

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Conformación del mapa de ecosistemas del Valle del Cauca empleando sistemas de información geográfica*

[Conformation of ecosystems map of Valle del Cauca department using geographic information systems]

ARIANA MABETH MONTOYA-COLONIA¹

RECIBO: 27.01.2010 - AJUSTE: 18.02.2010 - AJUSTE: 23.04.2010

APROBACIÓN: 15.05.2010

Resumen

Este artículo presenta una síntesis de la conformación del Mapa de Ecosistemas del departamento del Valle del Cauca a escala 1:100.000. El mapa de ecosistemas del Valle del Cauca surge de una propuesta metodológica desarrollada por los diferentes institutos nacionales que tienen a cargo el estudio y caracterización de los recursos naturales del país. La metodología parte del análisis y evaluación de la información biofísica del territorio que es integrada mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta información incluye suelos, clima y cobertura de tierra, entre otros. En una segunda etapa, se establece un modelo para la evaluación sistemática de la interacción y dominancia de cada una de las variables consideradas. Finalmente se determinan áreas que posean similares características biofísicas

* Modelo para citación:

MONTOYA COLONIA, Ariana Mabeth (2010). Conformación del mapa de ecosistemas del Valle del Cauca empleando Sistemas de Información Geográfica. En: Ventana Informática. No. 22 (ene-jun., 2010). Manizales (Colombia): Universidad de Manizales. p. 11-38. ISSN: 0123-9678

¹ Geóloga; Especialista en Sistemas de Información Geográfica.

Grupo de Sistemas de Información Ambiental, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Cali, Valle del Cauca, Colombia. Correo electrónico: mabeth360@hotmail.com

que marquen y definan claramente cada uno de los ecosistemas existentes en el territorio.

Parte de la relevancia del mapa de ecosistemas del departamento del Valle del Cauca reside en construir un insumo fundamental para la planeación y gestión de los recursos naturales en la región, misión que debe desarrollar la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) como autoridad ambiental en esta jurisdicción.

Palabras Clave: Ecosistemas, SIG (Sistemas de Información Geográfica), Información biofísica, cartografía digital, análisis espacial.

Abstract

This paper presents a synopsis of the conformation of the Ecosystems Map of Valle del Cauca department at 1:100.000 scale. The Ecosystems Map of Valle del Cauca evolves from a methodological proposal developed by different national institutes in charge of the study and characterization of the natural resources of the country. The methodology starts from the analysis and evaluation of the biophysical information of the territory, which is integrated using Geographic Information Systems (GIS). This information includes soil, climate, and land cover, among others. In a second stage, a model is established to systematically evaluate the interaction and dominance of each of the variables considered. Finally, areas that have similar biophysical characteristic indicating and clearly defining each of the existing ecosystems in the territory are determined.

Part of the Ecosystems Map of Valle del Cauca department, significance relies in being a fundamental input to manage and plan the natural resources in this department. These are responsibilities of the Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), as environmental authority in this jurisdiction.

Keywords: Ecosystems, GIS (Geographic Information Systems), biophysical information, digital mapping, spatial analysis.

Introducción

La ocupación del territorio del departamento del Valle del Cauca ha venido generando un proceso acelerado de demanda de bienes y servicios del medio natural, causando cambios repentinos y fuertes sobre el medio ambiente, razón por la cual la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) en el desarrollo de sus funciones como autoridad ambiental, ha decidido emprender la tarea de adquirir un conocimiento más amplio, detallado y completo del territorio, a fin de contar con los elementos necesarios y apropiados para gestionar correctamente el territorio, permitiendo un buen manejo y aprovechamiento de los recursos naturales. Es en este escenario donde nace la iniciativa de conformar el mapa de ecosistemas para el departamento del Valle del Cauca, por ser la unidad funcional donde interactúan todos y cada uno de los componentes bióticos (flora, fauna), abióticos (clima, suelos, etc.) y antrópicos del territorio.

Actualmente, los datos con que cuenta la CVC para la toma de decisiones frente al tema de conservación de los ecosistemas del Valle del Cauca, se basa en el estudio “Clasificación - GVSAP CVC (1996), Siete ecosistemas para el Valle del Cauca, sistema basado en pisos altitudinales” el cual ha sido desarrollado con criterios metodológicos poco homogéneos y a escala muy general (1:500.000); lo que impide, llegar a detalles específicos necesarios para la implementación de acciones en el territorio, una razón más para desarrollar un trabajo más detallado (1:100.000) que permita una eficiente y eficaz gestión corporativa en el diseño de estrategias que promuevan el desarrollo hacia la sostenibilidad del territorio.

La conformación del *Mapa de Ecosistemas del Valle del Cauca* tiene como objetivos: 1) Oficializar el proceso metodológico para la conformación de los ecosistemas del Valle del Cauca, 2) Ser la fuente oficial de información sobre la cual se tomen las decisiones de planificación y desarrollo en la gestión ambiental del Departamento.

El *Mapa de Ecosistemas del Valle del Cauca* se realizó a escala 1:100.000 y el procedimiento general para su delimitación consistió en la integración de información temática de geopedología, zonificación climática y cobertura del suelo, mediante procesos de análisis espacial, desarrollados a través de sistemas de información geográfica (Software ArcGIS 9.3). La coordinación del desarrollo del *Mapa de Ecosistemas* y el suministro de la información cartográfica temática necesaria para su elaboración, estuvo a cargo del Grupo de Sistemas

de Información Ambiental, SIA, de la Dirección Técnica Ambiental de la CVC.

Entre los productos cartográficos que acompañan el *Mapa de Ecosistemas* se encuentran los mapas temáticos de precipitación, temperatura y zonificación climática, cobertura de la tierra, geopedología y biomas.

Este artículo monográfico, comprende la síntesis del trabajo realizado con el grupo de Sistemas de Información Ambiental (SIA) en la conformación del Mapa de Ecosistemas y presenta, en la primera parte, los antecedentes y conceptos básicos para abordar la cartografía temática requerida para la definición de los ecosistemas. En la segunda, se expone el proceso metodológico empleado en la construcción del mapa, el cual incluye los procesos ejecutados en cada uno de los temas y las fases desarrolladas. Finalmente, en la tercera parte se presenta el resultado final del mapa de ecosistemas.

1. Marco conceptual

1.1 Antecedentes

En las últimas décadas, en el entorno mundial, se han realizado diferentes aproximaciones en el tema de la representación espacial de los ecosistemas. Estas se han desarrollado utilizando criterios bioclimáticos (Holdrige, 1978), fisonómico-ecológicos (UNESCO, 1973), ecofisiológicos (Sierra, 1999) y de cobertura (Bartolomé *et al.*, 2002), sin embargo uno de los procedimientos más utilizados recientemente es el que permite la obtención de unidades tradicionalmente denominadas “ambientales”, a partir de la superposición de mapas temáticos en los que se recoge la variabilidad espacial de los distintos compartimentos que conforman los ecosistemas de un territorio (Gould y Gutiérrez 1994).

En el ámbito colombiano, se han realizado acercamientos importantes en materia de cartografía ecológica como: *Mapa de zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia* (Espinal y Montenegro, 1963), *Mapa de bosques de Colombia* (IGAC *et al.*, 1984), *Unidades biogeográficas de Colombia* (Hernández *et al.*, 1992), *Biomás terrestres de Colombia* (Hernández y Sánchez, 1992) y el *Mapa de cobertura vegetal, uso y ocupación del territorio* (IDEAM, 1996), sin embargo, solo hasta el año 1998 es publicado el primer *Mapa general de ecosistemas de Colombia* por Andrés Etter, fue elaborado a una escala 1:2'000.000 basado en características biofísicas homogéneas de clima, geomorfología y cobertura; en cuanto a la cartografía de ecosistemas a nivel de región,

se destacan los trabajos de Rodríguez, *et al.* (2004) *Ecosistemas de los Andes colombianos* y Romero *et al.* (2004) *Ecosistemas de la cuenca del Orinoco colombiano*, ambos trabajos fueron publicados en la misma escala (1:1'000.000) e integran los criterios bioclimáticos (Holdridge, 1978), de biomas (Hernández y Sánchez, 1992) y de cobertura (IDEAM, 1996), además siguen el criterio de clasificación de ecosistemas establecido por Hernández y Sánchez en 1992 (Biomas terrestres de Colombia), el cual corresponde a una jerarquización de: tipo general de bioma, bioma y ecosistema.

Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, realizado por IDEAM *et al* (2007), se convierte en el trabajo nacional más reciente y complejo, ya que es el primero en integrar el territorio continental y marino de Colombia bajo un mismo sistema de coordenadas cartográficas y a escala 1:500.000. En su desarrollo participaron instituciones nacionales como IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi y IIAP. En este estudio la delimitación de ecosistemas partió de la integración de la información de geopedología, zonificación climática y coberturas de la tierra, mediante procesos de análisis espacial y sistemas de información geográfica. Por su parte, la distribución de los ecosistemas marinos fue generada a partir de escalas detalladas y representadas junto a paisajes del fondo marino que se obtuvieron como resultado de una serie de análisis de información geomorfológica, oceanográfica y climática.

De manera particular, para el departamento del Valle del Cauca, se han realizado los estudios: *Siete ecosistemas para el Valle del Cauca* (GVSAF CVC, 1996) a escala 1:500.000, sistema basado en pisos altitudinales (Cuatrecasas, 1958), el cual caracteriza los diferentes tipos de hábitat en jurisdicción de la CVC a partir de los cambios de vegetación a medida que se asciende o desciende en el rango altitudinal y *Análisis preliminar de representatividad ecosistémica e identificación de vacíos de conservación y alternativas para el SIRAP del Valle del Cauca* en un convenio entre el IAvH y la CVC en el año 2002 a escala: 1:100.000, el cual se basó en Etter (1998). Mediante la utilización de cobertura de mayor detalle, se integraron componentes bióticos (cobertura vegetal) y abióticos (clima, unidades de paisaje, geología, geomorfología, suelos) diferenciando ecosistemas naturales y ecosistemas transformados, con un total de sesenta y un (61) ecosistemas para el departamento. Cabe resaltar que en el trabajo de Etter (1998) e IDEAM *et al.* (2007) se reconocen, para el Valle del Cauca, 20 y 54 ecosistemas respectivamente siguiendo las metodologías anteriormente descritas.

1.2 Localización

Este artículo se encuentra referido al departamento del Valle del Cauca, el cual se encuentra localizado entre los 03°04' y los 05°02' de latitud norte y entre los 74°27' y los 72°42' de longitud oeste, al sur occidente de Colombia. Limita al Norte con los departamentos de Chocó, Risaralda y Quindío; al Sur con el departamento del Cauca, al Este con los departamentos de Quindío y Tolima y al oeste con el Océano Pacífico. Su superficie es de 20.629.3 km². lo que equivale al 1.9% del territorio nacional.

El departamento del Valle del Cauca, está constituido por dos grandes vertientes hidrográficas, muy diferenciadas entre sí: la vertiente del Océano Pacífico y la del río Cauca. La condición geográfica de poseer vertientes hacia dos regiones diferentes, sustentar un relieve abrupto con dos sistemas montañosos muy marcados (cordilleras occidental y central) con altitudes que van desde el nivel del mar hasta más de 4.000 msnm y contar con diferentes grados de precipitación que varían entre los 900 milímetros anuales en algunos valles intra-montanos y los 13.000 milímetros en la vertiente pacífica, generan en este espacio relativamente pequeño dentro del contexto nacional una variada gama de climas que van desde los pluviales cercanos a la costa pacífica y en algunas zonas montañosas, hasta los muy secos tanto en zonas bajas como altas.

Igualmente esta variación del relieve y su cercanía a la línea ecuatorial (4° latitud norte y 76° longitud oeste) hace que la temperatura para un sitio sea relativamente constante durante todo el año (no se presentan estaciones) y la variación de ésta esté determinada por los pisos altitudinales los cuales tienen un gradiente de aproximadamente de 0,6° C por cada 100 m de altitud para esta latitud; esto tiene como consecuencia regiones con temperaturas mayores a 30° C en la costa del Océano Pacífico, 24°C en el valle geográfico de río Cauca y menores a 6°C en las zonas más altas de las dos cordilleras. Todos estos factores biofísicos dan como resultado una gran variedad de ecosistemas con una alta biodiversidad y con fuertes y complejas interrelaciones.

Por otra parte, el Valle del Cauca es uno de los departamentos con mayor concentración de centros urbanos, 42 municipios en total. Santiago de Cali es su capital. Seis de los municipios conforman un sistema alterno a Cali de ciudades intermedias, entre ellas Buenaventura, principal puerto del país en el Océano Pacífico; estos centros poblados son polos de desarrollo, tanto de comercio como de producción agrícola y pecuaria. De acuerdo al censo nacional del 2.005 el 86% de la población del departamento se concentra en las áreas urbanas. Esta condición ha

generado históricamente una serie de demandas de bienes y servicios del medio natural, que a pesar de ser evidentes, son pocos los datos consolidados que permitan disponer de un diagnóstico adecuado de la situación actual de los ecosistemas.

1.3 Conceptos básicos

Los conceptos presentados en este aparte, hacen referencia a las temáticas consideradas en la conformación del *Mapa de Ecosistemas del Valle del Cauca*, y han sido los adoptados por el grupo de SIA de la CVC, después de haber realizado la revisión de los diferentes trabajos referentes al tema de ecosistemas y establecer los criterios y las condiciones que más se ajustaban a las características físicas y bióticas del departamento del Valle del Cauca.

1.3.1 Cartografía ecológica. López (1999) define a la cartografía ecológica como un procedimiento para identificar, caracterizar y proyectar en un mapa los ecosistemas que se pueden reconocer en un territorio, este tipo de cartografía tiene como objetivo proporcionar información sobre las tramas de relaciones que se dan entre esos elementos a diferentes escalas de detalle lo cual permite diferenciar zonas del espacio en las que predominan distintos sistemas de interacciones o ecosistemas.

1.3.2 Clima. De acuerdo al INM (1992), el clima es el estado medio de los elementos meteorológicos de una localidad considerando un período largo de tiempo. El clima de una localidad viene determinado por los factores climatológicos: latitud, longitud, latitud, orografía y continentalidad.

El componente climático se encuentra definido en función de las propiedades o condiciones térmicas (temperatura) y de humedad promedio (precipitación).

Temperatura: Se define como «la cantidad de calor o energía térmica disponible en el aire para interactuar con el medio ambiente en un posición geográfica específica» (IDEAM, *et al.*, 2007, 21).

Precipitación: «Según el *National Snow and Ice Data Center* (NSIDC) (2006), la precipitación se define como el conjunto de partículas de agua, tanto líquidas como sólidas, que caen desde la atmósfera hacia la superficie terrestre» (IDEAM, *et al.*, 2007, 21). Para el caso particular de este trabajo, el concepto de precipitación debe ser entendido como el promedio multianual ajustado mediante series de tiempo, tomando como unidad de medida el milímetro de agua lluvia (un milímetro de agua lluvia equivale a un litro por metro cuadrado).

1.3.3 Geopedología. El concepto de geopedología, afirma Zink (1981), surge de la unión de dos temáticas como son: la geomorfología (ciencia que estudia las formas del relieve terrestre) y la pedología (ciencia que estudia los suelos), con el fin de describir el suelo como un elemento de tres dimensiones en el paisaje.

1.3.4 Cobertura de la tierra. «Hace referencia al aspecto morfológico y tangible del suelo, comprende todos los aspectos que cubren el suelo, de origen natural o antrópico, que sean observados y permitan ser medidos con fotografías aéreas, imágenes de satélite u otros sensores remotos» (CVC, 2009, 4).

1.3.5 Bioma. El concepto de bioma definido por Walter (1977) corresponde a ambientes grandes y uniformes de la geobiosfera que corresponden a un área homogénea en términos biofísicos, ubicada dentro de una misma formación biogeográfica. De ahí, que un bioma pueda considerarse como un conjunto de ecosistemas terrestres afines por sus rasgos estructurales y funcionales, los cuales se diferencian por sus características vegetales (Walter, 1985 y Hernández y Sánchez, 1992).

De acuerdo a las características de clima, suelo y vegetación, los tipos de biomas se definen así: - *Zonobiomas*: «Son biomas zonales delimitados por unos amplios y peculiares caracteres climáticos, edáficos y de vegetación zonal» (IDEAM, *et al.*, 2007, 33); - *Orobiomas*: Son biomas definidos por la presencia de montañas que cambian el régimen hídrico y forman cinturones o fajas de vegetación de acuerdo con su incremento en altitud y la respectiva disminución de la temperatura (Walter, 1977) y - *Pedobiomas*: Son biomas originados por un característico tipo de suelo, generando condiciones azonales de la vegetación (Sarmiento, 2001); en este caso la vegetación, y los procesos ecológicos en general, están directamente influenciados por las condiciones edáficas e hidrológicas que por las climáticas.

De acuerdo a los factores condicionantes, los *pedobiomas* se clasifican en:

- Litobiomas: lugares con suelo incipiente sobre roca dura.
- Halobiomas: zonas con suelos anegados con influencia salina.
- Helobiomas: lugares con mal drenaje, encharcamiento permanente o con prolongado periodo de inundación.
- Peinobioma: formado bajo diversas condiciones climáticas y elevaciones en las que pueden presentarse afloramientos rocosos donde ocurren procesos de meteorización de las rocas y una lenta formación de suelos que los recubre.

1.3.6 Ecosistema. Para este artículo se acogió la definición del Convenio sobre Diversidad Biológica del término ecosistema como «un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y microorganismos 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» (IAvH, 2003 citado en IDEAM *et al.*, 2007, 36).

2. Proceso metodológico

Para la elaboración del mapa de ecosistemas se trabajó con información cartográfica digital que pudiera ser manipulada e integrada en el Sistema de Información Geográfico (SIG), a fin de cumplir con los requerimientos metodológicos que implica la construcción de un mapa que involucra diversas temáticas. La información cartográfica digital temática fue suministrada por el grupo de SIA de la CVC.

El proceso metodológico que se describe a continuación, corresponde en primer lugar, a la forma como se estructuró la información cartográfica dentro SIG, seguido del tratamiento que se le dio a cada una de las temáticas involucradas en la construcción del mapa, y finalmente, se muestra como resultado del proceso desarrollado para obtener el Mapa de Ecosistemas del Valle del Cauca. La metodología empleada en este trabajo toma como referencia la propuesta metodológica desarrollada por el IDEAM *et al.* (2007) en el trabajo “Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia” y es ajustada de acuerdo a las particularidades del departamento del Valle del Cauca.

2.1 Estructuración de la información

Para obtener como resultado el mapa de ecosistemas se hace necesario la visualización, el almacenamiento, y el análisis de diversa información temática (clima, suelos, cobertura de la tierra, etc). Es por esto que la manera más fácil de gestionar, administrar y manipular dicha información es a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG), para este caso en particular se empleó el software *ArcGIS 9.3*.

Una de las características más importantes del *ArcGIS* es que facilita la creación de una base de datos geográfica propietaria (*Geodatabase*), ésta permite mantener la información almacenada de una manera lógica y ordenada para los procesos de análisis espacial. Atendiendo a esto, para el desarrollo del mapa de ecosistemas se creó una *Personal Geodatabase* en un equipo de trabajo designado por el grupo de SIA de la CVC.

La *Personal Geodatabase* permite almacenar diversos tipos de información (tablas alfanuméricas, información raster, herramientas, relaciones, etc). Sin embargo, los elementos de mayor uso y los empleados en este trabajo son los *Dataset* (Conjunto de Datos) y los *Feature Class* (Capas de información geográfica).

La *Personal Geodatabase* creada en el desarrollo de este trabajo se denominó “Ecosistemas” y se encuentra compuesta por dos *Dataset*, el primero denominado “Fuente” en el cual se almacenaron los *Feature Class* que corresponden a la información temática básica requerida para la construcción del mapa, tal como la temperatura, la precipitación, los suelos, la geomorfología y la cobertura del suelo; el segundo corresponde al de “Resultados” en el cual se encuentran los *Features Class* que surgen de los diferentes análisis espaciales que se realizaron como el de zonificación climática y geopedología y por supuesto el resultado final de ecosistemas. En la Figura 1 se ilustra la estructura de la Personal Geodatabase.

Es de aclarar que los *Dataset* se crean sobre un Sistema de Referencia Espacial para este caso el datum oficial de Colombia MAGNA SIRGAS Colombia origen Oeste y que cada uno de los *Feature Class* tiene su estructura de datos definida (atributos y tipo de datos).

2.2 Información temática

A continuación se presentan los componentes utilizados para la elaboración del mapa de ecosistemas escala 1:100.000; cada uno de ellos

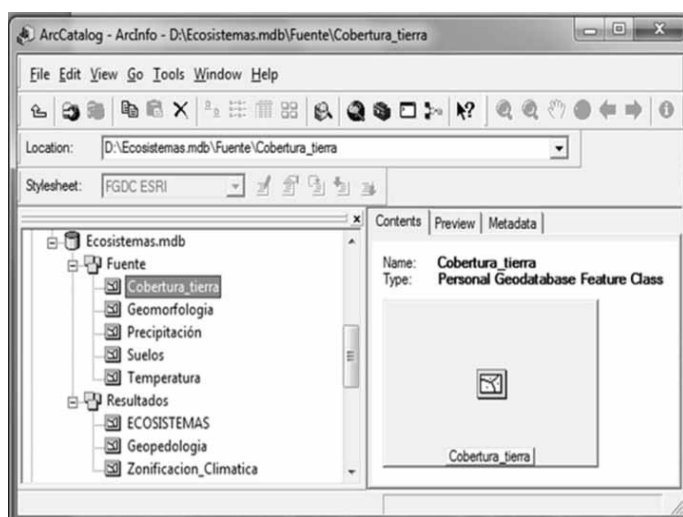


Figura 1. Estructura Personal Geodatabase

está compuesto por entidades espaciales y caracterizados por atributos propios (*Feature Class*).

2.2.1 Zonificación climática

• **Mapa de temperatura.** Como fuente principal para la elaboración del mapa de temperatura se utilizaron los datos medidos por la red de 19 estaciones climatológicas de la CVC (Figura 2), las cuales se encuentran distribuidas ampliamente en el departamento.

La temperatura se modela a partir de isotermas (líneas de igual temperatura, Figura 2), obtenidas desde modelos digitales a los cuales se les aplica ecuaciones generadas con la información de las estaciones climatológicas. Las ecuaciones varían dependiendo de factores como la latitud y la vertiente (Pacífico o Cauca), así: Para la vertiente del río Cauca la temperatura se modela con la siguiente ecuación: $T^{\circ}\text{C} = 30.03 - 0.0062 * \text{elevación}$ y para la vertiente del Pacífico con la ecuación: $T^{\circ}\text{C} = 30.03 - 0.0068 * \text{elevación}$

Una vez se obtienen los resultados de las ecuaciones, se organiza la información de acuerdo a la denominación termal establecida por rangos de temperatura media anual que aparece en la Tabla 1 y se ajusta con el modelo digital del terreno, se obtiene finalmente el mapa de temperatura (Figura 3).

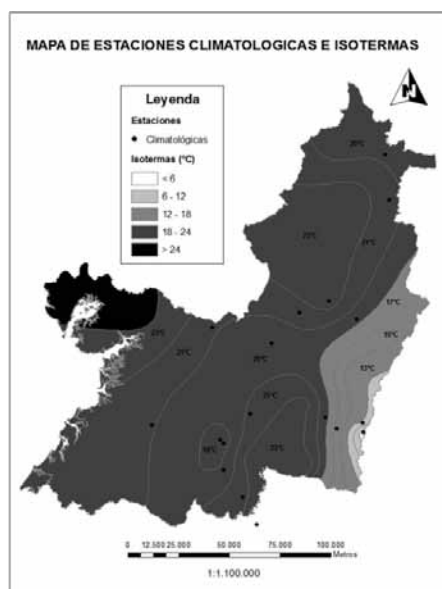


Figura 2. Estaciones climatológicas (CVC) e isotermas calculadas

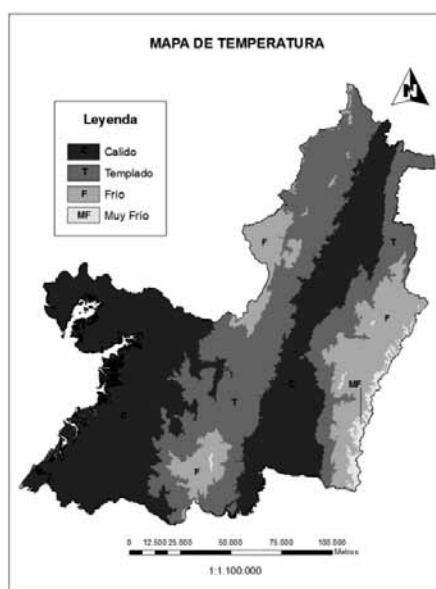


Figura 3. Mapa de Temperatura

Tabla 1. Denominación Termal (IDEAM, et al, 2007, 7)

Denominación Termal	Rangos de Temperatura (°C)
Cálido	Mayor a 24
Templado	Entre 18 y 24
Frío	Entre 12 y 18
Muy Frío	Entre 6 y 12
Extremadamente frío	Menor 6

• **Mapa de precipitación.** Al igual que el mapa de temperatura, los puntos de partida para la elaboración del mapa de precipitación (Figura 5) fueron los valores de las 210 estaciones pluviométricas y 28 pluviográficas de la CVC (Figura 4), los cuales fueron procesados para obtener las isoyetas media anual multianual (Figura 4) mediante la interpolación por el método geoestadístico del *Kriging*², empleando la función *Interpolation* de las herramientas *Spatial Analyst Tools* del *ArcGIS*.

Para la elaboración del mapa de precipitación se tuvo en cuenta la clasificación por rangos de precipitación, así:

Tabla 2. Denominación por Rangos de Precipitación Anual (IDEAM, et al, 2007, 82)

Denominación Precipitación	Rangos de Precipitación Anual (mm/año)
Árido	De 0 a 500
Muy Seco	De 501 a 1.000
Seco	De 1.001 a 2.000
Húmedo	De 2.001 a 3.000
Muy húmedo	De 3.001 a 7.000
Pluvial	Mayor de 7.000

• **Mapa de zonificación climática.** Una vez categorizados los dos elementos meteorológicos (precipitación y temperatura) principales para la clasificación climática, se realizó una intersección espacial entre las dos capas, empleando la función *Intersect* del módulo de herramientas *Analysis Tools* de *ArcGIS*, obteniendo así como resultado el mapa de la Zonificación Climática (Figura 6), en el cual los polígonos relacionan el rango de precipitación con el rango termal. El mapa de zonificación climática se constituye en el componente climático para la definición de los ecosistemas de acuerdo a la metodología propuesta por el IDEAM et al. (2007).

2 Modelo de interpolación geoestadístico que asume la presencia de tendencia en los datos a la hora de estudiar la variación espacial de una variable. Para su aplicación, primero se elimina la tendencia mediante el ajuste de una función polinómica, y se construye el servivariograma sobre los residuales que se supone son aleatorios. Después se combinan los residuales con la tendencia para conseguir las estimaciones deseadas (Moreno, 2007, 887).

2.2.2 Geopedología

La conformación del mapa de geopedología parte de la información del estudio “Levantamiento de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Valle del Cauca” (IGAC-CVC, 2004), a partir del cual se definieron los elementos geomorfológicos y pedológicos (suelos) de mayor relevancia para la definición de los ecosistemas.

Los parámetros para la construcción del mapa de geopedología (Tabla 3), corresponden a los geomorfológicos de paisaje y ambiente morfogenético y a los componentes pedológicos de pendientes y los aspectos taxonómicos dentro de la categoría de orden taxonómico, según la USDA (1998).

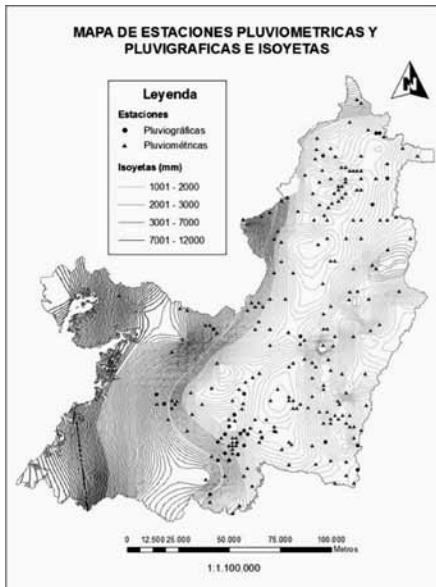


Figura 4. Estaciones pluviográficas y pluviométricas (CVC) e isoyetas

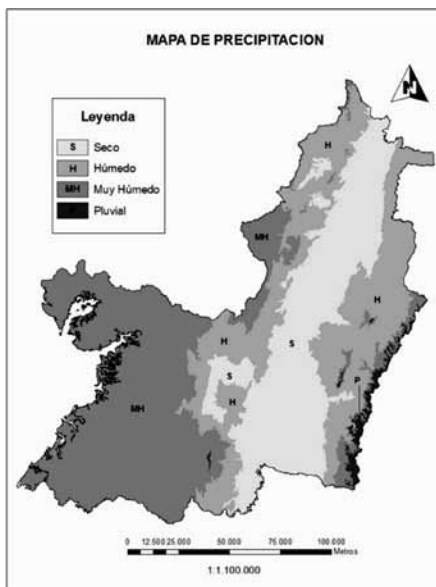


Figura 5. Mapa de Precipitación

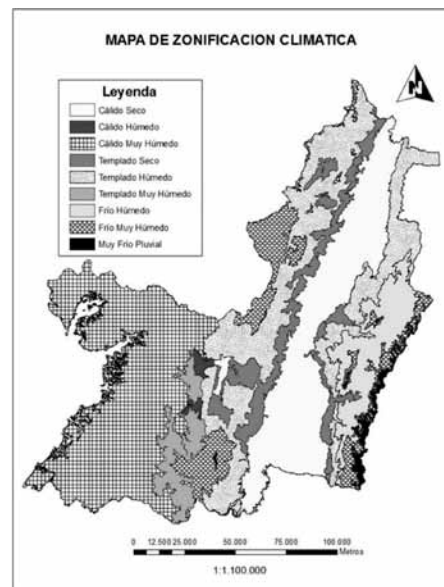


Figura 6. Mapa de Zonificación Climática

El paisaje geomorfológico y ambiente morfogenético se planteó según la metodología propuesta por Alfred Zink (1981), actualmente adoptada por el IGAC. La simbología empleada para definir los componentes geomorfológicos hace referencia al manual de códigos de atributos para levantamientos de suelos y tierras (IGAC, 2000), los cuales fueron estructurados en la capa temática de geomorfología.

Tabla 3. Componentes geomorfológicos (IDEAM, et al, 2007,93)

Paisaje Geomorfológico	Símbolo Paisaje Geomorfológico	Ambiente Morfogenético	Símbolo Ambiente Morfogenético
Montaña	M	Estructural-erosional	S
Piedemonte	P	Glaciático	G
Lomerío	L	Fluvio gravitacional	H
Altiplanicie	A	Coluvio-aluvial	X
Superficie de aplanamiento	S	Aluvial	A
Planicie	Q	Residual (peniplanicie)	R
Valle	V	Fluvio marina	Y
		Eólica	E

Con relación a las características de los suelos, se tuvo en cuenta la caracterización de la pendiente (IGAC-CVC, 2004), la cual corresponde a una agrupación por rangos de pendiente calculada en porcentaje, presentada en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de pendiente por rangos (IGAC-CVC, 2004, 100)

Rango	Definición	Simbología
0-3%	Plano	a
3-7%	Ligeramente inclinado	b
7-12%	Inclinado	c
12-25%	Fuertemente inclinado	d
25-50%	Fuertemente quebrado	e
50-75%	Escarpado	f
>75%	Muy escarpado	g

Como atributo adicional e importante en la caracterización de las unidades del mapa, se utilizó la taxonomía de suelos a nivel de orden atendiendo a los diferentes grados de evolución de estos (Cortés y Malagón, 1984). La definición del orden de los suelos (Tabla 5), juega un papel importante en relación con la posición geomorfológica y la localización geográfica, además permite diferenciar la vegetación

allí presente. La información pedológica fue estructurada en la capa temática de suelos.

Tabla 5. Clasificación para el grado de evolución de las clases de suelos predominantes de Colombia (IDEAM, et al, 2007, 95).

Órdenes (Clases)	Calificación
Oxisoles	Muy alta evolución
Ultisoles, Esposoles, Alfisoles	Alta evolución
Molisoles, Vertisoles y Andisoles	Moderada evolución
Inceptisoles	Baja evolución
Entisoles	Muy baja evolución
Histosoles, Aridisoles	Variada evolución
Gelisol	Variada evolución

• **Mapa de geopedología.** El mapa, presentado en la Figura 7, resulta de la integración de los componentes descritos anteriormente (paisaje, ambiente morfogenético, pendientes, orden de suelo) incluyéndolos como atributos espaciales temáticos, razón por la cual la leyenda del mapa resulta un poco compleja. La integración de los componentes surge de la intersección de las capas temáticas de geomorfología y suelos mediante la función *Intersect* del módulo de herra-

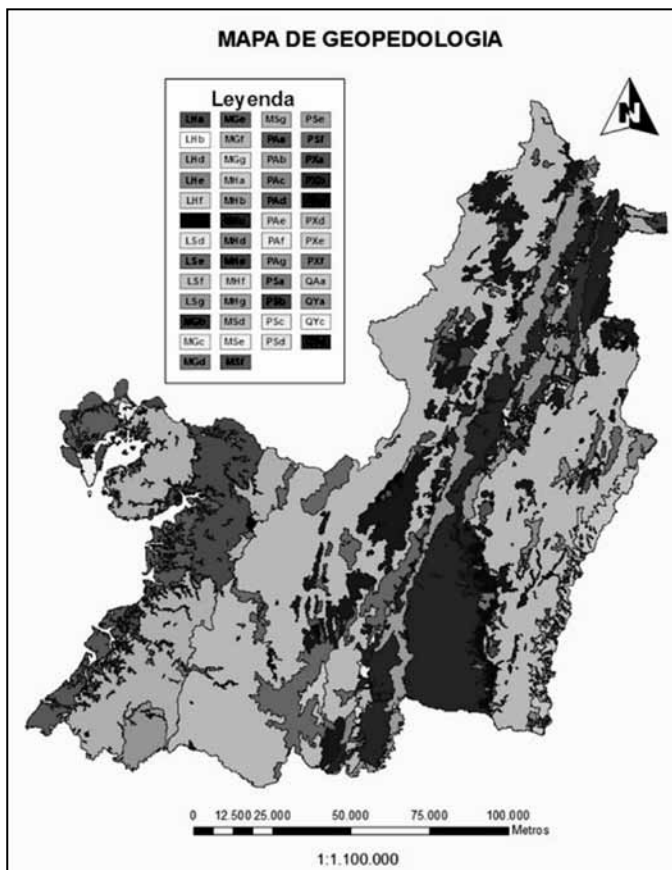


Figura 7. Mapa de Geopedología

mientas *Analysis Tools* de *ArcGIS*. En la tabla 6 se ilustra la leyenda del Mapa de Geopedología.

Tabla 6. Leyenda Mapa de Geopedología

Paisaje	Ambiente Morfogenético	Pendiente	Órdenes de Suelos	Unidad Geopedológica	Símbología
Montaña	Estructural-erosional	12-25%	Inceptisoles	Montaña estructural erosional, 12-25%	MSd
		25-50%	Entisoles, Inceptisoles	Montaña estructural erosional, 25-50%	MSe
		50-75%	Entisoles, Inceptisoles	Montaña estructural erosional, 50-75%	MSf
		>75%	Entisoles, Inceptisoles	Montaña estructural erosional, >75%	MSg
	Glaciática	3-7%	Andisoles	Montaña fluvio glaciática, 3-7%	MGb
		7-12%	Andisoles	Montaña fluvio glaciática, 7-12%	MGc
		12-25%	Andisoles	Montaña fluvio glaciática, 12-25%	MGd
		25-50%	Andisoles	Montaña fluvio glaciática, 25-50%	MGe
		50-75%	Andisoles	Montaña fluvio glaciática, 50-75%	MGf
		>75%	Andisoles, Entisoles	Montaña fluvio glaciática, >75%	MGg
	Fluvio gravitacional	0-3%	Alfisoles, Inceptisoles, Molisoles	Montaña fluvio gravitacional, 0-3%	MHa
		3-7%	Alfisoles, Inceptisoles, Molisoles	Montaña fluvio gravitacional, 3-7%	MHb
		7-12%	Alfisoles, Inceptisoles, Andisoles, Molisoles	Montaña fluvio gravitacional, 7-12%	MHc
		12-25%	Alfisoles, Inceptisoles, Entisoles, Andisoles, Molisoles	Montaña fluvio gravitacional, 12-25%	MHd
		25-50%	Alfisoles, Inceptisoles, Entisoles, Andisoles, Molisoles	Montaña fluvio gravitacional, 25-50%	MHe
		50-75%	Alfisoles, Inceptisoles, Entisoles, Andisoles, Molisoles	Montaña fluvio gravitacional, 50-75%	MHf
		>75%	Alfisoles, Inceptisoles, Entisoles, Andisoles, Molisoles	Montaña fluvio gravitacional, >75%	MHg

Paisaje	Ambiente Morfogénico	Pendiente	Órdenes de Suelos	Unidad Geopedológica	Símbología
Piedemonte	Aluvial	0-3%	Alfisoles, Molisoles, Vertisoles, Entisoles, Inceptisoles	Piedemonte aluvial, 0-3%	PAa
		3-7%	Alfisoles, Molisoles, Entisoles, Inceptisoles, Vertisoles	Piedemonte aluvial, 3-7%	PAb
		7-12%	Alfisoles	Piedemonte aluvial, 7-12%	PAc
		12-25%	Alfisoles	Piedemonte aluvial, 12-25%	PAd
		25-50%	Alfisoles, Inceptisoles	Piedemonte aluvial, 25-50%	PAe
		50-75%	Alfisoles, Inceptisoles	Piedemonte aluvial, 50-75%	PAf
		>75%	Inceptisoles	Piedemonte aluvial, >75%	PAg
	Coluvio-aluvial	0-3%	Alfisoles, Inceptisoles, Andisoles, Vertisoles	Piedemonte coluvio-aluvial, 0-3%	PXa
		3-7%	Alfisoles, Inceptisoles, Molisoles, Andisoles	Piedemonte coluvio-aluvial, 3-7%	PXb
		7-12%	Alfisoles, Molisoles, Andisoles, Inceptisoles	Piedemonte coluvio-aluvial, 7-12%	PXc
		12-25%	Andisoles, Molisoles, Inceptisoles	Piedemonte coluvio-aluvial, 12-25%	PXd
		25-50%	Andisoles, Molisoles, Inceptisoles	Piedemonte coluvio-aluvial, 25-50%	PXe
		50-75%	Andisoles, Molisoles, Inceptisoles	Piedemonte coluvio-aluvial, 50-75%	PXf
	Estructural-erosional	0-3%	Inceptisoles	Piedemonte estructural-erosional, 0-3%	PSa
		3-7%	Inceptisoles	Piedemonte estructural-erosional, 3-7%	PSb
		7-12%	Alfisoles	Piedemonte estructural-erosional, 7-12%	PSc
		12-25%	Alfisoles	Piedemonte estructural-erosional, 12-25%	PSd
		25-50%	Alfisoles, Entisoles	Piedemonte estructural-erosional, 25-50%	PSe
		50-75%	Alfisoles, Entisoles	Piedemonte estructural-erosional, >75%	PSf

Paisaje	Ambiente Morfogénico	Pendiente	Órdenes de Suelos	Unidad Geopedológica	Símbologia
Lomerío	Estructural-erosional	12-25%	Molisoles	Lomerío estructural-erosional, 12-25%	LSd
		25-50%	Molisoles	Lomerío estructural-erosional, 25-50%	LSe
		50-75%	Entisoles, Inceptisoles, Molisoles	Lomerío estructural-erosional, 50-75%	LSf
		>75%	Inceptisoles	Lomerío estructural-erosional, >75%	LSg
	Fluvio gravitacional	0-3%	Inceptisoles, Molisoles	Lomerío fluvio gravitacional 0-3%	LHa
		3-7%	Inceptisoles, Molisoles	Lomerío fluvio gravitacional 3-7%	LHb
		12-25%	Inceptisoles, Oxisoles	Lomerío fluvio gravitacional 12-25%	LHd
		25-50%	Inceptisoles, Oxisoles	Lomerío fluvio gravitacional 25-50%	LHe
		50-75%	Inceptisoles, Oxisoles	Lomerío fluvio gravitacional 50-75%	LHf
		>75%	Inceptisoles	Lomerío fluvio gravitacional >75%	LHg
	Planicie	0-3%	Alfisoles, Entisoles, Inceptisoles, Molisoles, Vertisoles	Planicie aluvial, 0-3%	QAa
		0-3%	Entisoles, Inceptisoles	Planicie fluvio marina, 0-3%	QYa
		7-12%	Inceptisoles	Planicie fluvio marina, 7-12%	QYc
		12-25%	Inceptisoles	Planicie fluvio marina, 12-25%	QYd

2.2.3 Cobertura de tierra. La información temática de cobertura de suelo ha sido levantada por el grupo de SIA de la CVC, mediante el uso de imágenes de satélite (principalmente LANDSAT 5 TM) fotografías aéreas y trabajo de campo, el proceso de este levantamiento se ha venido desarrollando desde finales de los años 90, razón por la cual se cuenta con una información detallada y precisa del departamento.

Para generar el mapa de cobertura de tierra, primero se debe contar con un modelo de clasificación que permita categorizar los diferentes elementos, que son observados mediante los sensores remotos; aten-

diendo a esto, la CVC a partir de su experiencia ha desarrollado su propio sistema de clasificación.

El sistema que maneja la CVC cuenta con cinco niveles, cada uno de ellos ajustados a una escala de información (N1-1:250.000, N2-1:100.000, N3-1:50.000, N4-1:25.000, N5-1:10.000). Dado que el objeto de este trabajo es obtener el mapa de ecosistemas a escala 1:100.000, para el mapa de cobertura se empleó el Nivel 2 de información de la CVC, escala que se presenta en la Tabla 7.

A continuación se describe cada una de las clases de coberturas de tierra para los Nivel 1 y 2 de representación, cuyo resultado se presenta en la Figura 8.

Tabla 7. Categorías y clases de la cobertura de tierra definidas por la CVC (2009)

Categoría	Clase
Nivel 1 - 1:250.000	Nivel 2 - 1:100.000
Superficies Construidas	Zonas urbanizadas
	Otras superficies artificiales
Superficies Plantadas	Cultivos arbóreos plantados
	Cultivos arbustivos plantados
	Cultivos herbáceos plantados
	Misceláneos de superficies plantadas
	Áreas cultivadas sin o con poca vegetación
Superficies Naturales y Seminaturales	Bosques naturales
	Arbustales y matorrales naturales
	Herbazales naturales
	Misceláneos de superficies naturales
	Áreas naturales abiertas sin o con poca vegetación
Superficies de Agua	Aguas continentales
	Aguas marítimas

- **Superficies construidas**

- Zonas urbanizadas. Dentro de esta categoría se incluyen los tejidos urbanos y suburbanos, centros poblados, zonas industriales y comerciales.
- Otras superficies artificiales. Esta cobertura corresponde a zonas de extracción minera, escombreras, vertederos, entre otras.

- **Superficies plantadas**

- Cultivos arbóreos plantados. Son cultivos aprovechables en explotación con características de árbol leñoso, como pino, cítricos, etc.
- Cultivos arbustivos plantados: Son los cultivos de plantas leñosas que en estado de adultez no superan los cuatro metros de altura, como el maíz, el algodón, la caña, entre otras.
- Cultivos herbáceos plantados: Corresponde a los cultivos de plantas de tallos no leñosos y que no alcanzan grandes alturas, como el arroz, el sorgo, la soya, entre otras.
- Misceláneos de superficies plantadas. Son áreas que presentan mezclas de diferentes tipos de cultivos.

- **Superficies naturales y seminaturales:**

- Bosques naturales. Corresponde a comunidades vegetales dominadas por árboles de altura promedio de cinco metros.
- Arbustales y matorrales naturales. En este tipo de vegetación los elementos leñosos predominantes corresponden a arbustos y matorrales.
- Herbazales naturales. Vegetación dominada por hierbas y gramíneas.
- Áreas naturales abiertas sin o con poca vegetación. Estas zonas corresponden a los arenales y playas, o zonas con vegetación escasa, tales como superpáramos.

- **Superficies de agua.** En esta categoría se incluye cualquier área cubierta por agua permanentemente o en algunas épocas del año.

- Aguas continentales. En esta clase se agrupan las aguas continentales naturales y artificiales. Las naturales corresponden a los ríos, lagunas, lagos o zonas inundadas. Las artificiales, son las superficies de agua construidas por el hombre como embalses o represas.
- Aguas marítimas. Extensión del cuerpo de agua sobre el Océano Pacífico comprendida entre la línea de borde litoral y los límites de aguas jurisdiccionales de Colombia.

2.2.4 Biomás. Los biomás considerados en la elaboración del mapa de ecosistemas del Valle del Cauca, corresponden a los definidos a partir de IDEAM, *et al* (2007), dado que para este tema los institutos vinculados en el desarrollo del mencionado estudio, han recopilado información de esta temática más detallada y precisa que la que posee la CVC.

El mapa de biomás correspondiente para el Valle del Cauca se presenta en la Figura 9.

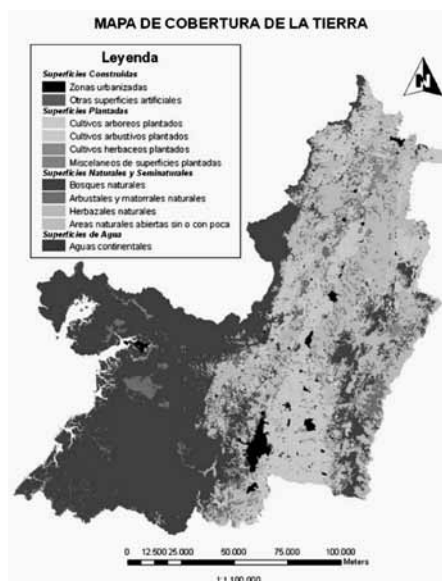


Figura 8. Mapa de Cobertura de Tierra

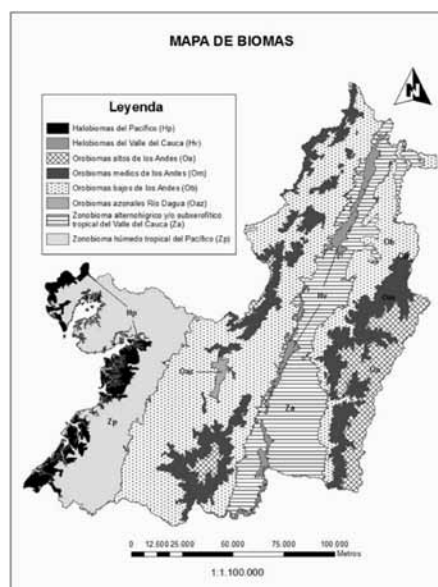


Figura 9. Mapa de Biomas

2.2.5 Ecosistemas. Para obtener el mapa de Ecosistemas, se integra la información temática anteriormente descrita una vez ésta ha sido analizada (Figura 10). El método de integración comprende dos etapas: la primera es un proceso de sobreposición (intersección) de mapas que se realiza a través de la función *Intersect* del módulo de herramientas *Analysis Tools* de *ArcGIS* dando como resultado una capa temática de análisis, la cual en la segunda etapa es verificada y ajustada de acuerdo al análisis de los factores dominantes que controlan la distribución de los ecosistemas.

3. Resultados

El resultado de este trabajo arroja un total de 31 ecosistemas para el departamento del Valle del Cauca (Figura 12, con su leyenda explicativa en la Tabla 8), en donde los factores de mayor dominancia son el clima, la geomorfología y los suelos, los cuales muestran una relación directa con los grandes biomas definidos para el departamento, aunque la vegetación marca situaciones especiales y determinantes en los ecosistemas, para este caso, la información de la cobertura se abordó desde un enfoque general que permitiera definir las condiciones iniciales (naturales) de los ecosistemas, puesto que muchas áreas se encuentran altamente intervenidas (superficies plantadas, superficies construidas)

y no definirían las condiciones reales de estos y en cualquier momento se encontrarían susceptibles a cambios.



Figura 10. Proceso metodológico para la elaboración del mapa de ecosistemas

Para describir los ecosistemas se empleó una codificación que diera razón de cada uno de elementos biofísicos constitutivos de este, como se resume en la figura 11.

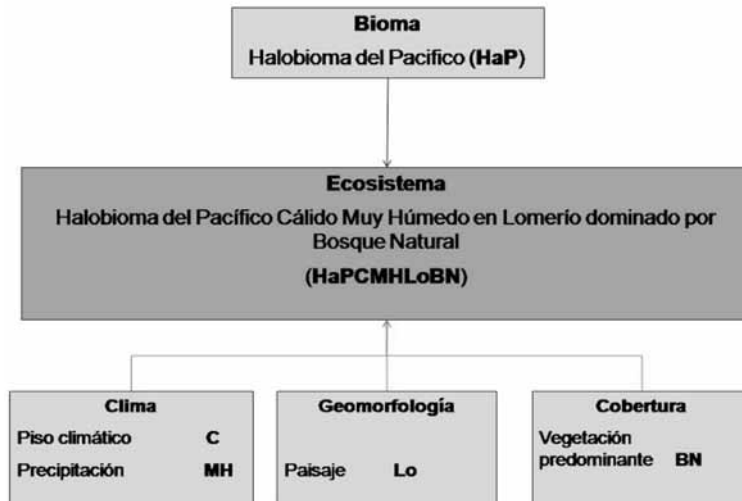
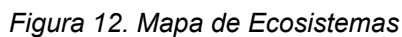


Figura 11. Estructura Leyenda Mapa de Ecosistemas



Nombre del ecosistema	Codificación	Simbología
Halobioma del Pacífico Cálido Muy Húmedo en Lomerío dominado por Bosque Natural.	HaPCMHLoBN	
Halobioma del Pacífico Cálido Muy Húmedo en Llanura Fluvio Marina dominado por Bosque Natural.	HaPCMHQYBN	

Nombre del ecosistema	Codificación	Simbología
Helobioma del Valle del Cauca Cálido Húmedo en Llanura aluvial dominado por Bosque Natural	HeVCHQABN	
Helobioma del Valle del Cauca Cálido Seco en Llanura aluvial dominado por Bosque Natural	HeVCSQABN	
Orobioma alto de los Andes Frío Húmedo en Montaña dominado por Bosque Natural	OaFHMbBN	
Orobioma alto de los Andes Frío Muy Húmedo en Montaña dominado por Bosque Natural	OaFMHMbBN	
Orobioma alto de los Andes Muy Frío Pluvial en Montaña dominado por Herbazales Naturales	OaMFPMoHN	
Orobioma bajo de los Andes Cálido Húmedo en Montaña dominado por Bosque Natural	ObCHMoBN	
Orobioma bajo de los Andes Cálido Muy Húmedo en Montaña dominado por Bosque Natural	ObCMHMbBN	
Orobioma bajo de los Andes Cálido Seco en Lomerío dominado por Bosque Natural	ObCSLoBN	
Orobioma bajo de los Andes Cálido Seco en Montaña dominado por Bosque Natural	ObCSMoBN	
Orobioma bajo de los Andes Frío Muy Húmedo en Montaña dominado por Bosque Natural	ObFMHMbBN	
Orobioma bajo de los Andes Templado Húmedo en Montaña dominado por Bosque Natural	ObTHMoBN	
Orobioma bajo de los Andes Templado Húmedo en Piedemonte dominado por Bosque Natural	ObTHPiBN	
Orobioma bajo de los Andes Templado Muy Húmedo en Montaña dominado por Bosque Natural	ObTMHMbBN	
Orobioma bajo de los Andes Templado Seco en Montaña dominado por Arbustales y matorrales naturales	ObTSMoAN	
Orobioma bajo de los Andes Templado Seco en Piedemonte dominado por Arbustales y matorrales naturales	ObTSPiAN	
Orobioma medio de los Andes Frío Húmedo en Montaña dominado por Bosque Natural	OmFHMbBN	
Orobioma medio de los Andes Frío Muy Húmedo en Montaña dominado por Bosque Natural	OmFMHMbBN	
Orobioma medio de los Andes Templado Húmedo en Montaña dominado por Bosque Natural	OmTHMoBN	
Orobioma medio de los Andes Templado Muy Húmedo en Montaña dominado por Bosque Natural	OmTMHMbBN	

Nombre del ecosistema	Codificación	Simbología
Orobioma azonal Río Dagua Cálido Seco en Montaña dominado por Arbustales y matorrales naturales	OzCSMoAN	
Zonobioma alterno higrico y/o subxerofítico tropical del Valle del Cauca Cálido Seco en Lomerío dominado por Bosque natural	ZaCSLoBN	
Zonobioma alterno higrico y/o subxerofítico tropical del Valle del Cauca Cálido Seco en Piedemonte dominado por Bosque natural	ZaCSPiBN	
Zonobioma alterno higrico y/o subxerofítico tropical del Valle del Cauca Cálido Seco en Llanura aluvial dominado por Bosque natural	ZaCSQABN	
Zonobioma alterno higrico y/o subxerofítico tropical del Valle del Cauca Templado Húmedo en Montaña dominado por Bosque natural	ZaTHMoBN	
Zonobioma alterno higrico y/o subxerofítico tropical del Valle del Cauca Templado Húmedo en Piedemonte dominado por Bosque natural	ZaTHPiBN	
Zonobioma alterno higrico y/o subxerofítico tropical del Valle del Cauca Templado Seco en Llanura aluvial dominado por Arbustales y matorrales naturales	ZaTSQAAN	
Zonobioma húmedo tropical del Pacífico Cálido Muy Húmedo en Lomerío dominado por Bosque Natural	ZhCMHLoBN	
Zonobioma húmedo tropical del Pacífico Cálido Muy Húmedo en Lomerío dominado por Bosque Natural	ZhCMHQYBN	
Zonobioma húmedo tropical del Pacífico Cálido Muy Húmedo en Lomerío dominado por Bosque Natural	ZhFMHMoBN	

4. Conclusiones

- La metodología de conformación de los ecosistemas planteada por el IDEAM et al. (2007) y tomada en este trabajo como referencia, da una muy buena aproximación a la delimitación de los ecosistemas, sin embargo, esta no puede ser asumida en su totalidad, pues existen particularidades físicas sobre el territorio y los objetos de análisis y escalas de trabajo más detalladas (1:100.000) requieren de parámetros más específicos.
- Aunque la metodología para la definición de los ecosistemas plantea la integración de diversa información temática, no toda puede ser asumida de igual manera, pues existen variables que se encuentran vulnerables a cambios antrópicos, como la cobertura del suelo, que pueden alterar las condiciones primarias de los ecosistemas convirtiéndolos en ecosistemas transformados (agroecosistemas y zonas urbanizadas).

- Los ecosistemas del Valle del Cauca que presentan mejor conservación son los de la llanura pacífica, es decir, los ubicados en el Zonobioma Húmedo Tropical del Pacífico, mientras que los ubicados en el Zonobioma del Valle del Cauca se encuentran casi que completamente modificados, pues es sobre esta área donde se presenta la agricultura más intensiva del Valle del Cauca.
- Con la definición de los ecosistemas, la CVC adquiere una herramienta que le permite tener un escenario más real y preciso de las condiciones ambientales de los ecosistemas sobre las cuales debe emprender las acciones de preservación y recuperación de estos.
- El mapa de Ecosistemas del Valle del Cauca escala 1:100.000, es apenas el primer resultado de una propuesta metodológica que, si bien arroja muy buenos resultados, debe ser más detallada y ajustada a las condiciones particulares del territorio.
- El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) facilitan el análisis e integración de la información de una manera lógica y ordenada, permitiendo obtener resultados más integrales y cercanos a la realidad, sin embargo, esto solo es posible si el objeto del estudio a desarrollar es claro y se tiene el conocimiento técnico para hacer el análisis y evaluación de los resultados. Por otra parte los SIG poseen las herramientas necesarias para alertar sobre los componentes y/o variables que más inciden sobre un sistema evaluado, las cuales son determinantes a la hora de emprender acciones tendientes a una adecuada gestión del territorio.

Bibliografía

- BARTHOLOMÉ, E.; BELWARD, A. S.; ACHARD, F.; BARTALEV, S.; CARMONA MORENO, C.; EVA, H.; FRITZ, S.; GRÉGOIRE, J.M.; MAYAUX, P. and STIBIG, H.J. (2002). GLC 2000 – Global land cover mapping for the year 2000 – Project status November 2002, (EUR 20524). Brussels: Joint Research Centre, JRC, European Commission.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA (CVC) e INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLT (IAvH). (2002). Análisis preliminar de representatividad ecosistémica e identificación de vacíos de conservación y alternativas para el SIRAP del Valle del Cauca utilizando Sistemas de Información Geográfica. Informe Final de Resultados. 48 p. Bogotá: CVC – IAvH [documento interno de trabajo].
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA, CVC. (2009). Apoyar la gestión del grupo de Sistemas de Información en la evaluación y homologación de las capas temáticas de cobertura, uso del suelo y sistemas productivos, para el Valle del Cauca en el proceso de implementación del sistema de información geográfico corporativo y en la actualización de la temática de cobertura y uso del suelo de las cuencas Meléndez y Vijes. Informe Contrato Mínima Cuantía CVC 113 de 2009.
- CORTÉS, A. y MALAGÓN, D. (1984). Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Bogotá, D.C.: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 360 p.
- CUATRECASAS, J. (1958). Aspectos de la vegetación natural en Colombia. En: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales Vol. 10, No. 40. Santafé de Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, ACCEFYN. p. 221-264.
- ESPINAL, L. S. y MONTENEGRO, E. (1963). Formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Bogotá: IGAC.. 221 p.
- ETTER, A. (1998). Mapa general de ecosistemas de Colombia. En: CHAVES, M.E y ARANGO, N. (Eds.). (1998). Informe nacional sobre el estado de la biodiversidad – Colombia. Tomo I. Causas de pérdida de la biodiversidad de Investigación de Recursos Biológicos. Bogotá, D.C.: Alexander von Humboldt, PNUMA y Ministerio del Medio Ambiente.
- GOULD, M. y GUTIÉRREZ PUEBLA, J. (1999). SIG: Sistemas de Información Geográfica. Madrid: Síntesis. 256 p. ISBN: 9788477382461
- GVSAP, GRUPO DE VIDA SALVAJE Y PATRIMONIO AMBIENTAL (1996). Siete ecosistemas para el Valle del Cauca. Cali: CVC. 8 p. [documento interno de trabajo]
- HERNÁNDEZ C., J.; HURTADO G., A.; ORTIZ Q., R. y WALSCHBURGER, T. (1992). Unidades biogeográficas de Colombia. En: HALFFTER, G. (comp.). La diversidad biológica de Iberoamérica. Vol I. Acta Zoológica Mexicana, Nueva Serie, Volumen Especial. p. 105-151. + mapa escala 1:3.900.000.
- HERNÁNDEZ C., J. y SÁNCHEZ P., H. (1992). Biomas terrestres de Colombia. En: Halffter, G. (comp.). La diversidad biológica de Iberoamérica. Vol. I. Acta Zoológica Mexicana, Nueva Serie, Volumen Especial. p. 153-173.
- HOLDRIGE, L.R. (1978). Ecología basada en zonas de vida. Centro Interamericano de Documentación e Información Agrícola, IICA. San José de Costa Rica. 216 p.
- IDEAM, INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. (1996). Memoria técnica mapa de coberturas vegetales, uso y ocupación del territorio. 1:1.500.00. Bogotá. 58 p.
- IDEAM, IGAC, IAvH, INVEMAR; I. SINCHI e IIAP. (2007). Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 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 Andréis, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. 276 p + 37 hojas cartográficas. ISBN: 978-958-8323-16-9
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC) y CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA (CVC). (2004). Levantamiento de suelos y zonificación de tierra del departamento del Valle del Cauca. Bogotá D.C: Imprenta Nacional de Colombia. 541 p.

- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC) (2000). Manual de códigos de atributos de los levantamientos de recursos de tierra. Bogotá. 98 p.
- IGAC, INDERENA y CONIF. (1984). Mapa de bosques de Colombia memoria explicativa. Bogotá D. C., Colombia.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA. (1992) Manual de términos meteorológicos. Madrid: Instituto Nacional de Meteorología.
- LÓPEZ DE PABLO, C. (2000). Cartografía ecológica: conceptos y procedimientos para la representación espacial de los ecosistemas. En: Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Sección Geológica. Vol. 90, No. 1-2. Madrid: Real Sociedad Española de Historia Natural. p. 57-68. ISSN: 05837510
- MORENO, J. Antonio. (2007). Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS. México, D.F.: Alfaomega. 895 p. ISBN: 970-15-1181-6
- NATIONAL SNOW AND ICE DATA CENTER (NSIDC) (2009) Glossary of Meteorological Terms. [en línea]. Colorado: University of Colorado Boulder <<http://nsidc.org/arcticmet/glossary/climate.html>> [Consulta: 30/11/2009]
- RODRÍGUEZ, N.; ARMENTERAS, D.; MORALES, M. y ROMERO, M. (2004). Ecosistemas de los Andes colombianos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá: Acta Nocturna. 155 p. ISBN: 958-8151-30-9
- ROMERO, M., GALINDO, G., OTERO, J y ARMENTERAS, D. (2004). Ecosistemas de la cuenca del Orinoco colombiano. Bogotá D. C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 189 p.
- SARMIENTO, F. O. (2001). Diccionario de ecología: paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica, Quito: Ediciones Abya-Yala. CLACS-UGA, CEPEIGE, AMA [Primera edición digital de Diccionario de ecología, a cargo de José Luis Gómez-Martínez y autorizada para el Proyecto Ensayo Hispánico].
- 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 cartográfica de la vegetación. Ecology and Conservation. París: UNESCO. Serie No. 6. 93 p.
- USDA, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (1998). Key to soil taxonomy. 8 ed. Washington, D.C: Survey Staff
- WALTER, H. (1985). Vegetation of the Earth and ecological systems of the geobiosphere. 3 ed. New York: Springer-Verlag.
- WALTER, H. (1977). Zonas de vegetación y clima. Breve exposición desde el punto de vista causal y global. Barcelona: Omega. 245 p.
- ZINK, A. (2005). Suelos, información y sociedad. En: Gaceta Ecológica. No. 76. (jul-sep, 2005). México D.F. Instituto Nacional de Ecología. p. 7-22
- ZINK, A. (1981). Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de duelos. Mérida, Venezuela.