.5 y 15.0 C; 1-3 MS	3756	0.074	3223	528	1-3 MS	regulación hídrica; biodiversidad	incendios, sequía, cambio climático	natural	Bajo moderado; incendios a
páramo	Páramo en Tierras Heladas con temperaturas inferiores a 8.4 C; 0 MS	2688	0.053	3553	460	0 MS	regulación hídrica; biodiversidad	incendios, sequía, cambio climático	natural	Bajo moderado; incendios a
páramo	Páramo en Tierras Heladas con temperaturas inferiores a 8.4 C; 1-3 MS	3088	0.061	3197	434	1-3 MS	regulación hídrica; biodiversidad	incendios, sequía, cambio climático	natural	Bajo moderado; incendios a
pasto	Pasto en ambiente nuboso del Caribe 8.7 a 19.7 C; 0 MS	7964	0.157	3491	355	0 MS	proteína animal, madera-fibra	compactación, erosión	antrópico	transformación total

Cuadro 31: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

Uso cobertura	Ecosistema	Área (ha)	Área (%)	Pt anual (mm)	Pt anual D.E. (mm)	Meses Secos	Servicios	Amenazas	Estado	Alteración
pasto	Pasto en ambiente nuboso del Caribe 8.7 a 19.7 C; 1-3 MS	11576	0.228	2150	535	1-3 MS	proteína animal, madera-fibra	sequía, incendios, erosión	antrópico	transformación total
pasto	Pasto en ambiente nuboso del Caribe; 8.7 a 19.7 C; 4-5 MS	12008	0.236	1644	263	4-5 MS	proteína animal, madera-fibra	sequía, incendios, erosión	antrópico	transformación total
pasto	Pasto en ambiente nuboso del Pacífico 10.4 a 18.0 C; 1-3 MS	13144	0.259	2540	625	1-3 MS	proteína animal, madera-fibra	erosión, deslizamientos	antrópico	transformación total
pasto	Pasto en ambiente nuboso del Pacífico 10.4 a 18.0 C; 4-5 MS	6208	0.122	2204	298	4-5 MS	proteína animal, madera-fibra	sequía, incendios; erosión, deslizamientos	antrópico	transformación total
pasto	Pasto en ambiente nuboso del Pacífico 8.5 a 19.5 C; 1-3 MS	7268	0.143	3002	660	1-3 MS	proteína animal, madera-fibra	erosión, deslizamientos	antrópico	transformación total
pasto	Pasto en ambiente nuboso del Pacífico 8.5 a 19.5 C; 4-5 MS	3132	0.062	2117	249	4-5 MS	proteína animal, madera-fibra	sequía, incendios, erosión	antrópico	transformación total

Cuadro 32: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

Uso cobertura	Ecosistema	Área (ha)	Área (%)	Pt anual (mm)	Pt anual D.E. (mm)	Meses Secos	Servicios	Amenazas	Estado	Alteración
pasto	Pasto en Tierras Calientes 22.5 a 25.0 C; 0 MS	60924	1.198	4170	773	0 MS	proteína animal, madera-fibra	compactación, erosión	antrópico	transformación total
pasto	Pasto en Tierras Calientes 22.5 a 25.0 C; 1-3 MS	150736	2.965	3089	639	1-3 MS	proteína animal, madera-fibra	compactación, erosión	antrópico	transformación total
pasto	Pasto en Tierras Calientes 22.5 a 25.0; 4-5 MS	68204	1.342	2240	517	4-5 MS	proteína animal, madera-fibra	incendios, sequía	antrópico	transformación total
pasto	Pasto en Tierras Muy Calientes 25.0 a 27.4 C; 1-3 MS	346148	6.809	3220	583	1-3 MS	proteína animal, madera-fibra	incendios, sequía	antrópico	transformación total
pasto	Pastos en Tierras Frescas 18.0 a 22.5 C; 1-3 MS	61236	1.204	3057	708	1-3 MS	proteína animal, madera-fibra	incendios, sequía	antrópico	transformación total

Cuadro 33: Ecosistemas: servicios, amenazas, estado y grado de alteración.

Uso cobertura	Ecosistema	Área (ha)	Área (%)	Pt anual (mm)	Pt anual D.E. (mm)	Meses Secos	Servicios	Amenazas	Estado	Alteración
pasto	Pastos en Tierras Frescas 18.0 a 22.5 C; 4-5 MS	22400	0.441	2275	370	4-5 MS	proteína animal, madera-fibra	incendios, sequía	antrópico	transformación total
ríos/lagunas	Ríos/lagunas	9012	0.177	3430	790	0 MS	agua dulce; biodiversidad acuática	erosión, deslizamientos	Semi-natural	variable
Sin datos	Tierras Calientes 22.5 a 25.0 C; sin datos	4200	0.083	4705	845	1-3 MS	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos
Sin datos	Tierras Muy Caliente 25.0 a 27.4 C; sin datos	10008	0.197	4451	725	0 MS	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos

8.1 Descripción de los ecosistemas

8.2 Naturalidad, grado de alteración y vulnerabilidad de los ecosistemas

La figura 25 muestra la naturalidad de los ecosistemas y la figura 26 su grado de alteración. El primero considera tres categorías: áreas naturales, caracterizadas por un grado mínimo de alteración, áreas seminaturales y áreas totalmente transformadas por la acción del ser humano. Al año 2005, el 44.4% de los ecosistemas originales habían sido transformados en ecosistemas culturales (pastos, cultivos, urbano, embalses). Los ecosistemas naturales mejor conservados se encuentran en la sección superior de las cordilleras de Guanacaste, Central, Tilarán y Talamanca; así como en la península de Osa y el extremo NE del Caribe (Tortuguero-Pta. Castilla). Otros relictos se encuentran en la Cordillera Costeña, Cerros de Turubares, Carara, Golfito, península Burica y en el área propuesta para el parque nacional Maquenque (Zona Norte). La mayor parte de dichas áreas poseen fuerte pendiente, abundante lluvia o se encuentran en zonas anegadas y/o forman parte de áreas silvestres protegidas.

Para el 2005 la cobertura natural de Costa Rica (bosque, humedales, paramo, mangle) era de 28 419.32 Km² (55.6%) por lo que la matriz del país es “natural”; sin embargo su distribución espacial es muy heterogénea y fragmentada. De los 10 668 parches núcleo contabilizados (ver recuadro 4), el 50% tiene menos que 3 hectáreas, el 75% menos de 10 hectáreas y solo el 5% tiene un área superior a 109 hectáreas. Estos datos indican que las tasas de los procesos ecológicos originales han sido fuertemente modificadas en la mayor parte del territorio nacional y por ende también se ha reducido del capital natural del país.

A partir de 1985 la península de Nicoya ha experimentado una recuperación de sus bosques, sin embargo los mismos poseen una complejidad estructural y florística menor que las masas originales y por lo tanto sus servicios ecosistémicos actuales son inferiores a los que proveía el ecosistema original.

Los páramos por sus condiciones inhóspitas también se han mantenido relativamente poco alterados; aunque algunos han sido afectados por incendios en los últimos 100 años. Otro ecosistema relativamente bien conservado es el bosque nuboso, el cual representa un 10.2 % del territorio nacional (5208.85 km²); sin embargo solo el 77.7% se encuentra actualmente protegido (4046.40 Km²).

Entre las principales amenazas que afrontan los ecosistemas y por ende los servicios que ofrecen están (Fig. 27): tala ilegal, drenado (humedales), cambio climático (sequías-inundaciones-incendios), erosión, deslizamientos y fragmentación. Algunos ecosistemas como el bosque nuboso y su biodiversidad son especialmente sensibles a cambios en temperatura, precipitación y humedad. Las especies con movilidad y gran plasticidad ecológica (generalistas) podrían adaptarse a dichos cambios, sin embargo otras con requerimientos muy particulares (especialistas) podrían desaparecer ó reducirse sus poblaciones (Buckley and Jetz, 2007; Colwell, et al., 2008; Pounds, Fogden and Campbell, 1999). De todas las amenazas citas este es quizás la más grave, ya que no es posible aplicar medidas para reducir su impacto y además la magnitud del mismo poco depende de las actividades de manejo local de dichos ecosistemas.

El 10% (508 899 ha) de los ecosistemas (bosque, paramo, pasto y cultivos) se encuentran en terrenos con una pendiente superior a 50%; lo cual los ubica en una condición de alta vulnerabilidad a la erosión y a los deslizamientos superficiales. De esta área, los ecosistemas forestales representan el 47.8% y solo el 53% se encuentra actualmente protegido (242844.39 ha) (Cuadro 20).

Cuadro 20: Ecosistemas boscosos con pendiente superior a 50% y abajo alguna categoría de protección.

Área Silvestre Protegida	Área (Ha)	Área (%)
Parque Nacional	153042.57	63.02
Reserva Forestal	53053.65	21.85
Zona Protectora	29498.94	12.15
Reserva Biológica	3569.94	1.47
Refugio Nacional de Vida Silvestre	3509.91	1.45
Reserva Natural Absoluta	125.01	0.05
Fincas del Estado	24.48	0.01
Monumento Nacional	19.89	0.01
Total	242844.39	100

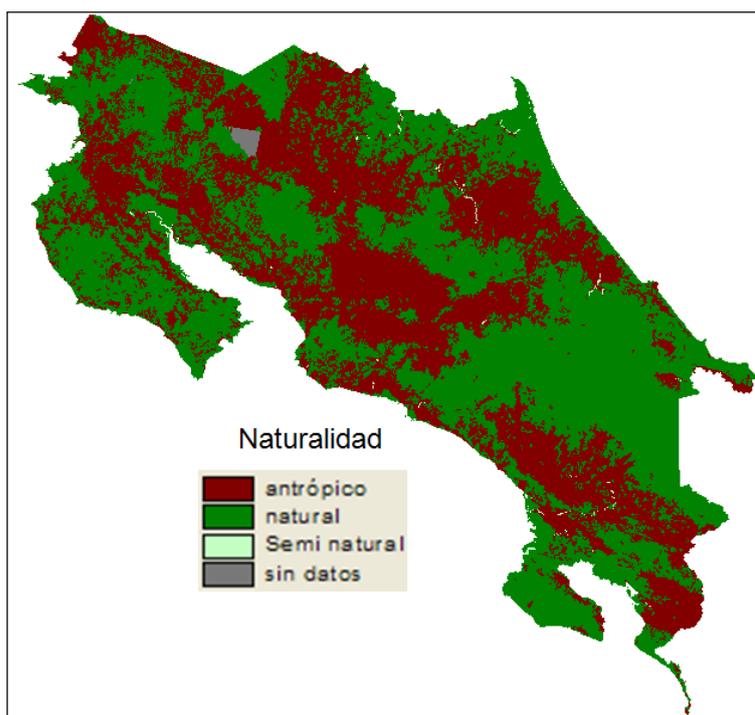


Figura 25 : Naturalidad de los ecosistemas de Costa Rica.

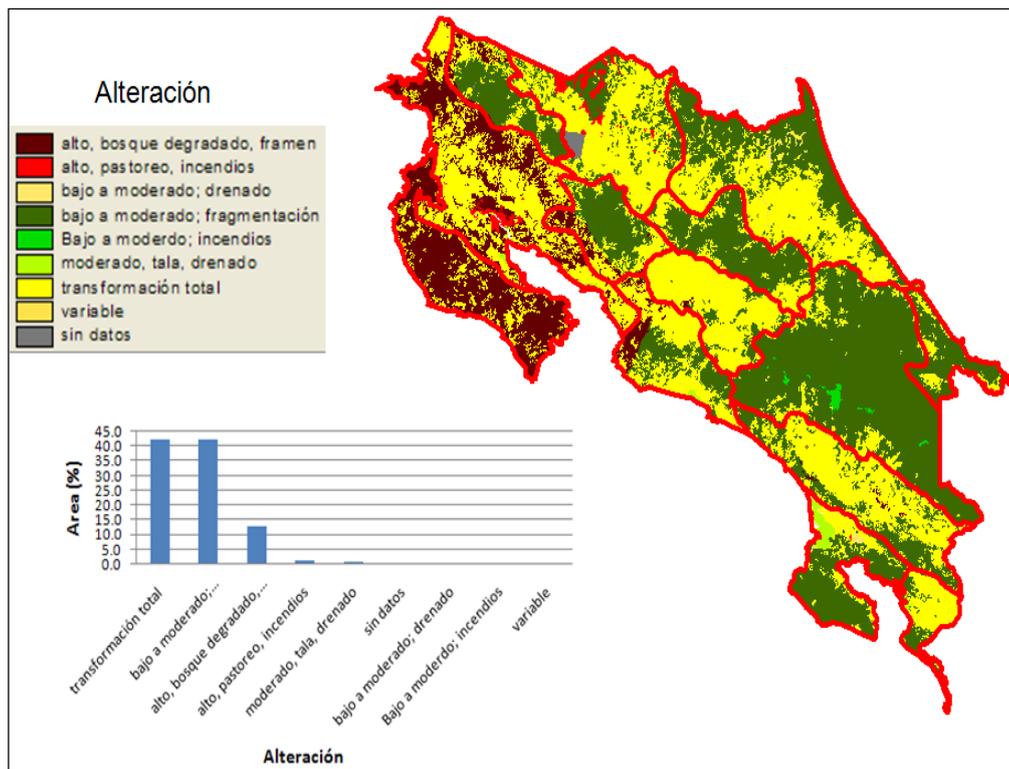


Figura 26 : Grado de alteración de los ecosistemas de Costa Rica. Las líneas rojas muestran el límite de las ecorregiones.

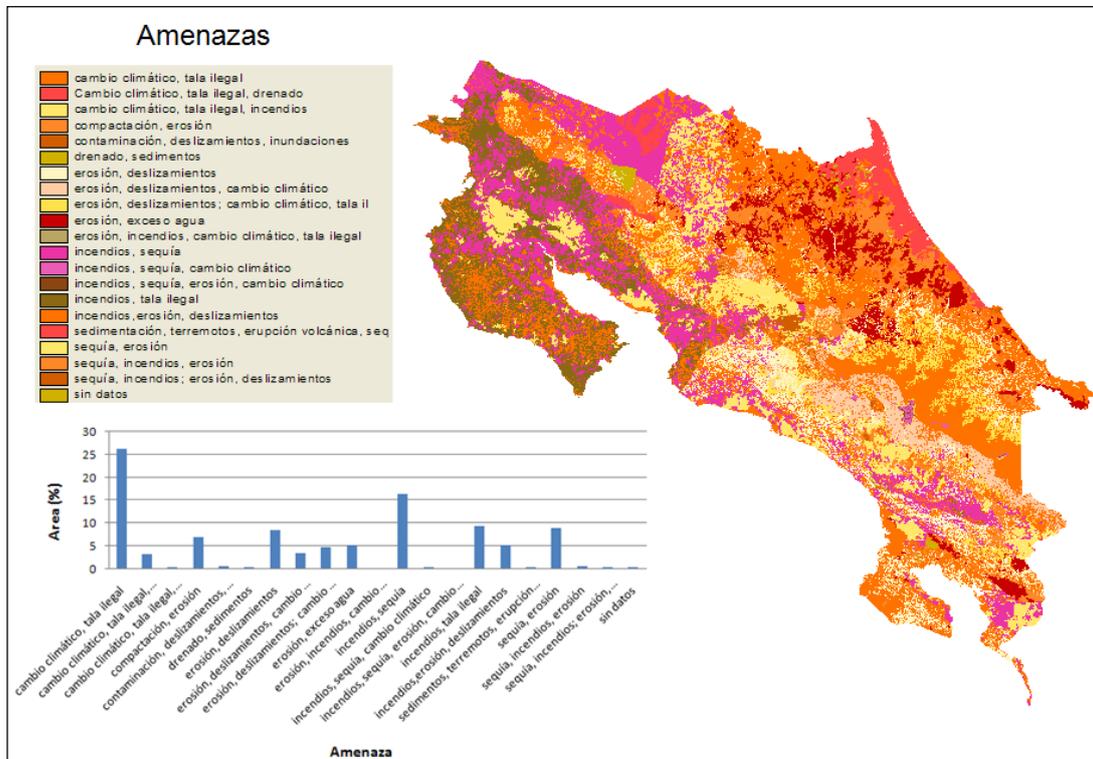


Figura 27 : Amenazas a los ecosistemas de Costa Rica.

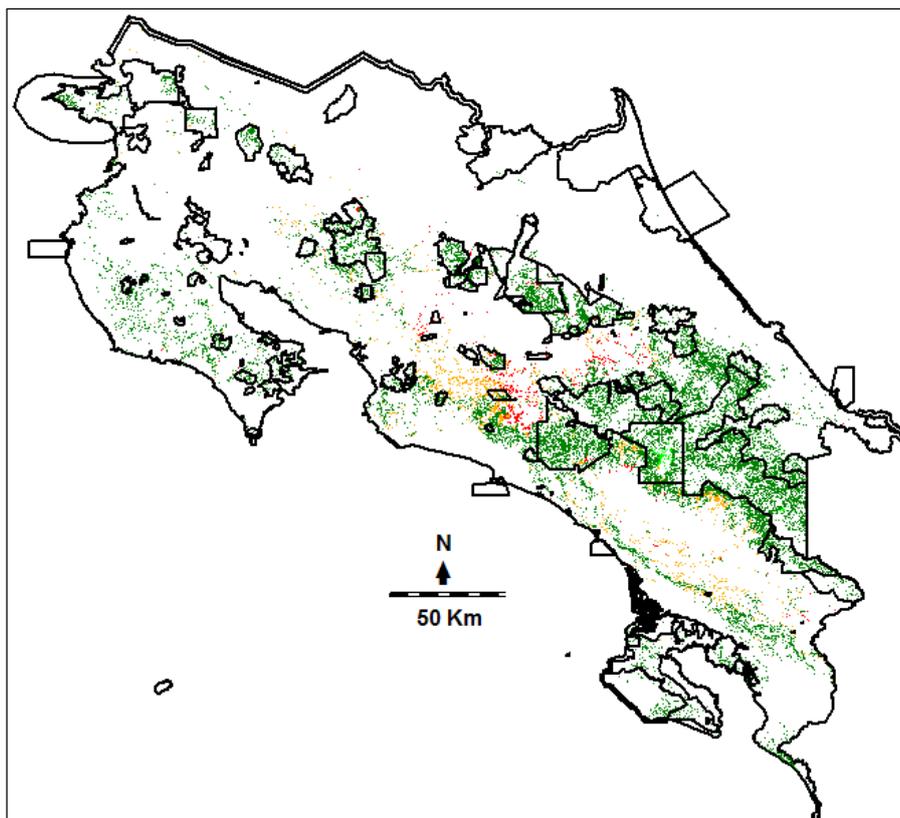


Figura 28 : Ecosistemas vulnerables a erosión-deslizamientos por exceso de pendiente. Líneas indican límite de áreas protegidas.

8.3 Ecosistemas y Riqueza de Especies

Costa Rica es uno de los 20 países del mundo con mayor riqueza de especies. Se estima que el país contiene el 3.6% de la biodiversidad mundial, lo que representa entre 13 y 14 millones de especies. Por otro lado, se han descrito en Costa Rica 90.000 especies, lo que representa el 4.5% de todas las especies conocidas a nivel mundial. Los microorganismos (bacterias y algunas micro algas), los hongos y líquenes e invertebrados (Ej. insectos) son los grupos más diversos en tanto que las plantas y los vertebrados son los menos diversos y a la vez los mejores conocidos. Al 2007, se había descrito el 79% y el 95% respectivamente, de los vertebrados y plantas de Costa Rica (Obando, 2007).

Si consideramos los datos de la figura 4 como un índice representativo de la distribución altitudinal esperada de la riqueza en especies del territorio costarricense; entonces es de esperarse que la mayor riqueza se encuentre en dos franjas que van desde el nivel del mar hasta 17.7 °C en el Caribe y desde el nivel del mar hasta 18.4 °C en la vertiente Pacífica. Dichas zonas representan el 89.3% del territorio costarricense (45655.68 Km²). Por otro lado, si asumimos que dicha riqueza está asociada a cobertura natural (bosque) entonces se esperaría que el Caribe-Zona Norte alberguen el 79% de las áreas con mayor riqueza (11533.03Km²) y que el Pacífico albergue el 89% (12290.36 Km²). De estas áreas, solo el 47.9% (11405.21 Km²) se encuentra actualmente bajo alguna categoría de protección (Fig. 29).

Las zonas de alta riqueza no protegidas se concentran en la vertiente Pacífica en la Cordillera de Guanacaste en la cuenca media-superior de los ríos Pizote, Pénjamo y

Cucaracho. En la península de Nicoya (en su mayoría bosques secundarios y/o degradados) y en una franja que incluye los cerros de Turrubares, Altos del Aguacate, Fila Rancho Zarco, Cerro el Chiquero, Fila Zoncuaco, Fila Aguabunea, Fila Chonta, y la cordillera Costeña hasta la frontera con Panamá. Otro bloque de bosque se encuentra en punta Burica. En la vertiente Caribe sur, la mayor parte del bosque de alta biodiversidad y sin protección se encuentra en las estribaciones de la cordillera de Talamanca y en el área costera. En la Zona Norte las zonas más importantes corresponden a humedales.

En cuanto a la ictiofauna, los cuerpos de agua dulce ubicados entre 0 y 900 msnm (21.1°C en el Caribe y 22.1 °C en el Pacífico) presentan también la mayor riqueza de especies (Bussing, 1993; 1998). El río Sarapiquí drena una de las zonas de mayor biodiversidad y es el hogar de casi un tercio de las 135 especies de peces de agua dulce de Costa Rica (Bussing, op. cit.).

En cuanto a las zonas de menor biodiversidad, el 98.5% corresponde a bosque nuboso; el cual se considera como rico en especies endémicas de helechos, epífitas y especialmente orquídeas. El 81.7% del bosque nuboso se encuentra actualmente protegido.

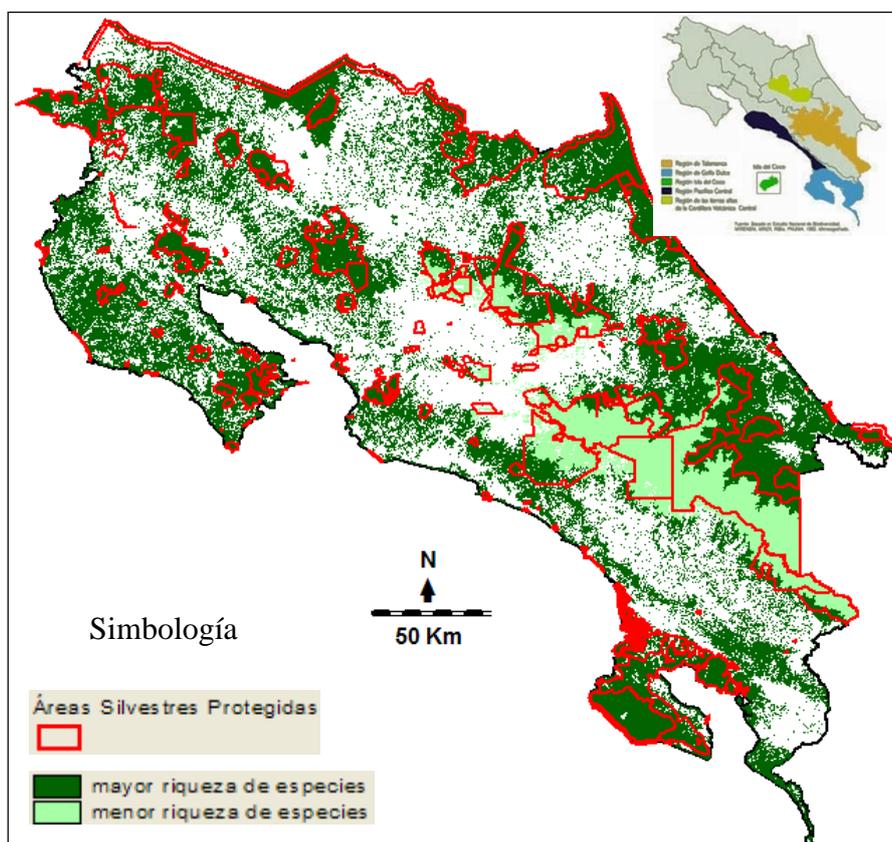


Figura 29: Distribución de ecosistemas boscosos según la riqueza esperada de especies. El recuadro superior derecho muestra las áreas de alto endemismo. Fuente: Datos propios y publicaciones de INBio.

Aun cuando Costa Rica es considerado como un país megadiverso, sus especies endémicas terrestres representan solo el 1.3%. Las zonas de mayor endemismo se encuentran en Talamanca, las tierras altas de la cordillera Volcánica Central, la región de Golfo Dulce y el Pacífico Central (Fig. 25). Los grupos taxonómico animales con mayor endemismo son los anfibios (25%), seguidos por los peces de agua dulce (14%), los reptiles

(9.7%) y los mamíferos (7.5%). En cuanto a las plantas, de las 11020 especies descritas, el 10% se considera endémico (Obando, 2007).

En conclusión, aun cuando no es posible estimar con exactitud el número de especies esperadas para los ecosistemas forestales actuales, sí es posible afirmar que del bosque remanente de alta biodiversidad el 47.9% se encuentra protegido y que de los bosques de altura con menor diversidad (sobre los 1400-1700mns) el 81.7 % se encuentra protegido. Desde la perspectiva de los servicios de los ecosistemas, los datos indican que el país ha tomado las decisiones correctas en cuanto a decretar áreas protegidas; sin embargo pareciera que no es suficiente para mantener dichos servicios a menos que la cobertura forestal actual se mantenga en dichas áreas a largo plazo. Como puede apreciarse en la figuras 4 y 25 el capital natural de biodiversidad del país está repartida tanto en las tierras bajas y como en las altas y por lo tanto se deben buscar mecanismos sustentados en el pago de los servicios que ofrecen los ecosistemas para asegurar su perpetuidad en el tiempo.

8.4 Ecosistemas y riqueza hídrica

CAPIUTLO NUEVE

9 Datos, información y la gestión ecosistémica en Costa Rica

Es de todos reconocido que la gestión de los servicios ecosistémicos y del capital natural del país debe sustentarse en conocimiento actualizado y confiable. El recuadro tres ilustra la relación entre la distribución esperada y los registros observados en Costa Rica de la rana arlequín (*Atelopus varius*) y su relación con el mapa de ecosistemas elaborado en el presente informe. Este recuadro tiene como objetivo ilustrar una de las mayores dificultades encontradas en el mapeo de biodiversidad y su relación con variables ecológicas así como socioeconómicas en el presente estudio. Costa Rica es posiblemente uno de los países tropicales con mayor investigación y publicaciones en aspectos de conservación y biodiversidad; sin embargo no existen bases de datos nacionales actualizadas que le permitan a los tomadores de decisiones convertir rápidamente **datos** en **información**.

La rana arlequín es una especie catalogada como amenazada de extinción en Costa Rica y por lo tanto es un organismo sensible para la conservación y para el desarrollo de proyectos que potencialmente modifiquen su hábitat. Sin embargo, los datos públicos disponibles para alimentar el proceso de negociación y toma de decisiones no son consistentes.

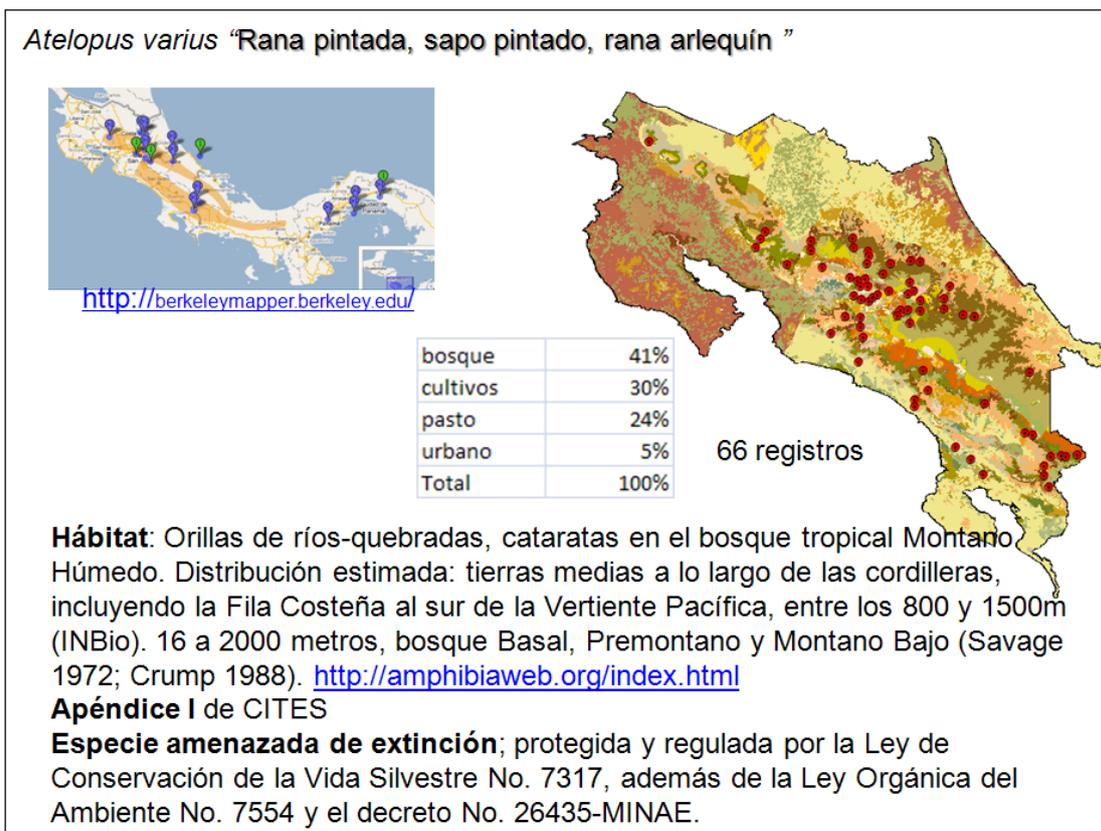
Por ejemplo, la base de datos pública de INBio indica que la especie podría encontrarse entre 800 y 15000 msnm en las regiones montañosas del país. Por otro lado, la base de datos de “amphibiaweb” (<http://amphibiaweb.org/index.html>) indica que la especie se distribuye entre 16 y 2000 msnm.

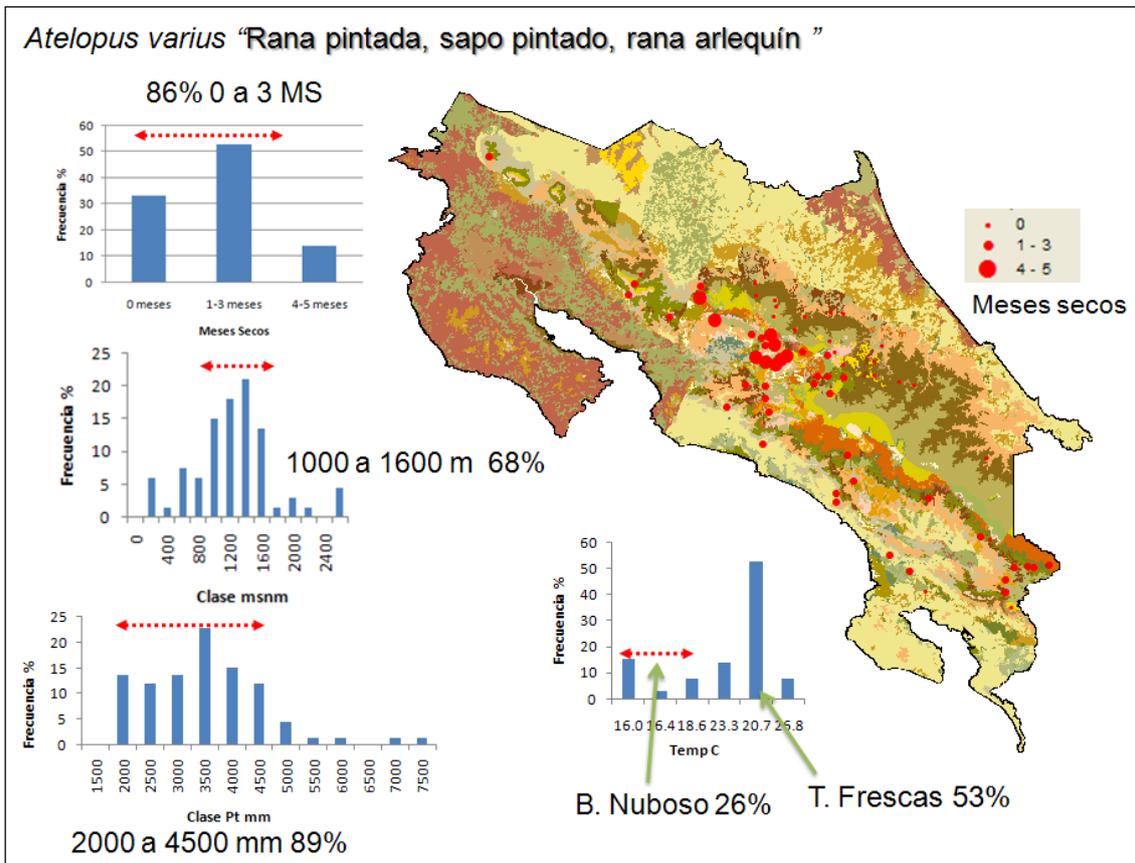
La ubicación de 66 registros en el país obtenida de INBio indica que el 68% de los registros se encuentran entre 1000 y 1600 msnm; con valores extremos de 10 y 2585 msnm. En cuanto a su hábitat, el 41% corresponde a bosque, el 30% a cultivos, el 24% a pastos y el 5% a áreas urbanas (según datos de uso-cobertura del 2005). Los datos podrían parecer contradictorios, pues la especie se comporta como generalista en cuanto a hábitat; sin embargo la explicación puede estar en sus requerimientos particulares de hábitat: "orillas de ríos-quebradas, cataratas en áreas boscosas", no necesariamente en zonas con grandes extensiones de bosque. Otra posible explicación son errores en la ubicación del punto de registro y en los mapas de uso-cobertura utilizados en el análisis.

La parte inferior del recuadro indica que la especie muestra cierta plasticidad en cuanto a estrés hídrico, pues soporta hasta 4-5 meses secos. Esto puede deberse a que habita en bosques ribereños, los cuales podrían mantener una humedad adecuada para la especie durante todo el año. De igual manera, se encuentra en sitios con una lluvia anual entre 2000 y 7500 mm; sin embargo el 89% de los registros corresponden a localidades con precipitación media anual entre 2000 y 4500 mm. En cuanto a su distribución por ecosistemas, el 26% de los registros se encuentran en bosque nuboso y el 53% en tierras frescas (20-21 °C).

En síntesis, aun cuando se dispone de datos abióticos y bióticos todavía no es posible hacer predicciones fiables a nivel local (escala fina) en cuanto a la distribución de la biodiversidad de Costa Rica. De igual manera, es muy difícil e incierto hacer predicciones

sobre los posibles impactos de eventos globales tales como el cambio climático. Dado este alto grado de incertidumbre, la decisión más sabia es mantener los bloques de bosque existentes así como los fragmentos que los interconectan.





Recuadro 3: Distribución esperada y registros en Costa Rica para la Rana arlequín y su relación con el mapa de ecosistemas.

CAPITULO DIEZ

10 Referencias

11 Anexo

