



Resumen

El Mapa nacional de ecosistemas se ha convertido en uno de los productos más importantes a escala nacional generados entre institutos del sector ambiental, y un ejemplo de articulación de esfuerzos de entidades del Sistema Nacional Ambiental. Ha merecido importantes reconocimientos, principalmente como un instrumento de apoyo a la gestión ambiental. Este documento recoge algunos apartes de la publicación y presenta una visión general del proyecto y las iniciativas que se han promovido a partir de sus resultados.

Palabras clave

Cartografía, ecosistemas, bioma, clima, cobertura de la tierra.

Abstract

The national map of ecosystems has become one of the most important national products, generated between institutes in the environmental sector, and an example of joint efforts of the National Environmental System

institutions. It has had important credits primarily as a tool to support environmental management. This document includes some texts from the publication and presents an overview of the project and initiatives that have been promoted based on their results.

Key words

Cartography, Ecosystem, Biome, Climate, Coverage of the Earth.

Introducción

En el año 2007, se publicó el *Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, escala 1:500.000*, en adelante *Mapa nacional de ecosistemas*, presentado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, los institutos³ del Sistema Nacional Ambiental de Colombia, SINA, vinculados al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC.

¹ Director General Instituto Geográfico Agustín Codazzi, idgomezg@igac.gov.co

² Asesor en asuntos ambientales Instituto Geográfico Agustín Codazzi, ffonseca@igac.gov.co

³ Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés e Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, Sinchi.

Los objetivos del proyecto fueron oficializar el proceso para el desarrollo de la cartografía de los ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, a escala 1:500.000; aumentar la capacidad técnica y operativa para el procesamiento de productos de sensores remotos y cartografía en los institutos participantes; y fortalecer la determinación del estado de los ecosistemas a escala nacional, como apoyo a la gestión ambiental.

La metodología y procedimientos generales del *Mapa nacional de ecosistemas* consisten en la integración de información de geomorfología y suelos, y la zonificación climática, como elementos abióticos y coberturas de la tierra, como elemento biótico, mediante procesos de análisis espacial a través de herramientas de sistemas de información geográfica. Éstas se integran en una entidad cartográfica denominada unidad síntesis, de la cual se identifican en el país 32 tipos de Biomas (o grupos de ecosistemas) y 314 ecosistemas continentales y costeros, de los cuales el 68,8% son naturales, es decir 78'422.960 de Ha.

Antecedentes de la representación de ecosistemas

En el mundo se han realizado diferentes aproximaciones para identificar y caracterizar los ecosistemas. Estas se han elaborado a partir de criterios bioclimáticos (Holdridge *et al.*, 1967), fisonómico-ecológicos (Unesco, 1973), ecofisiológicos (Sierra, 1999) y de cobertura (Bartolomé *et al.*, 2002).

En Colombia, Vergara y Velasco (1892) y Cuatrecasas (1958) abordaron la propuesta climática, mientras que Chapman (1917) estudió los ecosistemas a partir de criterios fisonómico-climáticos. Sobre clasificaciones cartográficas, los trabajos más representativos en el país han sido el *Mapa de zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia* (Espinal y Montenegro, 1963), el *Mapa de bosques de Colombia* (IGAC *et al.*, 1984), el *Mapa de unidades biogeográficas y biomas terrestres de Colombia* (Hernández y Sánchez, 1992) y el *Mapa de cobertura vegetal, uso y ocupación del territorio* (IDEAM, 1996).

El primer *Mapa general de ecosistemas de Colombia* a escala 1:2.000.000 fue elaborado por Andrés Etter en 1998. Su construcción metodológica se basó en los criterios establecidos por Walter (1980), según los cuales dife-

rentes áreas geográficas son agrupadas por sus características biofísicas homogéneas (clima, geomorfología y cobertura) en ecosistemas. Estos, a su vez, son ubicados en una escala jerárquica que los consolida por bioma y tipo de bioma. Para esto se llevó a cabo una interpretación visual de imágenes de satélite Landsat de la década de los ochenta, y se definieron 21 biomas y 62 ecosistemas terrestres naturales. Etter determinó que solamente el 27% de los ecosistemas se encontraban en estado natural, mientras que el 73% restante presentaba algún grado de alteración.

En el 2000, el IAvH realizó una nueva aproximación para retomar el tema de ecosistemas de la cordillera Oriental de Colombia, a partir de los conceptos de Etter (1998), Hernández *et al.*, (1992) y Hernández y Sánchez (1992). De esta manera, y a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite Landsat de la década de los noventa, se elaboró el mapa de ecosistemas a escala 1:200.000, mediante el que se identificaron 11 ecosistemas naturales, que correspondían al 49% del área de estudio (IDEAM *et al.*, 2007).

En el 2004, Romero *et al.*, retomaron el modelo conceptual de Meidenger *et al.*, (2000) y Bailey (1996), en el cual se identifica el mapeo de un ecosistema como una función de los componentes del territorio y de la escala de trabajo utilizada, y presenta una estructura jerárquica abierta que permite incorporar información de biotas, a través de la cual se caracterizan las unidades resultantes.

Esta metodología se aplicó en seis áreas piloto de la Amazonia colombiana a partir de la interpretación de imágenes de satélite Landsat de dos períodos (años ochenta y primera década del 2000) a escala 1:250.000 (Armenteras *et al.*, 2006).

En el año 2004, Rodríguez *et al.*, y Romero *et al.*, documentaron una aproximación metodológica para la representación cartográfica de ecosistemas terrestres en dos regiones del país (Andes y Orinoquía), que se ajustan a diferentes escalas y condiciones espaciales, lo que la hace replicable espacial y temporalmente.

Para ello abordaron el concepto de ecosistemas, definido por Vreugdenhil *et al.*, (2002) como “una unidad

relativamente homogénea (distinguible a la escala de funcionamiento) de organismos que obran recíprocamente, de procesos ecológicos y de elementos geofísicos tales como suelo, clima y régimen del agua, el cual está definido principalmente por el aspecto físico (geoforma) y la estructura (fisonomía) del estrato dominante donde operan procesos ecológicos particulares.

La clasificación final de los ecosistemas naturales tuvo tres niveles de integración que siguieron los criterios establecidos por Hernández y Sánchez en 1992 (*Biotomas de Colombia*) y Hernández *et al.*, del mismo año (*Unidades biogeográficas de Colombia*). Por lo tanto, su estructuración siguió la siguiente jerarquía: tipo general de bioma, bioma y ecosistema. Para su elaboración, se optó por una interpretación combinada entre clasificación digital y visual de imágenes de satélite Landsat de la primera década del 2000.

Para la región Andina se elaboró un mapa de ecosistemas a escala 1:250.000, que fue publicado a escala 1:1'000.000. En dicho mapa se identificaron 162 ecosistemas naturales, agrupados en 36 biomas y 4 tipos generales de biomas. El 39% de la región presentó ecosistemas naturales mientras que el 61% restante, ecosistemas transformados.

Para la cuenca de la Orinoquía colombiana se elaboró un mapa a la misma escala, en el cual se registraron 156 ecosistemas naturales que ocupan el 79,1% de la superficie y se agrupan en 38 biomas y 4 tipos generales de bioma.

Fandiño y Van Wijngaarden (2005) desarrollaron un ejercicio de zonificación nacional de ecosistemas continentales, con el objeto de definir las prioridades de conservación biológica para Colombia. Su elaboración metodológica plantea ecosistemas originales y actuales, y su adición en tipos corológicos.

En cuanto a la identificación de procesos de transformación ecosistémica en Colombia, se pueden mencionar distintas metodologías como la propuesta por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1998), el Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (1997), en el *Análisis general de la representatividad y transformación de los ecosistemas*

de la región andina de Colombia (Etter, *et al.*, 1993), y *A historical analysis of the spatial and temporal drivers of landscape change in Colombia since 1500* (Etter, 2007).

La concertación del Mapa nacional de ecosistemas

Para elaborar el Mapa nacional de ecosistemas fue necesaria la unificación concertada de conceptos que debían satisfacer las opiniones de los técnicos que representaron los institutos participantes. Dichos acuerdos se alcanzaron a través de un gran número de reuniones en mesas temáticas como geomorfología y suelos, clima, cobertura de la tierra y ecosistemas.

Con respecto a la cartografía básica, el mapa de Colombia a escala 1:500.000 fue elaborado por el IGAC a partir de imágenes satelitales Landsat de los años 2000 a 2003, y de cartografía disponible a mayor escala.

La cartografía digital constituye una base de datos que almacena los elementos georreferenciados de la superficie topográfica, que se representan en forma de polígonos, líneas y puntos, ligados a datos alfanuméricos que brindan información relacionada con los objetos. El almacenamiento digital permite administrar los datos en coordenadas geográficas, por lo cual no requiere proyección cartográfica, así se evita la deformación geométrica de los elementos.

La elaboración de la cartografía básica comprende los procesos de preparación de fuentes de información, corrección geométrica de imágenes, captura de elementos cartográficos, edición y estructuración, control de calidad y salidas finales.

Para la salida final de los mapas se diseñaron 10 planchas a escala 1:500.000, adicionales a la grilla oficial del IGAC, que permite la representación integral de los ecosistemas continentales y costeros junto con los marinos. En total se generaron 36 hojas cartográficas.

Principales definiciones

Ecosistemas: los ecosistemas han sido considerados durante mucho tiempo como entidades homogéneas

y espaciales. Duvignaud (1980) los definió como una biocenosis homogénea, que se desarrolla en un medio ambiente homogéneo. Soukatchev, citado por Burel y Baudry (2001) utilizó el término biogeocenosis para referirse a todo espacio de la superficie terrestre donde, para una cierta extensión, la biocenosis permanece uniforme, así como las porciones de atmósfera, litósfera, hidrósfera y pedósfera que le corresponden, y en consecuencia la interacción entre todas las partes que forman un complejo único también es uniforme (Burel y Baudry, 2001).

Lincoln *et ál.*, (1982) y Odum (2001), citados por Rodríguez *et ál.*, (2004) definen el ecosistema como una unidad (biosistema) que incluye todos los organismos en un área dada, que obran recíprocamente con el ambiente físico, de modo que existe un flujo de energía entre sus componentes, es decir, se comportan como una unidad ecológica.

Los ecosistemas también son definidos como escalas intermedias del paisaje, si éste se considera como “una superficie de terreno heterogénea compuesta

por un conjunto de ecosistemas que se repite de forma similar en ella” (Rodríguez *et ál.*, 2004).

En 1939, el biogeógrafo alemán Troll relacionó las estructuras espaciales (objeto de estudio de la geografía), con los procesos ecológicos de los ecosistemas (objeto de estudio de la ecología), definiendo el paisaje ecológico como la traducción espacial del ecosistema (Richard, 1975, citado por Burel y Baudry, 2001).

En síntesis, el ecosistema es una porción del espacio geográfico definido que se identifica como la confluencia de una asociación de clima, geoformas, sustratos, comunidades, biotas y usos antrópicos específicos (Rodríguez, *et ál.*, 2004). Josee *et ál.*, 2003, (citado por Rodríguez *et ál.*, 2004) lo definen como una unidad geográfica, como un sistema funcional con entradas y salidas, y con límites naturales o arbitrarios.

Para este proyecto se asume lo propuesto por el Convenio sobre Diversidad Biológica (2004), que define del término de ecosistema como “un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de micro-



Río Vaupés, Luis Fernando Jaramillo

organismos en su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional materializada en un territorio, la cual se caracteriza por presentar una homogeneidad, en sus condiciones biofísicas y antrópicas”.

Bioma: este concepto es muy apropiado para agrupar grandes unidades bióticas que ocupan vastas extensiones y aparecen representadas en los distintos continentes. Algunos autores reconocen un número muy limitado de biomas, lo cual le resta utilidad al concepto.

Cuando se estudia la distribución de la fauna y la flora en el espacio, es posible reconocer de inmediato conjuntos o paisajes caracterizados por el aspecto general que presenta la vegetación natural. Como cada especie vegetal presenta caracteres morfológicos y fisiológicos específicos o adaptaciones para sobrevivir en un ambiente determinado, el aspecto general de la vegetación inalterada de un lugar es la expresión del conjunto de las adaptaciones de las especies que componen esa vegetación e imprime los rasgos del paisaje. Ante condiciones ambientales similares o análogas (condiciones climáticas y edáficas), en diferentes lugares del mundo, los rasgos morfológicos y fisiológicos resultan similares, es decir, existen caracteres fisionómicos comunes o semejantes (Hernández *et al.*, 1992).

Un conjunto de ecosistemas afines por sus características estructurales y funcionales constituyen un bioma. Los biomas han sido diferenciados por características de la vegetación, ya que son más fácilmente perceptibles que las de la fauna.

El desarrollo de criterios expresados por Walter (1973) y otros autores permite reconocer visualmente los siguientes biomas terrestres para Colombia, siguiendo los lineamientos planteados por Sánchez *et al.*, (en 1990).

A partir de la capa de unidades síntesis se generó el *Mapa de biomas*. Los biomas fueron definidos de acuerdo con características climáticas, geomorfopedológicas y por su ubicación dentro de una gran cuenca hidrográfica. La capa de unidades síntesis, conformada por 71.228 polígonos, se utilizó para replantear las seis categorías de humedad, definidas de acuerdo con los rangos de precipitación (árido, muy seco, seco,

húmedo, muy húmedo y pluvial), a tres nuevas categorías, a las cuales se les asignó el nombre de provincias de humedad, así:

Provincia 1: desierto, correspondiente a la categoría árido; *Provincia 2:* seco, que agrupa las categorías seco y muy seco; *Provincia 3:* húmedo, que agrupa las categorías húmedo, muy húmedo y pluvial.

Una vez definidos los grandes biomas, se determinaron dentro de estos los biomas, teniendo en cuenta criterios de geopedología, altitud y zonificación hidrográfica. Las grandes áreas hídricas como Caribe, Magdalena-Cauca, Orinoquía, Amazonia y Pacífico hacen parte de esta zonificación.

Para hacer posible esta tarea fue necesario estructurar una base de datos organizada en el software Access®, que permitiera realizar consultas de múltiples variables, es decir, se reclasificaron polígonos, asignándoles el nombre adecuado del bioma que cumpliera los criterios de las características biofísicas definidas. De acuerdo con esto, se obtuvieron 32 biomas, dentro de los tres grandes biomas, los cuales se presentan en los resultados del presente documento.

Una vez definidos, se compararon con los mapas de biomas de Etter (1998) y del IAvH (2004) para definir la similitud o coherencia de los biomas determinados, y se hicieron las correcciones pertinentes. También se establecieron los biomas azonales, reeditados manualmente con el apoyo de la literatura existente sobre la presencia de estos biomas en algunas regiones.

Finalmente, se adicionó la información de biomas y grandes biomas a la tabla de atributos de las unidades síntesis, mediante la función *join spatial*, que permite unir los atributos de una tabla a los de otra, utilizando los identificadores de los polígonos (que se han conservado durante el proceso) como punto de unión.

Clima: es el estado medio de los elementos meteorológicos de una localidad en un período largo. El clima de una localidad es determinado por los factores climatológicos: latitud, longitud, altitud, orografía y continentalidad (IDEAM, 2008).

Los efectos derivados de la latitud, la posición continental y la altitud, junto con otros factores meteorológicos, determinan regiones ecológicas que pueden ser usadas para determinar límites de ecosistemas en macro y mesoescalas (IAvH, 2006).

Las unidades climáticas son las condiciones específicas que se suceden en una serie altitudinal o latitudinal. Cada unidad climática posee unas formaciones determinadas y comunidades vegetales: los pisos de vegetación (Rivas-Martínez, 2008).

En Colombia se han propuesto diferentes caracterizaciones climáticas que utilizan clasificaciones reconocidas en el mundo, como Köeppen, Thornthwaite, Caldas, Lang, Martone y Holdridge. En general, todas estas clasificaciones están basadas en el comportamiento medio de parámetros como la precipitación y la temperatura, principalmente.

Caldas consideró únicamente la variación de la temperatura con la altitud (pisos térmicos) y su aplicabilidad es exclusiva para el trópico americano. Esta clasificación es la más conocida por el usuario común en Colombia, pero es incompleta porque sólo considera el factor térmico, por este motivo, el modelo se integra al de Lang (Schauvelberger, 1962).

Según el IDEAM (2008), la temperatura es una magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas en un cuerpo físico. Con respecto al clima, se refiere a la medida del estado térmico del aire con respecto a la habilidad de comunicar calor a su alrededor. También se considera como la cantidad de calor o energía térmica disponible en el aire para interactuar con el medio ambiente en una posición geográfica específica.

La precipitación se define como un fenómeno atmosférico que consiste en una precipitación acuosa en forma de gotas líquidas, cuyo diámetro está comprendido entre 0,5 y 7 mm, y que caen a una velocidad del orden de los 3 m/s (IDEAM, 2008).

De acuerdo con el Instituto de Biodiversidad de Costa Rica, INBIO, las provincias de humedad son aquellas áreas geográficas con ámbitos anuales definidos de pre-

cipitación y demanda evapotranspirativa (Maya *et al.*, 1993). Se distinguen las siguientes provincias: desértica, árida, semiárida, seca, subhúmeda seca, subhúmeda, húmeda, muy húmeda, pluvial e hiperpluvial.

Para Colombia, y en particular para los Andes, la precipitación presenta una alta variación espacial, fuertemente afectada por la zona de convergencia intertropical y las condiciones geográficas locales, en especial el relieve. La información meteorológica está muy localizada, lo que dificulta la predicción de un modelo climático en áreas donde no existe un número suficiente de estaciones (IAvH, 2006).

Para la elaboración de este mapa, el IDEAM diseñó un método simple, replicable y de fácil implementación, mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG). El mapa de clima resulta de la intersección de los mapas fuente de temperatura y precipitación media anual. Este método parte de unos supuestos, que deben ser tenidos en cuenta para la valoración objetiva y lectura correcta del mapa, de esta forma también se entenderá correctamente la caracterización climática de los biomas.

Los elementos más relevantes para el mapa de caracterización climática fueron la temperatura y la precipitación. Por esta razón, otros elementos del clima como la dirección y velocidad del viento, humedades relativas y radiación, entre otros, no fueron considerados en el análisis.

El Mapa de zonificación climática, así como sus mapas fuente, fueron consecuencia de un análisis climático (promedio del estado de la atmósfera en un período extenso), por lo que las variaciones temporales de períodos cortos no necesariamente se verán reflejadas en el resultado.

La variable precipitación no es un campo continuo, debido a la heterogeneidad de factores que la producen y la alta variación espacial en su distribución. Sin embargo, para lograr una aproximación al comportamiento del campo, se asumieron promedios validados mediante observaciones de períodos largos, los cuales omiten comportamientos extremos de los eventos lluviosos.

Geomorfología: etimológicamente, la palabra geomorfología viene de tres raíces griegas: *geos* (tierra), *morphe* (forma) y *logos* (tratado), o sea, es el estudio de las formas de la superficie terrestre.

Según Villota (2005), la geomorfología tiene por objeto:

1. La descripción de las formas del terreno.
2. La explicación de su génesis, es decir, de su origen y evolución a través del tiempo geológico.
3. La definición de la naturaleza y distribución de los materiales que constituyen las geoformas.
4. La clasificación de los paisajes, con base en su morfología, origen, edad y composición, principalmente.
5. La explicación y descripción de los agentes y procesos geomorfológicos modeladores.

Suelo: es un cuerpo natural constituido por materiales minerales y orgánicos, que cubre la mayor parte de la superficie continental, contiene organismos vivos, soporta vegetación en la superficie y ha sido modificado por actividades humanas (USDA, 1996, citado por Villamizar *et al.*, 2004).

La planeación de las tierras y su manejo racional se fundamenta en el conocimiento de las características y propiedades de los suelos. La forma más apropiada de conocerlas son los levantamientos edafológicos, que además aportan información sobre el origen de los suelos, sus distribución geográfica y dan posibilidades de predecir su comportamiento bajo diferentes usos o sistemas de manejo (Elbersen, 1986 y Cortés y Malagón, 1984, citados por Villamizar *et al.*, 2004).

Cobertura de la tierra: se define como la manifestación de diferentes variables ambientales y socio-culturales que representan una región (Rodríguez N. *et al.*, 2006). También se considera como un todo o alguna parte de algunos atributos de la tierra que ocupan una porción de superficie, ya que están localizados sobre ésta (Gámez, 1992).

Para el Mapa nacional de ecosistemas se procesó la información sobre cobertura de la tierra con sus diferentes clases, sin tener en cuenta el tipo de uso por parte del hombre, y se considera como la vegetación natural, o transformada por el hombre, que cubre los territorios dándole características únicas para generar ecosistemas.

El monitoreo y valoración de cobertura de la tierra es muy importante en el manejo natural de los recursos, dado que ofrece información acerca de los niveles de degradación de las zonas boscosas, tasa de urbanización, intensidad de actividades agrícolas y otros cambios inducidos por el hombre.

Existen regiones donde el paisaje es complejo y heterogéneo y las técnicas de clasificación utilizando herramientas SIG son cruciales para generar un mapa de cobertura preciso, y de relativo bajo costo (replicable y repetible). De esta forma, la clasificación de cobertura de la tierra provee información útil para mapear la vegetación y los diferentes tipos de ecosistemas, estos mapas pueden usarse para generar modelos de pérdida de suelo, ciclos hidrológicos y flujo de carbono, entre otros (Yüksel *et al.*, 2008).

Para la caracterización de coberturas de la tierra a escala nacional, se mantuvo su consistencia con el segundo nivel de la leyenda generada por el proyecto *Mapa de cobertura de la tierra, cuenca Magdalena-Cauca. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000* (IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA, 2008).

La metodología europea fue ajustada a las condiciones propias de nuestro territorio, y tuvo en cuenta el acuerdo interinstitucional sobre la leyenda, en cuanto a categorías y clases. A partir de la leyenda, se procesaron las imágenes satelitales (Landsat TM y ETM+), cuyas fechas de toma son cercanas al 2001, para cada una de las regiones en las que se subdividió el territorio nacional para este proceso. Finalmente, se integró un mapa nacional, que se tomó como fuente para generar las unidades de ecosistemas.

Los resultados de cobertura de la tierra se lograron gracias al aporte de los equipos técnicos de los seis institutos, y a la estrategia empleada para alcanzar acuerdos sobre la base de las discusiones y los consensos que se dieron en los espacios de trabajo. La experiencia que los institutos han acumulado en este tema y el conocimiento de los aspectos relacionados con las diferentes regiones de Colombia, se pusieron a disposición de este proceso, esto hizo posible que, en menos de un año, el país contara con los resultados que expone el Mapa de ecosistemas.

Dentro del contexto, este proyecto se denominó capa de unidades síntesis a la integración vertical o superposición de las tres capas temáticas fundamentales: cobertura de la tierra, geopedología y zonificación climática. Esta integración estuvo a cargo del IDEAM, con el apoyo técnico de los demás institutos.

Sobre la cartografía de ecosistemas

Un mapa es una abstracción de la realidad, que se realiza mediante un proceso de comprensión, integración, análisis y síntesis de información temática. La cartografía ecológica se basa en la proyección en un espacio geográfico del sistema de relaciones ecológicas entre los componentes de un territorio (Martín de Agar *et ál.*, 1995 en de Pablo *et ál.*, 1999). Por lo tanto, la cartografía ecológica en la planificación ambiental debe proporcionar información sobre las características ecológicas del territorio. Esta información permite optimizar su uso, de acuerdo con sus potencialidades y limitaciones, que son resultado de la estructura y dinámica de sus ecosistemas, además permite prever, con mayor o menor incertidumbre, los cambios del mismo, frente a diferentes actuaciones (González B., 1982).



Selva, Augusto Mazorra

Para cartografiar ecosistemas es necesario tener en cuenta que son sistemas, es decir, conjuntos de elementos trabados por conjuntos de interrelaciones; de manera que los cambios en uno de los elementos o en sus interacciones afecta a los demás en mayor o menor medida.

Las características ecológicas de un territorio son, especialmente, resultado de esas interacciones. Por ello, son difíciles de percibir o reconocer directamente, ya que lo que se observa *in situ* son los elementos y no las interacciones. El reconocimiento y comprensión de las características de los ecosistemas requiere, por tanto, de un paso previo, que permita reconocer dichas interacciones y cartografiarlas, resaltando las más relevantes y los elementos que participan en éstas (de Pablo *et ál.*, 1999).

La mapificación de las formas o cartografía, es una fase crucial en el desarrollo de cualquier clasificación ecológica. El concepto de clasificación es simplemente un concepto hasta que no es corroborado y comprobado en campo.

La correspondencia transcontinental entre patrones geográficos de vegetación y clima es una de las observaciones más antiguas en ecología de plantas, y forma la base más fuerte de los esquemas de clasificación empírica que han sido usados para predecir el tipo de vegetación fisionómica en general, como formaciones de plantas o biomas.

Los esquemas más conocidos son el de Köppen (1936) y el de Holdridge (1947). El modelo de Köppen fue un intento de clasificación de climas, aunque estos bordes fueron cambiados para coincidir aproximadamente con los bordes de vegetación, y son expresados en términos de aspectos de clima (estacionalidad, en particular) lo que es relevante para las plantas.

El modelo de Holdridge tiene la intención de relacionar la vegetación natural potencial con el clima, aunque estos bordes son meramente una disección regular de un espacio climático definido por dos variables: precipitación anual y la variabilidad térmica.

El modelo de Köppen fue mejorado por Kukzbach (1990) y el de Holdridge, por K. C. Prentice (1990).

Estos modelos deben su popularidad a su fácil aplicación en evaluación de los efectos del cambio climático sobre la vegetación natural potencial a escala global (Prentice C. *et al.*, 2007).

El mapeo de los ecosistemas, ha estado asociado en muchos ámbitos al mapeo de la vegetación, ya que la cobertura vegetal y las plantas son los elementos más conspicuos y de más fácil clasificación en una unidad de ecosistemas o unidad ecológica (Meffe & Carroll, 1984), y en muchos contextos un mapa de vegetación puede ser equivalente a un mapa de ecosistemas.

Pese a lo anterior, existe un gran desacuerdo acerca de cuál es la forma correcta de delimitar y qué criterio de clasificación debe usarse para cartografiar ecosistemas, debido a que en la naturaleza los fenómenos son continuos y la delimitación es una actividad que el hombre necesita como un prerrequisito para el mapeo, análisis y manejo de los recursos naturales (Bailey, 1996).

De otra parte, los adelantos tecnológicos y la incorporación de herramientas de sensores remotos y sistemas de información geográfica, para la evaluación y delimitación de los recursos naturales, han cobrado cada día mayor importancia (Meidinger *et al.*, 2000; Sharik *et al.*, 2000).

Mediante su uso, es posible delimitar áreas con condiciones uniformes de los componentes de un territorio, como vegetación, pendiente, clima, suelos o vegetación, en polígonos que pueden considerarse como ecosistemas, donde ocurren patrones de distribución, estructura y procesos de distribución de especies o comunidades que interactúan en el espacio en varias escalas.

En el pasado se han desarrollado modelos cartográficos basados en estudios ecológicos de la vegetación, mapas de biomas sustentados en criterios biogeográficos, mapas de potencial vegetacional cimentados en el conocimiento local y criterio de temperatura, así como zonas de vida concebidos con datos de temperatura.

Desde hace muy poco tiempo se ha generado una tendencia hacia el desarrollo de mapas ecológicos que reúnan la información científica la información educacional y la aplicada, la compilación de esta cla-

se de mapas está basada exclusivamente en modernas tecnologías de mapeo y nuevas percepciones, tanto demostrativas como cualitativas de una nueva percepción del ambiente (Cesnulecicius *et al.*, 2008).

Los ecosistemas continentales del Mapa nacional se definieron mediante la unión espacial (*join spatial*) de la capa de unidades síntesis y el Mapa de biomas. Así, se estableció una correlación entre las categorías de cobertura de la tierra y bioma. Un ecosistema contiene el nombre de la unidad de cobertura más el nombre del bioma al cual pertenece; por ejemplo, bosques naturales del zonobioma seco tropical del Caribe o bosques naturales del zonobioma húmedo tropical del Pacífico. Esta convención se adoptó en todos, excepto en los ecosistemas de manglar (bosques naturales en halobioma Pacífico y Caribe) y páramo (herbazales en orobioma alto de los Andes), a los cuales se les asignaron directamente estos nombres por ser ecosistemas reconocidos de esta manera.

Logros

El principal logro del proyecto del Mapa nacional de ecosistemas fue reunir los aportes técnicos e intelectuales de grupos interdisciplinarios de distintas entidades. Esto se destaca como uno de los objetivos que persigue la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales, ICDE, la cual promueve la armonización en la producción de información geográfica.

De hecho, estos resultados son ejemplo de la operación sincronizada de diferentes instituciones, que sumaron esfuerzos para garantizar un mismo resultado de importancia nacional. Tanto los mapas, leyenda y memorias, como los servicios geográficos en línea están disponibles en http://www.icde.org.co/web/guest/igac_ecosistemas, y www.siac.gov.co

Otro objetivo alcanzado fue representar los ecosistemas continentales y los marinos en un mismo mapa, hecho pocas veces visto en experiencias similares a nivel internacional.

El Mapa nacional de ecosistemas constituye un avance y aporta elementos fundamentales para la constitución del Programa Nacional de Monitoreo y Seguimiento

de los ecosistemas, en cabeza del MAVDT, pues dispone insumos a los compromisos internacionales que ha establecido nuestro país y fortalece sinergias interinstitucionales como:

- Informe nacional sobre el estado del ambiente y recursos naturales.
- Plan Estratégico Nacional de Investigación Ambiental, PENIA.
- Mapa nacional de coberturas de la tierra, 1:100.000.
- Mapa de conflictos de uso del territorio, 1:100.000.
- Inventario Forestal Nacional.
- Inventario Nacional de Biodiversidad.
- Banco Nacional de Imágenes.
- Identificación de áreas prioritarias y objetos de conservación de la biodiversidad.

Presente y futuro

Desde su publicación, el Mapa nacional de ecosistemas ha sido insumo fundamental para proyectos importantes como:

- Mapa de ecosistemas de la CAN, metodología para el análisis de las dinámicas de cambio de cobertura en la Comunidad Andina, SGCAN.
- Mapa regional de los ecosistemas amazónicos de los países miembros de la CAN, la SGCAN y el Sinchi.
- Mapa de riesgos sobre la biodiversidad amazónica, OTCA.
- Identificación de prioridades de conservación para el Sistema nacional de Áreas Protegidas, UAESPNN.

- Diseño metodológico para el Inventario Nacional Forestal, IDEAM.
- Identificación de zonas aptas para el cultivo de palma de aceite. Ministerio de Agricultura, MAVDT, IDEAM, IGAC, IAvH, FEDEPALMA, CENIPALMA, WWF.
- Identificación de áreas significativas para la biodiversidad marina en el talúd y plataforma continental del Caribe, ANH, Invemar.
- Estudios de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo de la cobertura vegetal a incendios forestales, MAVDT, IDEAM, CONIF.
- Formulación del plan de desarrollo de la Sierra Nevada de Santa Marta, Prosierra.
- Estudio Regional del Agua, departamento de Cundinamarca, Universidad Central.
- Ordenación Ambiental del Río Atabapo, CDA.
- Plan de manejo para los ecosistemas de manglares y humedales del Caribe, Corpouraba.
- Plan de administración de la Biodiversidad 2007-2008, Corponariño.
- Ordenación Forestal departamental, Corponariño.
- Evaluación Interdimensional de los daños ambientales ocasionados por el cultivo de palma aceitera y la ganadería extensiva en Carmen de Darién (Chocó), Riosucio (Chocó) y Mutatá (Antioquia), IAP, MAVDT, Codechoco.
- En adelante la misión es apoyar la generación de mapas de ecosistemas a escala regional, liderados por las Corporaciones Autónomas Regionales, con el acompañamiento del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el comité técnico del Mapa nacional. Estos deben ser a escala 1:100.000 y mantener consistencia conceptual y técnica con el ejercicio 1:500.0000.



Iguana, Julio César Blanco

Referencias

- ARMENTERAS, D.; RUDAS, G.; RODRÍGUEZ, N.; SUA, S & ROMERO, M. (2006). Patterns and Causes of Deforestation in Colombian Amazon. *Ecological Indicators* Vol. 6: 355-368.
- BAILEY, R. G. (1996). *Ecosystem Geography*. USA: Springer Verlag.
- BARTOLOMÉ E.; BELWARD, A.S.; ACHARD, F. (2002). GLC 2000-Global land Cover mapping for the year 2000-Project status November 2002, EUR 20524. In: *Publication of the European Commission*, JRC, Ispra.
- CASTAÑO, A. M. et ál., (2000). *Diseño de bases de datos relacionales*. México D. F.: Alfaomega.
- CESNULECIUS, A. et ál., (2008). Ecological Maps of Lithuania: Subject, Cartographical Methods, Perspectives. *Geografija*, Vol. 44, No.1 pp. 38-44.
- CUATRECASAS, J. (1958). Aspectos de la vegetación natural en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas*, Vol. 10, Núm. 40, pp. 221-264.
- CHAPMAN T. M. (1917). Distribution of Bird Life in Colombia. *Bull. Amer. Mus. Nat. His.* Vol. XXXVI.
- ELMASRI, R.; y NAVATHE, S. (2002). *Sistemas de bases de datos. Conceptos fundamentales*. 2ª Ed. Addison-Wesley Iberoamericana.
- ESLAVA, R.; JESÚS, A.; LÓPEZ, G. V. y OLAYA, G. (1986). Los climas de Colombia (Sistema Caldas-Lang). *Revista Atmósfera*, Núm. 7, pp. 41-78.
- ESPINAL, L. S. y MONTENEGRO, E. (1963). *Formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico*. Bogotá: IGAC.
- ETTER, A. (1998). Mapa general de ecosistemas de Colombia. (1998). En: Chaves, M. E. y Arango, N. (Eds.). *Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad-Colombia. Tomo I. Causas de pérdida de la biodiversidad*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, PNUMA y Ministerio del Medio Ambiente.
- EEA, EUROPEAN COMMISSION, EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2002). Corine land cover update 2000: Technical guidelines. *Technical report*. Vol. 89, p. 56.
- ETTER, A.; FANDIÑO, M. y VAN WYNGEARDEN, V. (1993). *Análisis general de representatividad y transformación de los ecosistemas de la región andina en Colombia*, Convenio IDEADE-Universidad Javeriana e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Proyecto GEF-Andes "Conservación y uso sostenible de la biodiversidad en los Andes colombianos", p. 39.
- ETTER, A.; McALPINE; & POSSINGHAM H. (2007). A Historical Analysis of the Spatial and Temporal Drivers of Landscape Change in Colombia since 1500. *Annals of the American Association of Geographers* (en prensa).
- FANDIÑO, M.; y VAN WYNGEARDEN, W. (2005). *Prioridades de conservación biológica para Colombia*. Bogotá: Grupo Arco, Parques Nacionales Naturales. (Incluye mapa plegable a colores de grupos de ecosistemas de Colombia, 100 x 75 cm).
- FRANCO, L. y GUZMÁN, A. (2005). *Aproximación a la estructura y composición de las comunidades vegetales asociadas al sistema palustre de la laguna de Fúquene*. Fundación Humedales, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- GALEANO, G. (1992). Patrones de distribución de las palmas de Colombia, *Bulletin Institute french Études Andines*, Vol 21, Núm. 2, pp. 599-607.
- GÁMEZ, E. (1992). *Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de imágenes*. IGAC.
- GÓMEZ-MARTÍNEZ, J. L.; y SARMIENTO, F. O. (2001). *Diccionario de ecología: paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica*. Ediciones Abya-Yala.
- GONZÁLEZ, F. (1982). *Análisis ecosistémico de los recursos naturales*. Opiniones. Fascículos sobre el medio ambiente. Serie recursos naturales. CIFCA: Madrid.
- HERNÁNDEZ, J.; HURTADO, G., A.; ORTIZ, R. y WALSBURGER, T. (1992). Unidades biogeográficas de Colombia. En: Halffter, G. (Comp.). *La diversidad biológica de Iberoamérica*. Vol I. Acta Zoológica Mexicana, Nueva Serie, Volumen Especial. pp. 105-151. (incluye mapa escala 1:3.900.000).
- HERNÁNDEZ, J y SÁNCHEZ, H. (1992). Biomas terrestres de Colombia. En: Halffter, G. (Comp.). *La diversidad biológica de Iberoamérica*. Vol. I. Acta Zoológica Mexicana, Nueva Serie, Volumen Especial. pp. 153-173.
- HOLDRIDGE, L. (1967). *Life zone ecology*. San José de Costa Rica: Trop. Sci. Center.
- IAVH, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2004). *Mapa de ecosistemas de los Andes colombianos*. 1:1.000.000. Bogotá D. C.
- IDEAM, INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. (1996). Memoria técnica mapa de coberturas vegetales uso y ocupación del territorio. 1:1.500.000. Bogotá.
- (2008). Atlas climatológico de Colombia. Disponible en <http://www.ideam.gov.co/files/atlas/Contenido.htm>
- IDEAM, INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES; IGAC, INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI; y CORMAGDALENA. (2008). *Mapa de cobertura de la tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología* CORINE Land Cover Adaptada para Colombia a escala 1:100.000. IDEAM, IGAC y Corpomagdalena: Bogotá.
- IDEAM, INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES; IGAC, INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI; IAVH, INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT, INVEMAR, SINCHI, INSTITUTO AMAZÓNICO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS; e IAP, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (2007). *Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia*. Bogotá: IDEAM, IGAC,

- IAVH, IIAP, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés y Sinchi.
- IGAC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1989). Lineamientos teóricos sobre el análisis del paisaje. *Revista Colombia Geográfica*, Vol. XV, Núm. 1, p. 10.
- (1998). *Principios básicos de cartografía temática*, Bogotá D. C.
- (2002). *Diccionario de términos*. Subdirección de Agrología.
- (2006). *Cartografía básica oficial*, 1:100.000.
- IGAC, INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI; INDERENA, INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES; y CONIF, CORPORACIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y FOMENTO FORESTAL. (1984). *Mapa de bosques de Colombia. Memoria explicativa*. Bogotá.
- MAFFE, G. & CARROLL, C. (1994). *Principles of Conservation Biology*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates Inc.
- MÁRQUEZ, G. (2001). De la abundancia a la escasez: la transformación de ecosistemas en Colombia. En: *Naturaleza en disputa, historia y ambiente. Ensayos de historia ambiental de Colombia, 1850-1995*. Bogotá D. C. Germán Palacios (Ed.). Bogotá: Unibiblos, pp. 321-480.
- MAYA, J (1993). *Clasificación climática en la región Andina mediante la utilización de los SIG*. Simposio Latinoamericano de Percepción Remota 6: 1993 oct. 3-8 Cartagena, pp. 369-383.
- MEIDINGER, D; ENNS, B.; BANNER, A. & JONES, C. (2000). EcoGen a model for predictive ecosystem mapping. In: *Proceeding, from science to management and back a science forum for southern interior ecosystems of British Columbia*. C. Hollstedt, K. Sutherland, and T. Innes (Eds). Kamloops, B. C., Canada: Southern Interior Forest Extension and Research Partnership. pp. 45-70.
- PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA, FACULTAD DE ESTUDIOS AMBIENTALES Y RURALES. (2000). *Acompañamiento a procesos de diagnóstico comunitario y formulación de alternativas de desarrollo para el valle del río Cimitarra*. p. 135. (Documento en medio magnético).
- PRENTICE, C *et al.*, (1992). A Global Biome Model Base on Plant Physiology and Dominance, Soil Properties and Climate. *Journal of Biogeography*, Vol. 19, pp.117-134.
- RODRÍGUEZ, N.; ARMENTERAS, D.; MORALES, Mónica; & ROMERO, M. (2004). *Ecosistemas de los Andes colombianos*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- SECRETARÍA DEL CONVENIO SOBRE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA (2004). *Enfoque por ecosistemas*. (Directrices del CDB).
- SHARIK, T. L. *et al.*, (2000). Population, Distribution, and Habitat Study for threatened, Endangered, and Sensitive Species of Plants and Animals Withing the Hill Air Force Base Restricted Air Space and Associated Public and Privae Lands. USU-BML Agreement No. D910-A3-0210, USA.
- SIERRA R. (Ed.). (1999). *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental*. Proyecto INEFAN-GEF-BIRD y Ecociencia. Quito, Ecuador.
- UNESCO, UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. (1973). Clasificación internacional y cartografía de la vegetación. *Ecology and Conservation*. Vol. 6, p. 93.
- VERGARA Y VELASCA, F. J. (1901). Reimpresión en 1974. *Nueva geografía de Colombia escrita por regiones naturales*. Publicaciones del Banco de la República, archivo de la economía nacional. Tomo III. 447-456. Bogotá: Imprenta de vapor.
- VILLAMIZAR, G.; y CALDERÓN, Y. (2004). *Desarrollo metodológico y estándares de la zonificación geomecánica teniendo en cuenta la variable edáfica*. Volumen IV. Proyecto compilación y levantamiento de la información geomecánica. Bogotá: Instituto Colombiano de Geología y Minería.
- VREUGDENHIL, D.; MEERMAN, J.; MEYRAT, A.; GÓMEZ, L. D. y GRAHAM, J. (2002). *Map of the Ecosystems of Central America*. Final Report. World Bank, Washington. D. C.
- WALTER, H. (1985). *Vegetation of the Earth and Ecological Systems of the Geobiosphere*. (3rd Ed.). New York: Springer-Verlag.



Piedemonte putumayense, Mario López