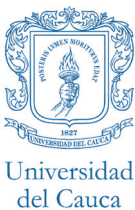


Fragmentación y Coberturas Vegetales de Ecosistemas Andinos, Departamento del Cauca



Fragmentación y Coberturas Vegetales de Ecosistemas Andinos, Departamento del Cauca

APOLINAR FIGUEROA CASAS
MÓNICA PATRICIA VALENCIA ROJAS
(Editores)

GRUPO DE ESTUDIOS AMBIENTALES
UNIVERSIDAD DEL CAUCA



SELLO EDITORIAL UNIVERSIDAD DEL CAUCA

© Los autores, 2009

© Editorial Universidad del Cauca
Calle 5 No. 4-70
Popayán, Colombia
Primera Edición
Septiembre de 2009

ISBN 978-958-732-009-1

EDITOR GENERAL DE PUBLICACIONES
Jorge Salazar Ferro

DIAGRAMACIÓN
María Fernanda Martínez Paredes

DISEÑO DE CARÁTULA
María Fernanda Martínez Paredes

FOTOGRAFÍA DE CARÁTULA
Apolinar Figueroa Casas

EDITOR DE CARTOGRAFÍA
Fernando Felipe Muñoz Muñoz

IMPRESIÓN
FERIVA

Printed in Colombia

Lista de autores

Editores y dirección científica

Figueroa-Casas, Apolinar
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
apolinar@unicauca.edu.co

Valencia-Rojas, Mónica Patricia
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
mpvalenciar@gmail.com

Autores de estudios de caso

Alvear-Narvárez, Nilsa Lorena
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
nalvear@unicauca.edu.co

Ceballos-Sarria, Victoria
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
vcsarria@msn.com

Concha-Lozada, Clara
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
cmconcha@unicauca.edu.com

Gallego-Roperó María Cristina
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
macrisgaro@yahoo.es

Joaqui-Daza, Samir Carlos
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
sjoaqui@unicauca.edu.co

Martínez-Idrobo, Juan Pablo
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
jpmartinez@unicauca.edu.co

Mosquera, Angélica María
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
amosquera@unicauca.edu.co

Muñoz-Gómez, Fernando Andrés
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
famunoz@unicauca.edu.co

Muñoz-Muñoz, Fernando Felipe
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
fernandofelipemunoz@gmail.com

Ordóñez-Díaz, María Cristina
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
mcordonez@unicauca.edu.co

Pérez, Edier Humberto
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
ehperez@unicauca.edu.co

Plazas-Certuche, Jairo A.
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
calvin_free@hotmail.com

Ramírez-Padilla, Bernardo
Herbario CAUP
Universidad del Cauca
branly@unicauca.edu.co

Tandioy, William J.
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
williambio1@hotmail.com

Vergara-Varela, Hernando
Grupo de Estudios Ambientales
Universidad del Cauca
hernandov@unicauca.edu.co

Tabla de Contenido

Agradecimientos	IX
Nota de los editores	XI
Prefacio	XIII
PARTE I. CONCEPTOS Y MÉTODOS	15
1. Ecología y fragmentación	17
2. Características generales del área de estudio	47
3. Climatología de la zona norte del Parque Nacional Natural Puracé y su análisis en el marco de los datos históricos existentes	57
4. Métodos para el análisis espacio temporal de los procesos de fragmentación	77
5. Metodología para el análisis de las perturbaciones	87
6. Métodos para el análisis de la vegetación	103
7. Metodología para el estudio de suelos	109
PARTE II. ESTUDIOS DE CASO	117
Parque Nacional Natural Puracé zona oriental/cuencas Bedón y San Francisco	
8. Análisis multitemporal de coberturas vegetales para ecotopos paramunos. Parque Nacional Natural Puracé	119
9. Cambios de cobertura y fragmentación a través de un análisis espacio temporal en el Parque Nacional Natural Puracé	137

10. Análisis espacio temporal de humedales altoandinos: Laguna de San Rafael y humedal de Calvache	157
11. Dinámicas ecológicas en áreas de transición de ecosistemas altoandinos. Parque Nacional Natural Puracé	189
12. Evaluación de arrastre de suelo y nutrientes por escorrentía superficial en dos agroecosistemas dentro de una zona de amortiguación paramuna.	207
Cuenca alta y media del río Palacé	
13. Análisis espacio temporal del proceso de fragmentación de la vegetación, cuenca del río Palacé, municipio de Popayán, Cauca	225
14. Estudio espacio-temporal del proceso de fragmentación sobre las coberturas boscosas en la cuenca del río Palacé	247
15. Patrones de cambio naturales y antrópicos en un ecosistema altoandino, parte alta de la cuenca del río Palacé.	267
16. Evaluación de la susceptibilidad a la erosión en dos agroecosistemas altoandinos en la cuenca del río Palacé.	285
17. Escarabajos estercoleros (Coleóptera: Scarabaeinae) en tres usos del suelo, vereda Clarete, Popayán, Cauca	301
18. Análisis de la distribución de la macrofauna edáfica de dos relictos de bosque de roble (<i>quercus humboldtii</i> , bonpland) con diferente grado de intervención antrópica	313
19. Abundancia y estado reproductivo de <i>Pristimantis thectopternus</i> (Anura: Brachycephalidae) asociados a cuatro fragmentos de bosque con diferente grado de alteración	333
Cuenca río Las Piedras	
20. Cobertura vegetal, fragmentación y análisis espacio-temporal en la cuenca del río las Piedras	351
Anexos	365
Bibliografía complementaria	383
Reconocimientos	395
Índice temático	397

Agradecimientos

Los resultados presentados en este documento representan el esfuerzo y compromiso de varias organizaciones e instituciones de orden regional y nacional, que con su apoyo ayudaron a desarrollar los estudios caso contenidos en este libro.

Agradecemos especialmente al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS), al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y a la Universidad del Cauca por su financiación, y en particular a la Vicerrectoría de Investigaciones en cabeza de Eduardo Rojas Pineda; igualmente un especial reconocimiento al Parque Nacional Natural de Puracé-Territorial Surandina, a la Comunidad de la Vereda Clarete y al resguardo indígena de Puracé. Especiales agradecimientos al profesor Hernando Vergara por sus aportes y colaboración del primer borrador del presente documento.

Es Grato para el Grupo de Estudios Ambientales haber contado con la firme participación y contribución de las siguientes entidades y personas:

Gobernación del Cauca
Grupo de Ingeniería Telemática – Universidad del Cauca (GIT)
Consejo Departamental de Ciencia y Tecnología (CODECYT)
Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC)
Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS)
Junta de Acción Comunal Vereda Clarete
Herbario de la Universidad del Cauca (CAUP)
Cámara de Comercio del Cauca
Cabildo Indígena de Puracé

Centro Regional de Productividad e Innovación del Cauca (CREPIC)

SAG Cauca

Acueducto y Alcantarillado de Popayán (AAPSA)

Fundación Ecohabitat

UAESPNN-DTSA

Néstor Hernández Iglesias (MADR)

Bernardo Ramírez Padilla

Luis Carlos Pardo Locarno

Nota de los Editores

Los estudios de caso contenidos en este libro, incluyen los intereses de investigación del Grupo de Estudios Ambientales de la Universidad del Cauca, por conocer las relaciones del uso de la biodiversidad por parte de las comunidades locales y tratar de entender los procesos de fragmentación de los bosques en sectores que se ubican en la cordillera central colombiana comprendidos entre el Parque Nacional Natural Puracé y las áreas circunscritas en sus alrededores.

Una de las razones para presentar este libro con énfasis en los **estudios de caso**, es la de conocer situaciones específicas en los diferentes sectores donde se realizan los estudios; de esta forma es posible que desde diferentes perspectivas se lleguen a implementar soluciones a la realidad presentada, como es la fragmentación de las áreas de bosque andino del departamento del Cauca. Los métodos aquí desarrollados pueden tener sus limitaciones y no podrían generalizarse para aplicaciones en todas las relaciones Biodiversidad - Uso, pero evidentemente son herramientas que pueden apoyar en la toma de decisiones de políticas ambientales y de manejo de los recursos naturales.

Se tiene en cuenta que el manejo de los recursos naturales tiene una base social, sin embargo los estudios de caso hacen énfasis en los aspectos biológicos y ecológicos de las áreas estudiadas, considerados relevantes para un mejor conocimiento del problema ambiental y un marco de referencia para modelos alternativos de desarrollo.

La información presentada en cada estudio de caso corresponde a productos de investigaciones de trabajos de grado realizados entre los años 2003 y 2009, por estudiantes del Programa de Biología de la Universidad del Cauca; representan cuatro años de continuos estudios por conocer las dinámicas de los cambios de cobertura de los bosques andinos de la cordillera central en cercanías de la ciudad de Popayán en el departamento del Cauca, incluyendo al Parque Nacional Natural Puracé.

El libro se ha estructurado en dos partes, la Parte I, hace referencia a Principios Generales. Se inicia con una explicación sobre los estudios de fragmentación y una breve historia de los estudios ecológicos a nivel global y local, sigue una descripción del área donde se realizaron los estudios y finalmente se destacan los aspectos metodológicos generales tratados en cada estudio de caso. La Parte II, hace referencia a 13 **estudios de caso** considerados representativos del área de estudio y que son descritos atendiendo a su ubicación, las características del territorio, dinámicas presentes y perturbaciones de cada sitio estudiado.

Desde esta nota, se hace un reconocimiento a todas las comunidades asentadas en las áreas donde se realizaron las investigaciones a que hacen referencia los trece estudios de caso.

De los editores.

Prefacio

Este libro presenta un enfoque relativamente nuevo que busca poner en marcha la integración de conocimientos sobre el medio natural para desarrollar descripciones, evaluaciones y análisis sobre los conflictos que se presentan en la interacción del hombre y el medio natural, particularmente con una visión holística, donde el conocimiento especializado juega su aporte en la comprensión de los ecosistemas, haciendo evidente la urgente necesidad de la complementariedad interdisciplinaria e integración del concepto de complejidad para la gestión de los sistemas naturales.

Su desarrollo ha exigido la construcción de una mirada integral de lo natural y social, ha planteado la necesidad del conocimiento específico y su articulación con parámetros o variables que definan su unidad como sistemas naturales, dando inicio así a una comprensión de los cambios más ambiental que específicamente desde la biología.

Esta característica académica en proceso de maduración presenta a la comunidad científica sus resultados y análisis de los ecosistemas andinos específicamente de la zona Norte del Parque Nacional Natural de Puracé, buscando plasmar sus resultados y vivencias en este texto producto del esfuerzo investigativo. En nuestro entorno, el área de conocimiento de las ciencias ambientales apenas inicia esta travesía en la cual las experiencias y el trabajo asociado a proyectos de investigación, es el marco de referencia para que esta visión se consolide en el ámbito académico.

Este esfuerzo está centrado en los trabajos de investigación de los últimos ocho años en los cuales el Grupo de Estudios Ambientales orientó su interés y sus energías a conocer y dilucidar las características, patrones de cambio y procesos de acción humana en los ecosistemas altoandinos, buscando consolidar la formación conceptual e investigativa de sus integrantes, con la participación de profesores y estudiantes, dando paso a un escenario académico de construcción, análisis, crítica

y pertinencia de nuestro accionar, para con ello propiciar alternativas de gestión ambiental y de conservación para estos ecosistemas. El texto aborda la problemática de la fragmentación ecosistémica, de los cambios espacio-temporales de las coberturas en zonas de páramo, bosque y humedales andinos, se acerca al conocimiento de la dinámica ecológica en áreas de transición, evalúa la susceptibilidad a la erosión y pérdida de nutrientes y emprende el análisis de la problemática de la fragmentación y cambios de uso del suelo en relación a la diversidad centrándose en anuros y macrofauna edáfica. Los temas están presentados a manera de estudios de caso.

Debo expresar mi gratitud a los estudiantes de pregrado del programa de Biología de la Universidad del Cauca y específicamente a aquellos que desde muy temprano me incentivaron a consolidar un espacio de trabajo investigativo tanto en el curso de Geosistemas como en el Énfasis en Gestión Ambiental, ellos han sido y siguen siendo el motor de este esfuerzo, sus aportes y comentarios, sus largas horas de trabajo en campo, sus sacrificios y ante todo su credibilidad en que era posible estructurar un camino de formación e investigación nos tiene hoy presentando a la comunidad científica este libro, donde los intereses y desarrollos del hacer académico de mis estudiantes en el seno del grupo de investigación, facilitaron y configuraron como parte de su responsabilidad no solo la formación, sino también la generación de información pertinente sobre nuestro entorno cercano para posibilitar su conservación.

Es necesario puntualizar la contribución, acompañamiento, asesoría y recomendaciones aportadas por mis colegas Bernardo Ramírez, Leónidas Zambrano y Hernando Vergara profesores del departamento de Biología quienes con su apoyo y comentarios tanto en la formulación de los trabajos de grado como en la evaluación de los mismos contribuyeron al alcance de los resultados de los proyectos de grado, finalmente varios de los estudiantes del programa de Doctorado en Ciencias Ambientales son hoy los artífices de la consolidación de este esfuerzo ya que sus comentarios, aportes y críticas han permitido presentar conceptos difíciles con mayor claridad.

Deseo que este libro estimule a la primera generación de estudiantes del Doctorado en Ciencias Ambientales a abordar la ciencia y la política del cambio global como temas esenciales para la conservación de nuestros ecosistemas, siendo este el primero de una serie de títulos denominada Gestión ambiental y Recursos Naturales.

Ahora bien, la ciencia es una, la forma cómo esta se transmite, se divulga y, en particular, como se desarrolla y madura, admite un sin fin de posibilidades. Por tanto, la elaboración de un texto académico para la divulgación y formación universitaria supone, cuando menos, un indicador de existencia, de criterio propio, y es una muestra de madurez como grupo de investigación ante la comunidad científica.

Apolinar Figueroa Casas
Popayán (Cauca) Colombia

Parte I

Conceptos y métodos



Capítulo 1

Ecología y fragmentación

A. Figueroa Casas

LA HISTORIA NATURAL Y LA ECOLOGÍA

La historia natural y la ecología tienen una larga tradición e interés por el patrón espacial y la distribución geográfica de los organismos, procurando desentrañar, cómo, donde y por qué se localizaba la vegetación, desarrollando así el estudio de las zonas de vida, conocimiento que fue un punto trascendente en los estudios del Paisaje. Esto es evidente, cuando se retoman los escritos de la Comisión Corográfica, donde es posible encontrar los aportes desde la América Equinoccial a la Teoría Ecológica del paisaje que fueron desarrollados por Codazzi quien hace el esfuerzo de centrarse en la descripción de patrones estructurales, en la identificación de gradientes físico naturales y en la asociación de características de la vegetación a los paisajes (Barona *et al.* 2002) que se describen en sus escritos, pero un pionero en este campo fue sin duda Francisco José de Caldas, quien compartió sus ideas de distribución y localización de las plantas en los Andes americanos con Humboldt en sus estudios realizados en el Chimborazo, bases que permitieron luego la elaboración y publicación del documento sobre la distribución altitudinal de las plantas. En las memorias de Caldas sobre la nivelación de las plantas que se cultivan en la vecindad del Ecuador podemos encontrar algunos acápites que dicen: «En todos los pequeños viajes que he podido verificar dentro del Virreinato de

Santa Fe, mi primer cuidado ha sido observar la elevación, la calidad y los límites a que está reducido el cultivo de las plantas útiles y de que depende nuestra subsistencia. Desde 1796, en que comencé a ver estas cosas con reflexión, hasta hoy (Abril de 1803), he recogido un número considerable de observaciones y de hechos; los he comparado, he ordenado este material, y creo que ya puedo sacar algunas consecuencias generales. No es una obra acabada la que presento: conozco que estamos muy distantes de la perfección, que nos faltan hechos y que no tenemos el número necesario de observaciones para dar la última mano a la *nivelación de las plantas que se cultivan en la vecindad del Ecuador*. Esta ciencia, de que apenas existe el nombre, debía ser el primer objeto de nuestros viajeros y de los hombres observadores que viven en los diferentes pueblos del Virreinato: la utilidad y las ventajas que sacaría nuestra agricultura de este género de trabajos son conocidas de todos y por tanto no necesito entrar en un pormenor circunstanciado» La publicación en 1807 del libro «Ideas para una geografía de las plantas más un cuadro de los países tropicales de A. Von Humboldt y A. Bonpland» dio un gran impulso a los estudios de la geografía y distribución de plantas y animales, sin embargo, es necesario puntualizar que este esfuerzo ya había sido iniciado desde 1796 por Caldas y sus ideas contribuyeron a la construcción de esta ciencia de la cual apenas existe su nombre para la época.

Más allá de estas consideraciones, la obra científica de Humboldt incitó a la continuidad en las investigaciones relacionadas con la distribución de las zonas de vegetación, sobre las que puntualiza que cada una posee su flora particular, enumerando las diversas formas vegetales (Huptformen) que caracterizan la fisonomía de los paisajes terrestres. El sistema de formas morfológicas que propone para describirlas abre un campo de reflexión y de

observación para los naturalistas de la época que conducirá a la noción de agrupación vegetal la cual emergerá en las obras de Alphonse de Candolle y Eugenius Warming y que creara por si misma las condiciones que posibiliten el concepto de ecosistema (Drouin, 1987).

A lo largo del siglo XIX botánicos y zoólogos describen la distribución espacial de varios taxones, particularmente en su relación con factores macro climáticos como la temperatura y las precipitaciones; quizá una de las más importantes contribuciones científicas sobre el tema fueron hechas por De Candolle (1874), que en su geografía botánica se pregunta largamente acerca de la existencia de especies disjuntas, que viven en zonas separadas y lo bastante alejadas entre si para no haber podido dispersarse de un área a otra; admite una explicación histórica de las discontinuidades de esta distribución e introduce explícitamente el tiempo como factor explicativo, enfatiza en que su objetivo es buscar las leyes de la distribución de las plantas en la tierra y puntualiza que la geografía botánica debe tener como meta explicar cómo las condiciones actuales del clima determinan o influyen en la distribución de las plantas, aportando de esta forma análisis e integralidad a las relaciones entre humedad, temperatura, luz y naturaleza mineralógica de los suelos.

Esta visión de integración y globalidad también es aportada por la obra de Humboldt que es una de las contribuciones esenciales de la mirada ecológica, lo cual se puede determinar cuando expresa «El simple aspecto de la naturaleza, la visión de los campos y los bosques causan un placer que difiere esencialmente de la impresión que produce el estudio particular de la estructura de un ser organizado. Aquí, lo que nos interesa es el detalle, que excita nuestra curiosidad; allí, es el conjunto, son las masas las que agitan nuestra imaginación» (Humboldt,

1985)¹ este acápite es un texto premonitorio de los años por venir y sobre todo para la obra de August Grisebach (1884) titulada «**La vegetación del globo según su disposición de acuerdo con los climas**» donde establece una distinción entre **formación vegetal** (*Vegetationsformation*) que se refiere al conjunto de vegetales desde el análisis de la fisionomía que imprime a una región y **formas vegetales** (*Vegetationsformen*), la organización de las plantas según sus relaciones entre sí. Según ésta concepción el factor determinante en la distribución espacial de la vegetación es el clima, dejando de lado el estudio del medio vivo, apreciación que chocó fuertemente con los postulados de Haeckel para el que todo estudio ecológico debe necesariamente integrar el análisis del medio inerte y del medio vivo; en este sentido los aportes del francés Charles Flahault quien propone un balance y aporte cuando puntualiza que debe hacerse una distinción entre el medio climático, el edáfico y el biológico haciendo evidentes las interrelaciones que hoy conocemos. Esta contribución permitió el desarrollo posterior de la ecología, la cual fundamenta sus estudios en estos tres medios.

Quizás uno de los más importantes aportes científicos en el estudio de la vegetación y de la ecología se hace a partir de 1895 cuando Eugenius Warming (1892)² en su publicación (*Plantensamfund*) plantea los límites de la geografía descriptiva de las plantas exponiendo, que se han dejado de lado aspectos tan trascendentes para el estudio de la vegetación como la adaptación, la estructura y la

clasificación de las comunidades; expone que la descripción florística no explica como las plantas y las especie procuran su supervivencia dentro de la comunidad a la que pertenecen, haciendo énfasis en el estudio global de la estructura vegetal con la finalidad de entender su lugar y papel en la economía general de la naturaleza, es decir las exigencias de las plantas al medio para su subsistencia, las modalidades de resistencia en relación a su entorno y los ajustes de su morfología y anatomía para su adaptación. Este investigador es el que propone los tipos biológicos de las plantas, de los cuales caracteriza los centrados en la influencia de la luz, la temperatura, la humedad de la atmósfera y sus movimientos, la disponibilidad de agua como factor determinante para los vegetales terrestres³, las propiedades físico químicas del suelo, los efectos de este último en las coberturas y las actividades de los animales que viven en ellas.

Finalmente a estos factores expuestos se añaden las dinámicas esenciales de la competencia intra e interespecifica. De esta manera Warming define como punto de atención una mirada mas integral con respecto a los fitogeógrafos que lo antecedieron y rechaza el concepto de formación, que según su planteamiento está demasiado ligado a una descripción sistemática y florística que no facilita la comprensión de los procesos complementarios que se viven en las comunidades, aquí lo ideal afirma Warming es poder desentrañar cómo cada individuo de una comunidad existe «con un acuerdo morfológico, anatómico, y fisiológicamente con las diversas condiciones ecológicas y sociales en las que vive»

¹ Humboldt, A. VON. 1885. « Carta a Schelling», 1805, citada por Gusdorf G., *Le savoir romantique de la nature*, Paris, pp 28

² Johannes Eugenio Bülow Warming (3 de noviembre de 1841 - 2 de abril de 1924), conocido como Eugen Warming, fue un botánico danés y uno de los principales fundadores de la disciplina científica de la ecología. Warming escribió el primer libro de texto (1895) sobre la ecología de las plantas, dictó el primer curso universitario en ecología y dio a conocer el concepto de su significado y contenido. «Si un científico puede ser señalado para ser honrado como el fundador de la ecología, Warming debe tener prioridad»

³ Según la cual se pueden distribuir en tres grupos a saber: Xerófitos, Hidrófitos y Mesófitos

(Gaston, 1895)⁴. Un complemento a los estudios de Warming son los realizados por Schimper⁵ quien desarrolla el papel de los mecanismos fisiológicos en la adaptación de las plantas a su entorno, aporta una distinción nueva entre el concepto de sequía y el de sequía fisiológica, esta apreciación permite complementar y distinguir con mayor precisión los criterios propuestos por Warming para distinguir las halófitas de las xerófitas y negar la categoría de mesófitas proponiendo la de tropófitas definiendo que sus órganos son alternativamente xerófitos e hidrófitos.

Los aportes analíticos de Schimper y la síntesis teórica de Warming darán origen a dos grandes tradiciones científicas como son, la fitosociología, que afianza sus raíces en Europa, y la Ecología dinámica que se desarrolla en Estados Unidos. Para la primera la unidad base de análisis es la **asociación vegetal**, que se define como fitocenosis de composición florística determinada y de fisonomía uniforme. En el estudio de la asociación vegetal se presenta la noción de especie característica en la definición de la misma, y al carácter que se le da mayor trascendencia es al de **fidelidad** lo cual se expresa planteando que «La asociación se caracteriza por las especies que le son fieles. Es una agrupación vegetal más o menos estable y en equilibrio con el medio ambiente, caracterizada por una composición florística determinada en la que ciertos elementos exclusivos o casi (**especies características**) ponen de manifiesto con su presencia una ecología particular y autónoma»(Duvigneaud, 1978), siendo estas plantas indicadoras de un medio particular, donde su presencia permite reconocer inmediatamente ciertas características del biotopo donde se encuentran; esta apreciación

dio origen a una nueva escuela fitosociológica, que a pesar de numerosas excepciones, terminará por imponerse y es la ya conocida escuela de Zurich- Montpellier con su representante Braun Blanquet- Charles Flahault.

La segunda tradición científica, se inicia con los estudios de Henry C. Cowles (1899) sobre la dinámica ecológica quien define la **sociedad vegetal** como «un grupo de plantas que viven juntas en un hábitat y que están sometidas a las mismas condiciones de vida». Este planteamiento según Cowles debe llevar al ecólogo a estudiar el orden de sucesión de las sociedades vegetales en el desarrollo de una región, y tiene que descubrir las leyes que gobiernan los cambios panorámicos, siendo de esta forma la ecología el estudio de una dinámica, donde la vegetación solo es constante en apariencia y no puede jamás alcanzarse un equilibrio realmente estable. De manera que cuando hablamos de haber llegado a un máximo de desarrollo denominado clímax se trata siempre de una aproximación. Sus enfoques nos plantean la necesidad de abordar el conocimiento de los procesos de adaptación de las especies vegetales y las relaciones de estructura y función de las plantas en los ecosistemas. Pero es Frederic E. Clements quien establecerá las profundas conexiones entre los dos enfoques de Cowles, cuando da a conocer su obra *Research Methods in Ecology* (Clements, 1905) quien retoma un concepto denominado *quadrat* que los botánicos alemanes habían utilizado para estudios sobre la flora alemana, quienes lo crearon con la finalidad de propiciar un desglose espacial en vastas unidades, de varias decenas de kilómetros que permitían distinguir diversas regiones según las especies dominantes.

⁴ Boniere Gaston. 1895. Recherches sur l'anatomie experimentale des vegetaux Paris.

⁵ Andreas Franz Wilhelm Schimper (12 de mayo de 1856 - 9 de septiembre de 1901) fue un botánico y fitogeógrafo que hizo importantes contribuciones en los campos de la histología, ecología vegetal y la geografía.

La concepción de Clements es novedosa y utiliza el concepto de *quadrat* redefiniéndolo, como un área cuadrada de una superficie de pocos metros, en general cinco metros cuadrados, dentro de la cual las plantas se identificaban, inventariaban, y señalaban en un mapa, pudiendo así realizar observaciones estadísticas que permitían hacer comparaciones numéricas en el espacio; comparando *quadrants* vecinos pueden establecerse transectos; pueden hacerse comparaciones en el tiempo, pudiendo generarse datos secuenciales durante varios años, permitiendo levantar por cada temporalidad los mapas de las condiciones descritas para realizar comparaciones posteriores. Teóricamente el aporte de los postulados de Clements asimila la comunidad vegetal a un organismo y ofrece un marco conceptual heurístico para el análisis ecológico como lo demuestra la comparación entre desarrollo de un organismo y **sucesión ecológica** lo cual se convierte en un leitmotiv en toda la obra de Clements, esto es apreciable en su obra *Plant Succession* (Clements, 1916). De esta forma Clements propone un marco conceptual y un método experimental para el estudio de las comunidades, verdadera fisiología externa, integrando el componente espacial a los estudios de la vegetación y plantea una secuencia de pasos para alcanzar el clímax en los procesos sucesionales.

Sin embargo la opinión sobre la existencia de una firme interdependencia entre el clima, la biota y el suelo, para propiciar la estabilidad a largo plazo del paisaje, en ausencia de cambios climáticos (O'Neill *et al.*, 1986), influyó en los estudios de Clements sobre la teoría y dinámica de la sucesión, donde un punto final estable, el clímax de vegetación, se determinó por las características macro climáticas de una amplia región (Clements, 1916; Clements, 1936). Quizás, la más importante diferencia de lo

propuesto por Clements está en el énfasis puesto en la dinámica temporal, **pero no en la trascendencia sobre el patrón espacial y su influencia en la determinación de las relaciones de la vegetación con la geología, geomorfología, exposiciones e intervenciones antrópicas como gestoras de los procesos de transformación de los mosaicos de vegetación.**

Estos gradientes espaciales de alto nivel de heterogeneidad no son más que respuestas a los cambios en los patrones de relacionamiento de los componentes de los ecosistemas, o también expresado como adaptaciones a los gradientes espaciales que definen un ambiente. En este sentido se podría interpretar que cambios abruptos en la vegetación están asociados a discontinuidades bruscas en los patrones físicos del entorno (geología, geomorfología, litología, humedad, exposición etc.). Clements propone una interpretación dinámica y evolutiva del equilibrio en la naturaleza mediante el encadenamiento de causa efecto en el proceso sucesional y no renuncia a la idea de una sucesión inevitablemente progresiva ni a la metáfora organicista, en la cual el clímax es un concepto particularmente sintético aunque elegante, que no permite vislumbrar el papel de las culturas y el hombre en la transformación de los sistemas naturales. Cuando se analiza la obra de Clements y se contrasta con uno de sus contemporáneos como es Gleason (1926) uno puede encontrar dos grandes aportes realizados por este último como son, la argumentación que los patrones heterogéneos espaciales son importantes y deben ser interpretados como respuestas individualistas a los gradientes espaciales en el medio ambiente; ahora estos patrones espaciales de la vegetación clímax reflejan las intersecciones de especies que responden a complejos gradientes ambientales (Whittaker, 1975). Donde han adelantado sus investigaciones, esto lo expresa cuando escribe «todas las escuelas ecológicas están muy

influenciadas por un *genius loci* que procede del paisaje local» (Margalef, 1991). Así tenemos la minuciosidad de la escuela de fitosociología vegetal de Zurich-Montpellier, el determinismo en los estudios de la flora escandinava, y los enfoques dinámicos y de la teoría del clímax que se desarrollaron en los grandes espacios y las suaves transiciones de las estepas rusas y de las planicies de América del Norte. Pero, ¿que ha sucedido en los ecosistemas tropicales, donde se tienen los ecosistemas más complejos del planeta, por qué aquí no se ha desarrollado una escuela de pensamiento ecológico que contribuya al conocimiento de estos sistemas? Esta pregunta que en su momento formulaba Margalef debía esperar el desarrollo e interacción de visiones complementarias a la biología y a la interpretación de los ecosistemas tropicales como *sistemas adaptativos complejos*.

PROCESOS ECOLÓGICOS Y EL HOMBRE

La transformación de los sistemas naturales o si se prefiere la organización de los paisajes terrestres se origina con la propia historia de la humanidad y el proceso no es más que el recuento de las etapas de la historia humana de la naturaleza como lo señala Moscovici. Para este autor la naturaleza ha tenido como su rasgo más distintivo al hombre y ella es parte inseparable de la especie humana. La sociedad humana y la naturaleza representan los modos de relación entre los mismos términos y dos términos diferentes de una misma relación, que coloca a los hombres de un lado y a las fuerzas materiales del otro. En ninguna parte de la historia humana, en ningún momento, la naturaleza está más próxima ni más alejada del hombre ni en el más remoto pasado, ni en el presente ni en el futuro (Moscovici, 1977).

Esta naturaleza que nace en la historia humana, en el acto generador de la sociedad humana, es la naturaleza real del hombre, la realidad social de la naturaleza y la ciencia humana de la naturaleza (o la ciencia natural del hombre) son dos expresiones idénticas, la historia misma del hombre, es parte real de la historia natural. La urgencia de una reflexión sobre la trascendencia de las determinaciones naturales y ecológicas en la historia de la humanidad es algo admitido pero no abordado y es todavía una reflexión marginal. En la cultura y civilización no ha habido nada que no haya sido el producto de la interacción del hombre con la naturaleza, donde la práctica social ha moldeado este relacionamiento, impulsando y favoreciendo los procesos mediante los cuales la sociedad incluye la naturaleza y esta a los generadores de las transformaciones socioambientales.

La construcción social de esta naturaleza humanizada, de los ecosistemas humanos, de los paisajes culturales conlleva en su esencia el factor transformador de la cultura la cual adapta y se transforma en el relacionamiento de las interacciones del medio natural con la sociedad, creando condiciones especiales y únicas según los requerimientos y oferta de medios y condiciones existentes en los ecosistemas para la subsistencia del hombre; lo expuesto plantea la confluencia de dos grandes clases de procesos en la historia humana de la naturaleza como son los ecológicos y los sociales, propiciando así en términos de cada cultura las transacciones y prácticas de las sociedades humanas para obtener, transformar y distribuir la energía necesaria para satisfacer sus necesidades y objetivos. En estos términos el hombre ha adaptado sus necesidades a los ambientes en que vive, modelando sus paisajes y variando sus formas de adaptación a partir de su bagaje tecnológico, su organización social y su visión de mundo.

Entender los procesos ecológicos, integrando los patrones de relacionamiento de los sistemas naturales, sistemas sociales, la heterogeneidad de su constitución y acoplando las interacciones culturales con los componentes ecosistémicos, ha sido por años un trabajo arduo y de difícil comprensión para la ecología, que transforma la visión de ésta y crea condiciones para nuevos paradigmas que revalúen conceptos ya formulados desde las ciencias ecológicas y hoy abordados desde las ciencias ambientales, donde la ecología es una estructura clave de esta historiografía en construcción.

Este análisis nos acerca al conocimiento de un sector de los ecosistemas de alta montaña en el sur occidente de Colombia, aquí la interacción de las comunidades indígenas, campesinas y mestizas han configurado las características del paisaje, donde los procesos agrícolas, las áreas de conservación, los sectores de amortiguamiento, la infraestructura construida, los procesos de explotación ganadera y minera se conjugan para definir los patrones de cambio, conservación y desarrollo social y económico de esta región; así expresado el estudio integral de estos componentes desde una perspectiva ambiental, enfatiza en los acercamientos holísticos y nos exige evitar las miradas reduccionistas que en muchas ocasiones se realizan sobre los parámetros físico bióticos como una forma de estudiar el paisaje.

Es claro que se requiere la información y caracterización de los cambios en cobertura así como las interacciones intrínsecas de cada componente para su transformación o adaptación, mas este no puede ni debe ser el final de un esfuerzo donde los patrones culturales son los responsables de las dinámicas de cambio, las cuales están signadas por la oferta y demanda de

bienes y servicios que del territorio se demandan para la subsistencia de las comunidades.

Quizás las relaciones extrínsecas⁶ de los componentes naturales, sociales y económicos son los ejes determinantes para los procesos de humanización y transformación de los ecosistemas de alta montaña, donde los cambios o perturbaciones generadas por las interacciones de estos componentes determinan la evolución ambiental de los ecosistemas intervenidos. Este enfoque sistémico que debemos utilizar para comprender los procesos de cambio y de adaptabilidad de los ecosistemas, es un camino explorado recientemente desde la ecología para dar respuesta a interrogantes asociados a problemas complejos en los cuales el número de variables interactuantes es mayor del que el científico en su modo tradicional puede controlar, y donde la posibilidad de que factores desconocidos influyan en las observaciones, es mayor, haciendo así muy vulnerables los modelos cuantitativos en los que tradicionalmente se han basado los estudios ecológicos.

Abordar esta complejidad es especialmente patente cuando se estudia el paisaje permitiendo la utilización de las ciencias ambientales como camino para la comprensión de los cambios y procesos, los cuales deben tratar con un gran número de factores humanos, económicos, tecnológicos y naturales fuertemente interconectados. En este caso la dificultad se multiplica por la propia intervención de la interacción hombre ecosistemas, donde ambos son sujeto y objeto de los procesos de estudio e investigación. Abordar este nivel de complejidad que ha determinado los cambios positivos y negativos en la evolución del hombre y del medio natural solo se puede realizar con un pensamiento basado en la totalidad y sus

⁶ Entiéndase como relaciones extrínsecas aquellas interacciones que se dan entre componentes físico biótico, social, cultural y económico en el contexto de una región o ecosistema específico

propiedades que complementa el reduccionismo científico.

El estudio de los ecosistemas y los seres vivos exige considerar a éstos como una jerarquía organizada en niveles, cada uno más complejo que el anterior. En cada uno de estos niveles aparecen propiedades emergentes que no se pueden explicar a partir de los componentes del nivel inferior, sencillamente porque se derivan de la interacción y no de los componentes individuales, siendo esto muy claro en el estudio del paisaje.

Los paisajes naturales de la región suroccidental de Colombia han sufrido una intensa transformación por acción del hombre, la cual se considera hoy en día como una amenaza a la conservación de su extraordinaria biodiversidad y como el principal factor causante de su degradación ambiental (Noss, 1987; Wilcox y Murphy, 1985). Ya se han transformado y fragmentado alrededor del 70% de los ecosistemas originales, principalmente por la expansión de actividades forestales y agropecuarias (WWF, 2002).

A pesar de los esfuerzos para conservar estos sistemas naturales, no es claro su futuro ni mucho menos la integración de políticas de aplicación real en el territorio, siendo aquí muy evidente la contradicción entre un discurso bien intencionado por parte de las instituciones ambientales del país y de la región y las visiones de las comunidades que viven en estos territorios y que demandan de sus servicios ambientales para su subsistencia.

La ausencia de instrumentos de política, que permitan la generación de acuerdos de gestión

ambiental, está propiciando grandes dificultades para la conservación en estos ecosistemas, el desarrollo de la libertad en los procesos y el ejercicio de la territorialización como base de una demanda política de autonomía, plantea una mirada más acuciosa en la conciliación y en el ejercicio de los derechos que como colombianos se tienen para el disfrute y beneficios de las bondades físico-naturales y culturales que estos ecosistemas ofrecen al pueblo colombiano.

Se hace urgente el desarrollo de acuerdos y tecnologías que permitan mejorar la información ambiental de estos sectores, así como las formas de intervención productiva de apropiación y de transformación de los recursos utilizados de estos ecosistemas, especialmente en el cambio de uso de los suelos, ya que los diferentes sistemas productivos presentes tienen una baja capacidad de mantener elementos de la diversidad funcional o de operar como corredores biológicos entre fragmentos de ecosistemas originales remanentes.

En los últimos años, la tendencia en la política de conservación ha estado signada por la hipótesis de adquirir predios para ser dedicados al mantenimiento de los bosques con la extracción o desalojo de los habitantes allí asentados, asumiendo la premisa que así se puede reducir la presión antrópica sobre los recursos de flora y fauna, e incrementar la regeneración natural y la biodiversidad (Jeimar *et al.*, 1997)⁷. Esta percepción obedece a una tradición de pensamiento en la cual, la delimitación y declaratoria de áreas para la conservación excluía los asentamientos y usos humanos considerados como incompatibles con la conservación de la naturaleza en un sentido

⁷ Tapasco, J., Rivera, B., Estrada D R., 1977. Evaluación de las políticas de conservación del bosque natural en Colombia. El caso de la compra de predios en la reserva «Selva de Florencia», XII Congreso Forestal Mundial, Quebec City Canadá.

estricto, dando lugar a la implementación de estrategias de «saneamiento», en donde las poblaciones humanas llegaron a ser consideradas como una enfermedad que debía ser combatida (Ospina, 2007).

Así planteado, las actividades de deforestación y la fragmentación de los hábitats y los procesos asociados, son cada vez más amplios y ubicuos en los ecosistemas altoandinos, requiriéndose incorporar las causas impulsoras del cambio en el uso del suelo, así como la necesidad de proveer seguridad alimentaria para una población creciente que enfrenta la disyuntiva entre las actividades de conservación, la utilización de los recursos y la oferta ambiental del territorio, requiriendo el desarrollo y aplicación de innovaciones en la política de gestión ambiental a la vez que se disponga de mejoras tecnológicas en la eficiencia del uso del suelo, en la transformación de los recursos y en el valor agregado que a los mismos se les debe dar.

Hay que reconocer que las nuevas alternativas en las políticas sociales y de seguridad están generando una dinámica demográfica que propicia el cambio de los paisajes naturales y agrícolas, lo cual generara efectos positivos como negativos para los ecosistemas y los servicios ambientales de las áreas de alta montaña. Actuales tendencias de uso de la tierra que incluyen actividades tradicionales (ganadería y agricultura migratoria) y posibles actividades emergentes (tales como agricultura de alto rendimiento) podrían en el primer caso exacerbar el problema de la conservación de los

bosques altoandinos y zonas de páramo y en el segundo caso, aminorar el conflicto en la ampliación de la frontera agropecuaria.

El cambio de uso del suelo en la región andina es impulsado por las necesidades de tierra para los sistemas de producción y en gran parte para seguridad alimentaria; esta característica está generando importantes conflictos sociales, ecológicos, económicos y ambientales que enfrentan actores, y a diversos procesos en los que se conjuga la negociación política, la normatividad ambiental y los conceptos de la autonomía, pero aparte de este nivel de complejidad se enfrenta la incertidumbre desde la ciencia de la ecología cuando se hace evidente la tensión y el predominio cambiante de las corrientes analítica⁸ e integradora⁹ (Holling, 1998) para abordar el estudio y análisis de sistemas adaptativos complejos. En el ámbito internacional este patrón de transformación y de complejidad es abordado por autores tales como Baptista, 2008; Bradley y Millington, 2008; Fearnside, 2008, Izquierdo *et al.*, 2008; Killeen *et al.*, 2008; Padoch *et al.*, 2008, y se podría expresar que el conflicto se centra entre la producción de alimentos, los servicios ambientales y la conservación de la riqueza natural y los ecosistemas semi-naturales (Waggoner y Ausubel, 2001, Balmford *et al.*, 2005, Green *et al.*, 2005, Grau *et al.*, 2008).

Este proceso de cambio en el suroccidente es evidente para el rango altitudinal de los 1.700 msnm hasta los 3.500 msnm donde el sistema productivo ganadero es el que mayor nivel de

⁸ La corriente analítica se fundamenta en la investigación de las partes, y surge de las tradiciones de la ciencia experimental, que se centra en un objeto lo suficientemente estrecho con el fin de plantear hipótesis, recopilar datos y diseñar nuevas críticas para rechazar hipótesis inválidas. Debido a su base experimental, normalmente, la escala escogida tiene que ser pequeña en el espacio y breve en el tiempo

⁹ La premisa de la corriente integradora es que el conocimiento del sistema siempre es incompleto. La sorpresa es inevitable. Rara vez habrá unanimidad entre los pares, sólo una línea cada vez más creíble de argumentos probados. No solo es incompleta la ciencia, el propio sistema es un blanco en movimiento, que evoluciona debido a los impactos de la gestión y de la progresiva expansión de la escala de influencias del ser humano sobre el planeta.

expansión y transformación del paisaje ha ejercido, presentando indicadores económicos y de producción bajos, coadyuvando con una severa degradación ambiental a nivel de suelos, cursos de agua y diversidad. Se estima que más del 40% de las pasturas están severamente degradadas.

Los ecosistemas que presentaban actividades agrícolas y en especial el cultivo de café con sombrío en el rango altitudinal de los 1.500 m a los 2.200 m localizados en el piso basal de estos ecosistemas altoandinos, y que fueron reemplazados en los años 70 por variedades más productivas de monocultivo abierto, han propiciado un proceso gradual de degradación en cuanto a la calidad de los suelos, han potenciado los fenómenos erosivos, afectado la calidad del agua en cuanto a sedimentación y turbiedad así como favorecido una afectación trascendente de la biodiversidad, alterando la capacidad resiliente de estos sistemas naturales lo cual ha potenciado la proliferación de plagas y enfermedades que antes eran reguladas en parte por especies presentes en un sistema agroforestal biológicamente más diverso (Borrero, 1986; Nortón, 1986).

Este proceso de transformación y degradación de los paisajes naturales ha generado la pérdida y fragmentación del hábitat para numerosas especies, muchas de las cuales están ahora dispersas en fragmentos cada vez más pequeños y aislados, donde la probabilidad de extinción local o incluso regional es elevada, especialmente en los límites de su distribución geográfica o ecológica (Hargis *et al.* 1997; Wilson, 1988; Saunders *et al.* 1991; Pickett y Thompson, 1978; Fielder y Kareiva, 1997). La fragmentación y alteración de los patrones espaciales del paisaje así como el uso intensivo de fertilizantes, afectan diferencialmente los procesos ecológicos y los servicios ambientales, lo que puede variar considerablemente dependiendo de las especies,

comunidades y ecosistemas involucrados (Tischendorf y Fahrig, 2001; MacNally y Brown, 2001; MacNally y Horrocks, 2002).

El sistema de cultivo con uso intensivo de insumos químicos que hoy predomina en los ecosistemas altoandinos, ha inducido un desbalance en los nutrientes disponibles en el suelo de estos ecosistemas, afectando su fertilidad. Las tierras localizadas en las altas mesetas de valles interandinos, otrora con suelos de buena calidad, donde se encuentran extensiones importantes en monocultivos intensivos de papa y canola, son adyacentes a terrenos que están casi exclusivamente dedicados al pastoreo y a la producción de vacas lecheras. Las suaves pendientes que rodean estas áreas en el sector de la laguna de Calvache páramo de Malvazá, donde por más de 20 años se han dedicado estos suelos a la producción de papa con uso intensivo de insumos químicos y procesos de mecanización, ya muestran signos de agotamiento siendo necesario más tiempo de período de barbecho entre siembras, presentando rendimientos relativamente bajos. Esta característica asociada a los ciclos biogeoquímicos está determinando la necesidad de alternativas de producción agropecuaria y sistemas de innovación para evitar la ampliación de la frontera agrícola. Los rendimientos más altos y los menores períodos en barbecho se encuentran ahora en las tierras boscosas altas de las laderas empinadas de la región andina, que pueden ser integradas a los sistemas productivos mediante la tala y la quema. Por eso, aún cuando la presión por cortar los árboles del bosque para leña es relativamente baja, los agricultores y ganaderos continúan desplazándose hacia lo alto de las laderas buscando mejorar la productividad.

En este sentido los límites cada vez superiores en alturas mayores a los 3.500m que alcanzan las actividades agropecuarias aun en áreas de

conservación reflejan esta presión y afectan ecosistemas de una gran fragilidad como son los páramos, perturbando su estructura y los suelos orgánicos (Histosoles) y minerales heredados de cenizas volcánicas (Andisoles) y de materiales sedimentarios o metamórficos (Entisoles e Inceptisoles). Sobre estos ecosistemas se presentan procesos que afectan las condiciones ecosistémicas: el primero hace relación al cambio de uso de la tierra donde las prácticas como la quema y el drenaje realizadas con la intención de adecuar las tierras a procesos de producción, inducen cambios drásticos en la capacidad resiliente a diferentes escalas espaciales y temporales, y el segundo al desplazamiento de la población de las tierras bajas, con la consecuente presión sobre los ecosistemas naturales altoandinos, el aumento de la demanda de alimentos y la expansión de la frontera agrícola y pecuaria especialmente por cultivos de papa y de amapola.

PROCESOS ECOLÓGICOS Y EL PAISAJE

La distribución de todos los cambios sucesionales que se dan en el tiempo, se entienden como etapas que consolidan un patrón de parches a través de un paisaje, mediante los cuales ordena la secuencia de los cambios identificados, los cuales representan la persistencia de una pauta general que está definiendo el paisaje analizado. La conservación de esta pauta se expresa a través de los cambios temporales que se generan en cada parche, los cuales se asocian a procesos de intervención y a las perturbaciones naturales que se coligen a la dinámica.

Un concepto analizado de la vegetación en el espacio y el tiempo lo presentó Watt (1947) en la década de los 50, quien propuso que la

distribución y progresión temporal de las etapas que constituyen la sucesión, se deben entender como un patrón de parches que se encuentran ensamblados a lo largo de un paisaje; de esta forma la secuencia de cambios en función de un patrón espacial, representa la persistencia constancia o pauta general que lo domina. Así expresado, el espacio y el tiempo se vinculan en la escala más amplia de estudio como es el concepto de paisaje. El elemento base para la interpretación del paisaje es el concepto de mosaico (*mosaic*), que está compuesto por todo un conjunto de elementos (*landscape elements*). El concepto de mosaico y la discriminación de las unidades que lo componen se pueden aplicar e inferir a cualquier escala, desde la microscópica hasta la planetaria. Tres mecanismos son los que originan esta distinción de elementos: las diferencias en el sustrato, la dinámica natural, con sus perturbaciones, y, finalmente, la actividad humana. En el mosaico podemos diferenciar tres grandes tipos de elementos: los fragmentos (*patches*), los corredores (*corridors*) y la matriz (*matrix*).

Los fragmentos son las diferentes unidades morfológicas que se pueden diferenciar en el territorio. Los corredores son las conexiones existentes entre unos fragmentos y otros. La matriz es el complejo formado por fragmentos y corredores. Desde un punto de vista funcional, una correcta interpretación de la matriz requiere de la determinación del elemento dominante. Este es el que ocupa una mayor superficie, está mejor conectado y acaba desempeñando un papel fundamental en la dinámica del paisaje. Esta discriminación de dominancia no siempre es fácil de establecer.

En ecología del paisaje de una región, el contexto en que se desarrollan sus componentes es mucho más importante que los elementos en sí, esto hace referencia a todo aquello que rodea los mosaicos,

lo cual tiene un gran efecto sobre la funcionalidad de los fragmentos y los cambios que tienen lugar en los mosaicos, este contexto incluye tres componentes que son: adyacencia, vecindad, y la ubicación dentro de un paisaje. La adyacencia hace referencia a los elementos espaciales en contacto con el fragmento o el sitio de interés, la vecindad se entiende como aquellas interacciones activas que están relacionadas al mosaico, y cuando se habla de la ubicación dentro del paisaje se busca comprender el contexto. La estructura del mosaico y las características que lo definen, determinan el crecimiento de los cultivos, las áreas de pastoreo, la producción de agua, los procesos erosivos, la biodiversidad, los patrones estéticos, el movimiento de la fauna, la disponibilidad de refugios y las características de los ecosistemas. De esa misma forma la interacción cultural genera patrones de ocupación y transformación ecosistémicas que dan origen a diferentes estructuras de mosaico; las áreas de la región andina en el suroccidente de Colombia muestran un patrón, donde las casas aparecen distribuidas aleatoriamente sin ninguna planificación aparente de localización, las cuales están rodeadas de pequeñas áreas arboladas y a continuación grandes campos abiertos.

Permitiendo distinguir la separación de predios por cercas vivas, esta estructura se ve interrumpida en las zonas de ladera por las áreas de cobertura boscosa donde es fácil identificar los procesos de corte y tala que favorecen la ampliación de la frontera agropecuaria, siendo posible ver áreas de cultivo aledañas a los sectores con cobertura boscosa, y extensiones de bosque donde la actividad de corte y tala se ha desarrollado dando origen a figuras geométricas tales como rectángulos y cuadrados. Esta estructura de mosaicos aquí descrita se mantiene en la zona de la meseta, donde solo quedan relictos de bosque en las áreas de avenamiento y

los cauces naturales, presentándose grandes extensiones en pastos y sectores de ladera con pendientes no muy pronunciadas donde se tienen cultivos de café, macadamia, maíz, con áreas de reforestación comercial entre otros y pequeñas huertas de pancoger; aquí la utilización de cercas vivas como división de los predios y la localización de aparente aleatoriedad de las viviendas es también la sensación para el observador, sin embargo tanto en las zonas de alta montaña como en la meseta la distribución está signada por el acceso a las vías de comunicación y al agua como punto fundamental para la intervención del paisaje. Quizá la homogeneidad en la estructura del paisaje se hace mayor en la medida que se desciende al igual que la biodiversidad, pero esta circunstancia es el resultado de los procesos de intervención antrópica que a lo largo de milenios, la sociedad ha ejercido en estas latitudes, al igual que los cambios inducidos por procesos naturales que han configurado junto a las actividades humanas los mosaicos que configuran el paisaje.

Estos cambios en el estado de mosaico (Bormann y Likens, 1979), que incorporan las perturbaciones por procesos naturales, relaciona la conceptualización de Watt. En este sentido la dinámica espacial que en muchos ámbitos de la ecología ha recibido una mayor atención durante los últimos treinta años (White, 1979; Paine y Levin, 1981; Mooney y Godron, 1983) incluye sobre todo el papel de las perturbaciones en la creación y el mantenimiento de un mosaico espacial, permitiendo la diferenciación de los elementos morfológicos fundamentales que constituyen su eje de cambio, así como la evaluación de la variabilidad a lo largo del tiempo y su incidencia paisajística, ecológica, económica, social y ambiental. En definitiva, la superficie, la forma, el número, la cultura, la economía y la

disposición de los elementos del paisaje, y las perturbaciones naturales y antropogénicas presentes, condicionan de forma clave su entorno y su capacidad de cambio y adaptación, lo cual seguramente determina sus perspectivas futuras. Por lo expresado, la biosfera no solo es el producto de procesos geoquímicos y biológicos fundamentales, es también el resultado de actividades transformadoras de la especie humana (Vernandsky, 1997), donde habitamos, en el reino de la noosfera se desarrolla el espacio conceptual creado por los sistemas cognitivos de la mente humana (Morin, 2001), por lo tanto la biosfera como la noosfera nos facilitan la creación de complejos culturales (Simmons, 1994) siendo el hombre el resultado de la simbiosis evolutiva de lo natural y lo cultural (Monod, 1981).

Bajo esta perspectiva, el paisaje es un sistema holístico y dinámico en el cual interactúa la geosfera la biosfera y la noosfera siendo estas interacciones las que definen y caracterizan un paisaje; cuando estas partes se combinan se pueden comprender los procesos de transformación y concreción del paisaje haciendo evidente el relacionamiento entre las ciencias naturales y las ciencias sociales, mas sin embargo este es el punto más álgido en la investigación del paisaje, pues la no comunicación entre las ciencias naturales y sociales se ha convertido en el más serio obstáculo para la construcción de una mirada integradora del mismo (Trees *et al.*, 2001).

Otra forma de expresar el significado del paisaje es el enunciado por Naveh (2000) quien afirma que los paisajes son sistemas vivos, ecosistemas que pertenecen a una clase especial de sistemas ecológicos y culturales interactuantes cuyos elementos se acoplan por relaciones mutuas no lineales y cibernéticas, siendo sistemas autopoieticos.

Esta definición nos relaciona la termodinámica, la teoría de la regulación ecológica y biológica, los flujos de energía, la entropía y la complejidad de las relaciones e interacciones entre sistemas sociales y el paisaje. Lo importante para la vida del hombre y la conservación de los sistemas ecológicos es saber si hoy, con los altos niveles de transformación antropogénica, donde las fuerzas económicas y los patrones culturales así como las necesidades de sobrevivencia del hombre, permitirán que los paisajes entendidos como una clase especial de sistemas ecológicos, tendrán la capacidad de autorregularse y subsistir a partir de principios de planificación capaces de entenderlos.

Quizás por lo expuesto, la ecología del paisaje enfatiza en las interacciones entre los patrones espaciales y los procesos ecológicos, esto es, las causas y las consecuencias de la heterogeneidad espacial a través de diferentes rangos de escala, se puede decir que la ecología del paisaje establece interacción entre la aproximación espacial del geógrafo y la funcional del ecólogo (Forman y Godron, 1986).

Es bien conocido que las interacciones de la cultura humana con la geomorfología generan mosaicos, si adjuntamos esta visión con la aproximación funcional del ecólogo, estos mosaicos pueden ser entendidos como ecomosaicos (Forman, 1979), en los cuales procesos tales como el transporte mecánico de material orgánico e inorgánico, los deslizamientos de tierra, la erosión de los cultivos y los materiales que se arrastran en solución por las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial, generan formas del paisaje, tales como deltas, depósitos glaciares, dunas y hondonadas, donde la dimensión de las estructuras generadas dependerá del clima en que se generen, de las características geológicas del material y su meteorización. El moldeado de

la superficie terrestre por estos procesos geomorfológicos y el clima, han propiciado patrones y formas de interacción y asociación entre la geología, el suelo, la vegetación y las comunidades animales y humanas que allí se desarrollan, configurando patrones de transformación y apropiación ecosistémicos.

Con la misma fuerza, el moldeado de las formas terrestres también dependerá de la extensión de perturbaciones naturales tales como: fuego, avalanchas, deslizamientos, huracanes, terremotos, erupciones volcánicas, mas sin embargo en gran parte del mundo la más amplia fuerza constante de cambio en la superficie de la tierra y transformadora del paisaje es debida a la actividad humana, donde la agricultura, la deforestación, los patrones de adecuación de la superficie terrestre por fuego, movimientos de tierra, construcción de infraestructura, terminan por definir la interacción de la cultura con los ecosistemas, reflejando bien sea paisajes ruralizados o suburbanos, donde estas características abruma y moldean los ecosistemas naturales, canalizando los arroyos, ordenando geoméricamente la disposición de la vegetación, priorizando las vías de comunicación, tomando grandes extensiones de suelo con muy poca o nula pendiente para urbanizar, destinando áreas para parqueo y posibilitando que suelos agrícolas de primera calidad se pierdan.

DEL CONCEPTO DE IMPACTO AL DE PERTURBACION ECOSISTEMICA

El termino impacto se refiere a la alteración que las actividades humanas introducen en el medio, mientras el calificativo de ambiental alude a la interpretación de tales alteraciones en términos

de la sociedad (salud y bienestar humano), por ello hablar de los impactos que se producen por una actividad antrópica, hace referencia a las acciones que ejercidas por el hombre en el marco de su desarrollo socioeconómico ejecuta sobre los ecosistemas y los efectos están relacionados con las consecuencias que estas acciones acarrear en los mismos. Generalmente es relativamente sencillo cuando se hace mención a un impacto directo, es decir aquel que se produce por la alteración de un elemento del ecosistema, que se ve afectado concisamente por la acción que genera el impacto; sin embargo es mucho más difícil cuando se trata de impactos indirectos en los cuales las relaciones sinérgicas de los efectos generados por la interacción de los componentes ecosistémicos, propician relaciones complejas de transformación entre los componentes del medio natural, siendo este fenómeno un proceso multicausal donde es tal el nivel de alteración que la transformación generada produce un cambio de dirección o tendencia del sistema en el que se ejecuta, lo cual bien puede ser considerada una perturbación del sistema.

Detectar los efectos que tienen las actividades humanas sobre los ecosistemas naturales es una necesidad apremiante para la gestión ambiental, ordenamiento del territorio y gestión de recursos naturales. Para hacer esto con eficacia se requiere distinguir los cambios naturales de los asociados a las actividades humanas (impacto), por ello es necesario diferenciar la evaluación del impacto (Osenberg y Schmitt, 1996; Stewart-Oaten, 1996), y la evaluación de la importancia ecológica de los efectos generados por ese impacto (Wolfe *et al.*, 1987). Un problema significativo para los dos primeros requisitos es que la complejidad de los ecosistemas naturales en interacción se opone a la extensión del uso de una simple herramienta de análisis y diseño (Underwood, 1991).

Identificar los impactos ambientales de las actividades humanas en las comunidades naturales es un problema de la ecología aplicada. De alto nivel de dificultad porque uno debe separar de las perturbaciones humanas (impactos) la extensa y considerable variabilidad temporal mostrada por la mayoría de las poblaciones naturales. Además, la mayoría de las perturbaciones humanas son por lo general únicas, asociadas a contextos socioeconómicos y donde los patrones culturales definen el accionar de la sociedad que ejerce la perturbación.

Esto plantea el problema de decidir, si cuando se observa un ecosistema o paisaje natural los efectos locales o cambios detectados se deben a la intervención humana o a procesos naturales o, en su defecto, a las diferencias entre las pautas temporales que a menudo se producen entre los ecosistemas estudiados.

Cuando se estudia el paisaje y en él las transformaciones que son detectables, es necesario identificar los ecosistemas en los que las plantas, animales, y patrones culturales y sociales interactuantes están representando largos periodos de vida y donde los tipos de cambio en la densidad de las poblaciones pueden ser tan bajos que los muestreos de más de un par de veces por temporalidad no necesariamente tienen significación estadística pudiendo generar la idea que no se presentan cambios en el ecosistema y las poblaciones, no detectándose alteraciones multicausales que puedan inducir u orientar la necesidad de procesos de gestión más exhaustivos para la conservación de los ecosistemas.

En términos de aplicar y desarrollar lo expresado se debe analizar el vocablo «disturbio» (impacto), entendiéndose este como la causa que origina la perturbación en los sistemas

ambientales, es por lo tanto el responsable de generar el cambio en las condiciones de metastabilidad del sistema, siendo entendido como el factor detonante de la «perturbación», si se analiza como factor de perturbación la actividad de corte en el perfil edafológico tendríamos un evento o acción que altera las condiciones naturales del suelo, generando un conjunto de procesos o relaciones que se corresponden con los patrones espaciales que definen intrínsecamente las características del sistema suelo-planta-atmosfera. La destrucción de los perfiles edafológicos propicia respuestas intra e interespecíficas; con relación a las primeras tendríamos un incremento en el arrastre de nutrientes al quedar expuesto el perfil, desarrollándose el fenómeno de escorrentía de forma libre y directa. Esta condición favorece los procesos de lixiviación propiciando reacciones de hidrólisis y disolución de la roca, alterando el intercambio de nutrientes en las relaciones suelo-planta e incrementando la susceptibilidad a los fenómenos erosivos (Figuroa *et al.*, 1998).

Otro factor de perturbación que se puede analizar es la tala ejercida sobre el bosque o una estructura de vegetación, considerando la acción con referencia al suelo, tendría como resultado inmediato la exposición y pérdida de la protección superficial, lo que en el desarrollo de las relaciones intraespecíficas, genera una serie de respuestas, como la posible alteración de los horizontes del suelo; esto favorecería el incremento de la temperatura por la pérdida de protección y aumento de la insolación, acelerando la posible volatilización de nutrientes, reflejándose en una pérdida de la capacidad productiva, en la alteración de las características físicas y químicas del suelo y alterando la relación Planta-Suelo. Al final, la disrupción de los procesos por la tala, se

traducirían en un incremento de la susceptibilidad a la erosión donde se presenta la actividad.

El análisis de las relaciones interespecíficas, o sea las que se generan entre indicadores de segundo nivel (Figueroa *et al.*, 1998) permiten la visión de integralidad. Cuando el suelo es expuesto por acción de la tala, directamente se pierde la cobertura vegetal, interrumpiéndose el proceso sucesional, si esto se relaciona con los ecosistemas acuáticos, cuando la actividad se desarrolla en áreas aledañas o en sectores de rivera, ocasiona la pérdida de áreas o zonas ecotonales que aportan material alóctono, el cual contribuye a la producción primaria (PP) del ecosistema acuático. De igual forma se tiene pérdida de habitats y nichos con la tala de vegetación, posibilitando el incremento de especies oportunistas o tipo *r*, generando cambios en la estructura de la comunidad tanto en el ecosistema terrestre como acuático. Con lo expuesto en los acápite anteriores podemos ver la significancia del concepto de multicausalidad el cual generalmente se asocia a las perturbaciones.

Hoy podemos afirmar que los ecosistemas son dinámicos y las perturbaciones son parte de los procesos naturales o antrópicos, siendo una de las causas esenciales que propician los procesos sucesionales (Watt, 1947; White, 1979; Pickett y White, 1985; Glenn-Lewin *et al.*, 1992); en este análisis tomaremos en cuenta la diferenciación que hacen Pickett y White entre los términos perturbación y disturbio. Entendiendo la primera como «un cambio explícitamente definido de un estado, o trayectoria, de un sistema ecológico» y el concepto de disturbio entendido como el «factor» o «evento de perturbación».

Las perturbaciones son parte integral y trascendente de muchos ecosistemas y paisajes pues estas pueden crear patrones en la vegetación

y generar mosaicos que se hacen prevalentes y reconocibles a nivel de ecología del paisaje (Reiners y Lang, 1979), son procesos que modifican patrones espaciales y temporales de composición de especies (presencia o ausencia, abundancia absoluta o relativa, riqueza) y estructura (distribución espacial, tanto vertical como horizontal de la biomasa y los organismos, diversidad y equitabilidad, redes tróficas, estructura de edades y tamaños de las poblaciones), así como la dinámica y funcionamiento de los ecosistemas (tasas de flujo de energía y reciclaje de nutrientes, interacciones de las especies, sucesión) (Bormann y Likens, 1979; Pickett y White, 1985).

Los eventos de perturbación pueden ser caracterizados en términos de distribución espacial, área, intensidad, severidad, frecuencia, tasa de retorno, período de rotación, y sinergismo (interacción con otros factores de perturbación) (Pickett y White, 1985). Diversos factores de perturbación influyen en la dinámica de los ecosistemas.

Las perturbaciones o alteraciones generadas sobre un sistema natural **no solamente se deben entender como ecológicas**, en términos de la gestión y ordenamiento del sistema, es necesario abordarlas teniendo en cuenta componentes asociados al comportamiento de las sociedades, los cuales interactúan e inciden sobre los componentes naturales, donde la variable económica y en ella las fluctuaciones que presenta, tales como la recesión, los niveles tecnológicos que conoce y aplica para los procesos de apropiación producción y adaptación del ecosistema a sus procesos productivos, sus niveles de consumo y sus requerimientos energéticos, determinan el grado, intensidad y persistencia de las perturbaciones que la sociedad ejerce sobre los ecosistemas que sustentan su desarrollo.

Las causas, patrones, dinámicas y consecuencias de las perturbaciones son el más importante tópico de investigación en la ecología del paisaje (Risser *et al.*, 1984, Turner, 1987; Turner 1989; Turner y Dale, 1998) y ha permitido reconocer los procesos y fuentes de heterogeneidad en las comunidades vegetales y animales, reflejándose esto en los estudios ecológicos de los últimos 20 años del siglo veinte. Son pues las perturbaciones de una gran trascendencia en las actividades de gestión ambiental y en los procesos de ordenamiento del territorio; en este sentido la gestión de la perturbación generada por la actividad humana es esencial para poder minimizar los patrones espaciales y temporales asociados, reduciendo los efectos sinérgicos e indeseables que estos pueden generar, de igual forma la intervención humana después de una perturbación natural, ejercida con criterio de atenuación o mitigación de los efectos, refuerza los ecosistemas en sus procesos de recuperación, aunque este puede llevar centurias para alcanzar las condiciones precedentes.

Una perturbación es definida como un evento relativamente discreto que altera la estructura de un ecosistema, comunidad o población y cambia la disponibilidad, espacial y temporal de recursos biogeoquímicos, socioeconómicos y las condiciones de hábitat, nicho y relaciones intra e interespecificas según la intensidad del evento. Por su origen las perturbaciones pueden ser abióticas (deslizamientos, terremotos, fuegos, tornados, erupciones volcánicas, etc.) bióticas (la dispersión de una especie exótica, de un patógeno, etc.) o humanas cuando son generadas por el accionar de una sociedad en la apropiación y transformación de la oferta ambiental de un sistema natural.

Cuando se hacen estudios de ecología del paisaje es necesario distinguir entre un evento particular

de perturbación y lo que los ecólogos denominan un régimen de perturbaciones, que en su accionar están definiendo las características del paisaje estudiado, esto hace referencia a una dinámica espacial y temporal de perturbaciones sobre un largo periodo de tiempo en el cual se presenta: una frecuencia, un periodo de retorno, una residualidad, un tamaño, severidad e intensidad de las perturbaciones (Pickett y White 1985); estos adjetivos requieren introducir su significado en el contexto de la ecología del paisaje.

El término **frecuencia** se refiere al número medio de eventos que ocurren en un periodo de tiempo, más la significancia de un **periodo de retorno** se asocia al tiempo necesario para perturbar un área de estudio explícitamente definida. La **residualidad** se relaciona a los organismos o propágulos que sobreviven a un evento de perturbación y puede ser tomado como una medida de la **severidad**, la cual se entiende como el efecto del evento sobre un organismo, comunidad o ecosistema y está estrechamente relacionado con la **intensidad**, pues a una mayor intensidad, se tiene una mayor severidad. En este sentido es claro asociar el concepto de intensidad con la energía física del evento relacionándolo al área y al periodo de tiempo; lo aquí anotado son los componentes que definen un régimen de perturbaciones, ahora; este también está asociado al componente humano por lo que el régimen de perturbaciones requiere ser analizado teniendo en cuenta las condiciones preexistentes de la sociedad que vive en el espacio y tiempo en que se desarrolla la perturbación, puesto que, como consecuencia de sus procesos de apropiación y transformación del ecosistema de los niveles tecnológicos asociados y muy posiblemente de la innovación existente en la sociedad, pueden determinar las acciones que configuran un régimen de perturbación.

Con lo anterior es claro que se desea significar la trascendencia del hombre en la estructuración del paisaje y la transformación de los ecosistemas. Muy seguramente el accionar social sobre un territorio ha determinado la organización de los paisajes terrestres, lo cual está intrínsecamente asociado con la propia historia de la humanidad y el proceso no es más que el recuento de las etapas de la historia humana de la naturaleza, condición que la ecología del paisaje debe abordar y analizar.

Tal apreciación puede ser analizada si tomamos en cuenta los aportes de Allen y Starr (1982) en su libro *Jerarquía* en el cual hace uso de la teoría de la Holoarquía¹⁰, y explicita que una perturbación solo puede afectar un Holón o un nivel particular dentro de una jerarquía, esto plantea que la perturbación es necesariamente dependiente de la escala por lo que la perturbación y el holón deben estar en una escala similar. Un holón es un sistema o fenómeno que es un todo en sí mismo así como es parte de un sistema mayor.

Si la perturbación presenta una baja intensidad y severidad se considera que esta es efímera para el ecosistema y puede pasar inadvertida para el mismo, si es de gran duración con un tiempo de retorno corto, podría suceder que el holón desarrollaría su vida fuera del proceso de perturbación, o en su defecto podría nunca experimentar el régimen de perturbaciones. El holón no necesariamente puede ser perturbado para el paso o transición de un estado no perturbado a uno perturbado.

La consideración de verdad trascendente en la teoría de la Holoarquía con su estructura de jerarquías, es que, una perturbación en particular o sea aquella que tiene lugar en una

escala espacial y temporal, es una influencia transformadora del ecosistema, que puede ser una fuerza estabilizante para el ecosistema afectado si la perturbación es analizada en una escala diferente. Esto puede ser entendido si analizamos los claros o gaps que se forman en la selva húmeda tropical, generados por una perturbación que bien puede ser inducida por el hombre o debida a procesos naturales; si analizamos la muerte de un árbol (holón) por la perturbación y nos movemos a los árboles del continuum del bosque (holón) los componentes del bosque (el conjunto de todos los árboles) son más que el simple árbol. Y las especies de los diferentes árboles se adaptan a sobrevivir con esta perturbación, generando parches o mosaicos de diferentes edades puesto que los gaps se generan en escalas de tiempo y espacio distintos, tal circunstancia ayuda a mantener la diversidad del continuum, en otras palabras favorece la diversidad.

Estos ecosistemas alto andinos han recibido poco interés a pesar de su función ecológica y económica, sumamente importante en la captación y regulación del recurso hídrico y en el control de procesos dinámicos como la erosión. La pérdida de cobertura vegetal en estos ecosistemas ha facilitado su degradación, acentuando su fragilidad por las fuertes pendientes que los hacen vulnerables a una erosión extremadamente acelerada en condiciones de intensas precipitaciones. La presión a la que están sometidos y el relacionamiento de las comunidades humanas y su creciente demanda de bienes y servicios asociados con procesos de producción agrícola, pecuaria o minera ha venido disminuyendo la extensión del bosque alto andino, generando impactos ambientales que están cambiando la estructura y función de estos sistemas naturales.

¹⁰El modelo holoárquico puede entenderse como un intento de modificar y modernizar las percepciones de la jerarquía natural

Los problemas de la reconversión y apropiación de estos recursos, ha favorecido un conjunto de «eventos de perturbaciones» y «perturbaciones» requiriéndose integrar los procesos de gestión ambiental, para minimizar los daños y conservar importantes áreas que son indispensables para la sostenibilidad de las sociedades que allí viven. Este es el caso de los ecosistemas altoandinos de América del Sur y en las áreas montañosas de América Central donde se calcula que entre un 40% y un 60% de las tierras potencialmente cultivables están afectadas por fuertes procesos erosivos, situación que se consideraba como erosión moderada en la década de los 80 cubriendo un área aproximada de dos millones de km² (Kaimowitz, 1991). Estos datos pueden ser más críticos si tenemos en cuenta que las tasas de deforestación son extremadamente altas, pues en el último quinquenio se estima que han alcanzado los 50.000 km² al año, un territorio equivalente a Costa Rica o República Dominicana, y desde la década del 60 hasta el presente se estima que la tala de bosques ha alcanzado unos dos millones de km².

La deforestación de los piedemontes cordilleranos andinos ha afectado las características ecosistémicas de las zonas alto andinas alterando las precipitaciones pluviales de estas tierras, influyendo sobre las condiciones de los suelos y sobre los sistemas de vegetación que regulan las fuentes de agua de las zonas templadas y bajas de los valles interandinos. Tal situación ha generado la multiplicación de inundaciones y sequías, haciendo evidente las interrelaciones existentes entre el talado de los bosques en las partes altas de las cuencas hidrográficas y los desastres naturales que han tenido que afrontar algunas de nuestras comunidades (Figuerola *et al.*, 1998).

La expansión de la frontera agrícola en áreas de colonización ha empleado como principio

elemental la «tumba» y la «quema», el cual por sí sólo es irracional y no incorpora ningún conocimiento tecnológico. En Colombia la política de colonización dirigida inicialmente por el Instituto de Colonización e Inmigraciones creado en 1953 y desde 1959 por la Oficina de Rehabilitación de la Caja Agraria en contrato con el Ministerio de Agricultura, favorecieron estos procesos de transformación de los bosques andinos, de las selvas interandinas y de los piedemontes cordilleranos. El proceso se vio potencializado por la reforma agraria de 1961 por intermedio de la ley 135 que favoreció ciertos aspectos de la colonización y en particular la expansión ganadera, planteando como condición para la titulación de los predios el desmonte de las 2/3 partes de cada finca.

Esta política, posiblemente subyace en la creencia de las grandes extensiones de tierra inhabitadas, donde aguardan inmensas riquezas e inagotables recursos para ser incorporados y deja vislumbrar la amalgama entre una mentalidad colonialista de impronta ibérica y el espíritu de empresa europeo–norteamericano (Mires, 1990).

Tal situación fue el patrón que dominó la integración de áreas tan importantes para Colombia como el piedemonte de la cordillera Oriental en su flanco oriental y los llanos del Meta, cuando se construyó la carretera Bogotá–Villavicencio, o cuando la autopista Troncal de Medellín a Cartagena y Barranquilla, sobre la costa del Caribe fue conectada a las muy fértiles tierras del valle del río Sinú (Instituto de Estudios Colombianos 1981), pero este patrón de ocupación sigue siendo la causa de mayor perturbación. Quizá en términos contemporáneos quien mejor plasmó esta transformación del paisaje andino fue James J. Parsons en su texto *Las Regiones Tropicales Americanas* cuando expresa:

«Los Andes han estado habitados por el hombre durante miles de años y esto ha producido alteraciones fundamentales en la cubierta vegetal. Originalmente, los bosques cubrían todo excepto las zonas más elevadas y secas y las edáficamente inadecuadas para mantenerlos. Actualmente su ocupación se ha restringido a las pendientes más escarpadas e inaccesibles y a las zonas donde las lluvias son especialmente intensas. En otras partes los terrenos de pastoreo, los sembrados y los matorrales y pastos degradados han reemplazado la cobertura original».

Aunque el estudio que relaciona las actividades humanas y sus impactos sobre los ecosistemas están asociados a las culturas y a las interacciones de estas con otras visiones del entorno, las relaciones e interpretaciones que de la naturaleza se han generado a partir de estos encuentros, han sido y son las responsables de las transformaciones de los sistemas naturales, haciendo evidente que los procesos históricos de cambio y apropiación de recursos y el estudio del papel ecológico de la influencia humana sobre nuestros ecosistemas no ha tenido una preponderancia en los análisis de las condiciones ambientales del territorio alto andino.

No se requiere mucho esfuerzo para argumentar que los ambientes tropicales son sistemas frágiles y finitos que presentan problemas únicos y especiales, donde la diversidad cultural es vista cada vez más como una alternativa, que puede ser parte de la solución cuando la integración y respeto de las diferentes cosmogonías en su análisis brindan opciones innovadoras e interesantes para los procesos de conservación.

Esta visión ha requerido que los ecólogos y biólogos apropien conceptos holísticos para la comprensión de los fenómenos e integración de procesos donde la presencia humana es la fuerza

que direcciona los acontecimientos y cambios en los ecosistemas. Así expresado no tiene sentido el sesgo clásico sobre el «balance de la naturaleza» que ha dominado a muchos investigadores y donde lo trascendente se ha orientado a entender cómo los ecosistemas están estructurados y funcionan, esfuerzo necesario pero no suficiente, lo cual no nos ha permitido entender como los procesos de cambio inducidos por las actividades humanas en los ecosistemas alto andinos se están sucediendo.

La intervención humana crea condiciones de estructura, composición y funcionamiento de los ecosistemas y del paisaje, que determinan los procesos de cambio en muchos sistemas naturales, situación que pone de manifiesto la visión holística como condición necesaria para comprender los fenómenos y procesos que acontecen en los sistemas naturales con presencia de actividades antropogénicas. La consideración de la influencia de las actividades humanas en ecología ha ido cobrando cada vez mayor interés, como resultado de las consecuencias cada vez más obvias de perturbación antropogénica en los ecosistemas, así como por una mayor integración entre la ecología y las disciplinas aplicadas de manejo de recursos naturales y gestión ambiental. Así mismo ha sido fundamental la transformación de la noción del balance de la naturaleza, con la evidencia generada en estudios sobre el cambio de la estructura y composición de las comunidades bióticas a través del tiempo y el papel de las perturbaciones.

Actualmente los ecosistemas son considerados como sistemas complejos, abiertos, autocatalíticos, con una dinámica no lineal, que pueden presentar diferentes estados transitorios o estables (Botkin, 1992; Gunderson y Holling, 2001), este enfoque enfatiza su apertura y contingencia histórica al entendimiento de la

influencia de las perturbaciones antropogénicas como eje fundamental para comprender los patrones y procesos ecológicos (McDonnell y Pickett, 1993), así como la importancia de su interrelación con los sistemas sociales (Costanza *et al.*, 1993; Gallopín, 1989; Naveh, 1993), a diferencia de la concepción de sistemas naturales en equilibrio, libres de la influencia humana, que aún predomina en las nociones vulgarizadas de la ecología.

La importancia ecológica del factor humano ha sido puesta en evidencia por un creciente número de estudios que han demostrado que existen múltiples formas de impacto (McDonnell y Pickett, 1993), y que la larga historia de presencia humana sobre la faz de la tierra ha dejado pocas áreas, si es que alguna, en una condición totalmente natural (Gómez-Pompa y Kaus, 1999). Mitos como el de una naturaleza prístina y un escaso impacto antropogénico en la América precolombina, han sido refutados (Day, 1953; Budowsky, 1959; Denevan, 1992). Aún en áreas que percibimos como naturales o silvestres existen evidencias de la influencia humana. Esta influencia no ha sido necesariamente negativa; por ejemplo, las formas tradicionales de uso y manejo de bosques tropicales y zonas montañosas por pueblos indígenas muestran el papel de los seres humanos en la generación y el mantenimiento de la biodiversidad. La gestión del ambiente y los recursos naturales es un asunto de interacciones entre los sistemas sociales y los sistemas de la naturaleza, por lo cual es necesario entender los procesos de orden cultural, político y económico que determinan el impacto humano sobre los sistemas naturales. Como escribiera Paul Sears, no es solo el suelo, ni las plantas, ni los animales ni el clima, sino el hombre mismo lo que debemos conocer para desarrollar la conciencia pública e influir en la política sobre aspectos ambientales.

La actividad antropogénica sobre los sistemas naturales puede generar cambios irreversibles o persistentes por largos períodos de tiempo. Algunos de estos cambios pueden percibirse como positivos, ya que pueden favorecer a especies utilizadas como recursos, o crear condiciones favorables para los seres humanos. Sin embargo, en muchos casos los cambios inducidos por causas humanas directas o indirectas, pueden afectar la calidad ambiental así como las opciones futuras de gestión.

Lo expuesto ha llevado al hombre a desarrollar y probar los elementos de una teoría integradora que tuviese un grado de simplicidad necesaria para la comprensión, y un nivel de complejidad ineludible para desarrollar políticas de sostenibilidad en sistemas autocatalíticos y complejos.

Esto lleva a considerar las estructuras jerárquicas existentes en los sistemas de la naturaleza (los bosques, las praderas, lagos, ríos y mares), y humanos (estructuras de gobierno, políticas, y culturales), así como organizaciones interactuantes, sistemas hombre–naturaleza que bien podrían ser ejemplificadas por (organismos de control de uso de los recursos naturales) y componentes sociales inherentes a sistemas ecológicos donde su interacción está definiendo direccionando y co-evolucionado con los sistemas de gestión existentes, estableciendo un interrelacionamiento continuo y acoplado de adaptación con los ciclos de crecimiento, acumulación, reestructuración y renovación de los sistemas ecológicos y sociales en los que se desarrolla el devenir socioeconómico y ambiental de las sociedades modernas. Estas transformaciones tienen lugar en conjuntos anidados en escalas que van desde microescalas a macroescalas. Lo expuesto se ha denominado **Penarquía** la cual se entiende como un conjunto de ciclos anidados a través de escalas, donde las

interacciones pueden ocurrir en cualquiera de sus etapas y siendo este término el que se utiliza para describir un concepto que explica el carácter evolutivo de los sistemas adaptativos complejos (Holling y Gunderson, 2002).

Se denomina *Sistemas Adaptativos Complejos (SAC)* a los sistemas que captan información en forma de flujo de datos y que perciben regularidades en el mismo, tratando el resto del material como aleatorio. Los sistemas naturales son un sistema adaptativo complejo, y su estructura y funcionamiento corresponden a un sistema caótico. Los sistemas naturales combinan la estabilidad de la estructura con la fluidez del cambio, lo cual permite su desarrollo, reproducción y evolución. Son «estructuras abiertas», disipativas, que dependen de flujos continuos de energía y recursos que se mantienen en un estado estable lejos del equilibrio (metastabilidad ecosistémica).

Las regiones de alta montaña funcionan como un SAC y es necesario que se puedan identificar cuáles son los indicadores de impacto capaces de dar cuenta de lo que ocurre con las relaciones ecológicas (o los factores de integridad ecosistémicos) y con los bienes y servicios ambientales que aportan estos ecosistemas.

La región Andina lleva decenas o cientos de años de ocupación humana, con prácticas agrícolas; si estos ecosistemas mantienen sus principales relaciones ecológicas y aportan los bienes y servicios ambientales inherentes, se podría hablar de prácticas realmente sostenibles, pero, y como parece ser el caso, lo que se observa es una modificación fuerte de las relaciones ecológicas del sistema (simplificación del ecosistema), buscando con ello lograr niveles de productividad aceptables, siendo esto una adaptación cultural a una zona andina y no una serie de prácticas consistentes con el

mantenimiento del papel ecológico de los ecosistemas altoandinos.

Actividades tales como el drenaje del suelo, el incentivo al reemplazo de pajonales por pasturas, la desaparición de algunas especies colonizadoras y el fraccionamiento del paisaje generan impactos muy fuertes en los ecosistemas altoandinos, donde la retención y regulación hídrica de los suelos, las intervenciones en el paisaje, han causado pérdidas importantes en cuanto a especies, aspecto que ya se mencionó y que se puede ejemplificar con los frailejones y específicamente con tres de las especies que crecen en la Cordillera Central, y que también están en el Macizo Colombiano, sólo una se considera amenazada (*Espeletia idroboi*). En el Nudo de los Pastos, crecen dos especies de frailejones, de las cuales solo una se considera vulnerable (*Espeletia schultesiana*) (Calderón *et al.*, 2004).

PROPIEDADES EMERGENTES Y CAPACIDAD DE CARGA EN LOS ECOSISTEMAS

Las poblaciones y los ecosistemas no son organismos, pero algunas de sus propiedades emergentes son análogas a las de los organismos porque se les puede describir mediante términos como «crecimiento», «regulación», o «desarrollo». La curva del crecimiento demográfico, la regulación de las poblaciones, la evolución genética y la organización social son ejemplos de propiedades emergentes al nivel de organización de las poblaciones. No son propiedades de los individuos de una población. Emergen como propiedades especiales de una población porque todos sus individuos se ven afectados por lo que sucede en la población en conjunto. Tomando como ejemplo la regulación de las poblaciones, las plantas y animales individuales tienen el potencial para vivir una larga vida, produciendo

un gran número de descendientes. Sin embargo, la supervivencia y reproducción reales de cada individuo dependen de cuántos otros individuos hay en la población y cómo se compara este número con la capacidad de carga del ecosistema que los alberga. Si la población total rebasa la capacidad de carga, algunos individuos de la población estarán condenados a morir por falta de alimento. El resultado es que la población se ve regulada dentro de los límites de la capacidad de carga –una propiedad emergente de los ecosistemas y de la cual dependen las poblaciones.

¿Y qué hay de las propiedades emergentes de los ecosistemas? Los componentes (biótico, abiótico y socioeconómico) de los ecosistemas están limitados por sus interacciones y relaciones intra e interespecificas. Son los ecosistemas los que albergan y sustentan las poblaciones y comunidades que en él existen, siendo su productividad primaria neta el fundamento que define su capacidad para albergarlas y permitir su supervivencia. Bien podríamos afirmar que esta es una característica emergente de los ecosistemas.

Otra propiedad emergente puede estar asociada al concepto de integridad el cual se asocia con la capacidad de mantener un sistema biofísico equilibrado e integrado, con una composición de especies y organización funcional comparable a los ecosistemas naturales de una determinada región ecológica (Karr y Dudley, 1981; Karr, 1991; Karr *et al.*, 1986). Un ecosistema tiene integridad si es capaz de mantener su estructura y funcionamiento en el marco de unas condiciones ambientales cambiantes por causas naturales o antrópicas (Kay, 1991a). En este marco, la integridad ecológica se define como un estado del desarrollo del ecosistema optimizado por su localización geográfica, por la entrada de energía y nutrientes y por la historia de su

colonización (Woodley y Theberge, 1992). Esto viene a significar que todos los componentes necesarios para mantener un estado ecológico deseado están intactos y funcionan normalmente. Los cambios de las condiciones ambientales resultantes de las actividades humanas causan una disminución de la integridad biológica afectando esta propiedad emergente y alterando la capacidad de carga del sistema.

Las capacidades de carga de todas las especies de la comunidad biológica de un ecosistema son una propiedad emergente del ecosistema en conjunto porque la fuente de alimento para cada especie es una consecuencia de lo que sucede en otras partes del ecosistema. La fuente de alimento de cada especie depende, en primera instancia, de la **producción biológica** del ecosistema y, la **red trófica** en particular.

Un ecosistema representa las interacciones de las partes que lo constituyen: el tamaño de las poblaciones de todas las especies de plantas, animales y microorganismos; la cantidad o concentración de todas las sustancias del aire, el suelo y el agua; y todas las estructuras construidas por la gente. El estado del ecosistema cambia en la medida en que cualquiera de estas partes o componentes se altera con el paso del tiempo.

Se podría expresar que las características emergentes de un ecosistema también se pueden entender como las que se asimilan a los servicios ecosistémicos tales como: de provisión, de regulación, culturales y de soporte. Los servicios de provisión son aquellos bienes tangibles, recursos finitos aunque renovables, de apropiación directa, que se pueden medir, cuantificar e incluso poner precio. Tal es el caso del agua que extraemos de un pozo, las nueces que colectamos de un nogal, o el suelo en el que cultivamos (Daily *et al.*, 1997).

Estos servicios de provisión directa, son los que proveen de mecanismos de regulación a la naturaleza beneficiando el entorno en el que se desarrolla la población humana. Se trata de propiedades emergentes de los ecosistemas, tales como el control de inundaciones, la resistencia a los ciclos e incendios, y el control del albedo (Daily *et al.*, 1997).

También están los bienes intangibles cuya importancia surge de la percepción individual o colectiva de su existencia. Estos servicios que dependen fuertemente del contexto cultural, son fuentes de inspiración para el espíritu humano. Aunque es muy difícil, y en ocasiones imposible, asignarles un precio, son fácilmente identificables, como por ejemplo, la belleza escénica de un cuerpo de agua (arroyos, cascadas, humedales, piletas u otros), el aire fresco y limpio, el olor a tierra mojada después de una lluvia o la magnificencia de los bosques húmedos de los andes.

Finalmente, es tan larga la lista de propiedades emergentes de los ecosistemas, poco conocidos y entendidos, pero sumamente importantes pues dan soporte al resto de los servicios (culturales, de regulación y de provisión). Se trata de los procesos ecológicos básicos que mantienen al ecosistema funcionando. Estos no necesariamente tienen un beneficio directamente tangible para la sociedad, pero de manera indirecta le son indispensables pues soportan la viabilidad ambiental de los ecosistemas. Aquí, identificamos procesos ecológicos fundamentales como los hidrológicos, el arrastre de nutrientes el transporte de materiales, la retención y almacenamiento de nutrientes en el suelo, la regulación de poblaciones y comunidades así

como el mantenimiento de una concentración de gases favorable en la atmósfera.

El concepto de servicios ambientales incorpora una nueva perspectiva al problema del manejo de recursos naturales. Estando los procesos ecológicos tan vinculados unos con otros, la administración de la naturaleza, sus recursos y sus servicios debe hacerse de manera integrada. Así mismo, al reconocer que los procesos ecológicos son en realidad propiedades emergentes que consolidan el concepto de servicios ambientales que benefician al hombre, su gestión y planificación se hace más realizable, pues es claro el beneficio que ello conlleva. Los economistas consideran que la mejor manera de conservarlos es dándoles un valor que les permita incorporarlos al mercado. Sin embargo, eso no ha sido fácil, sobre todo cuando se trata de los servicios culturales y de sostén. Una alternativa ha sido crear incentivos económicos y subsidios para proteger dichos servicios, tales como los bonos de carbón y el pago por conservar áreas con vegetación natural.

Es importante recalcar que las propiedades emergentes de los ecosistemas naturales son esenciales, porque operan a gran escala y los desarrollos tecnológicos no los pueden reemplazar; se deterioran como resultado de la acción humana y sus consecuencias son globales; requieren de un gran número de interacciones y especies para operar haciendo evidente que son Sistemas Adaptativos Complejos, y dejando muy en claro que los costos en energía que son requeridos para recuperar su operabilidad y acceso a los servicios que se pierden por el daño sobre los ecosistemas son más valiosos que las ganancias que se obtienen mediante las actividades que los alteran (Daily *et al.*, 1997).

LITERATURA CITADA

- Allen, T. y Starr, B. 1982. Hierarchy: Perspectives for ecological complexity. *Behavioral Science*, 28(4): 310.
- Balmford, A.;Green, R. y Scharlemann, J. 2005. Sparing land for nature: exploring the potential impact of changes in agricultural yield on the area needed for crop production. *Global Change Biology*, 11(10): 1594-1605.
- Baptista, S. R. 2008. Metropolitanization and forest recovery in southern Brazil: a multiscale analysis of Florianópolis city-region, Santa Catarina state, 1970 to 2005. *Ecology and Society*, 13(2): 5.
- Barona, G.;Domínguez, C.;Gomez, A. y Figueroa, A. 2002. *Geografía Física y Política de la Confederación Granadina*. Editorial Universidad del Cauca, Popayan. 285pp.
- Bormann, F. y Likens, G. 1979. *Pattern and process in a forested ecosystem*. New York: Springer-Verlag, 253.
- Borrero, J. I. 1986. La sustitución de cafetales de sombrío por caturrales y su efecto negativo sobre la fauna de vertebrados. *Caldasia* 15: 71-75.
- Botkin. B.D. 1992. *Discordant Harmonies: A New Ecology for the 21st Century*. Oxford University Press, USA.
- Bradley, A. y Millington, A. 2008. Coca and colonists: quantifying and explaining forest clearance under coca and anti-narcotics policy regimes. *Ecology and Society* 13(1): 31.
- Budowsky, G. 1959. Algunas relaciones entre la presente vegetación y antiguas actividades del hombre en el trópico americano. *Actas del 33 Congreso Internacional de Americanistas*. Tomo 1. 259-263pp. San José, Costa Rica.
- Calderón, E.;Galean, G. y García, N. 2004. *Libro Rojo de Plantas Fanerógamas de Colombia*. Instituto Alexander von Humboldt - Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., Bogotá, Colombia.
- Clements, F. 1905. *Research Methods in Ecology*. Lincoln, Nebraska.
- Clements, F. 1916. *Plant succession: an analysis of the development of vegetation*. Carnegie Inst. Wash. Publ, Lincoln, Nebraska. 242pp.
- Clements, F. E. 1936. Nature and Structure of the Climax. *Journal of Ecology*, 24(1): 252-284.
- Costanza, R.;Wainger, L.;Folke, C. y Mäler, K.-G. 1993. Modeling complex ecological economic systems: toward an evolutionary, dynamic understanding of people and nature. *BioScience*, 43: 545-555.
- Cowles, H. 1899. The ecological relations of the vegetation of the sand dunes of lake Michigan, *Botanical Gazette*. 27: 95-117, 167-202, 281-308, 361-391.
- Daily, G. C.;Alexander, S.;Ehrlich, P.;Goulder, L.;Lubchenco, J.;Matson, P.;Mooney, H.;Postel, S.;Schneider, S.;y, D. T. y Woodwell, G. M. 1997. Ecosystem Services: Benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology*, (2): 16.
- Day, G.-M. 1953. The Indian as an ecological factor in the Northeastern forest. *Ecology*, 34(2): 329-346.