

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN ECOLÓGICO Y MAPAS DE ECOSISTEMAS: ENFOQUE CONCEPTUAL-METODOLÓGICO PARA VENEZUELA

ECOLOGICAL CLASSIFICATION SYSTEM AND ECOSYSTEMS MAPS: CONCEPTUAL - METHODOLOGICAL APPROACH FOR VENEZUELA

Eulogio Chacón-Moreno^{1,*}, Alma Ulloa², William Tovar³, Tiani C. Márquez⁴, Enrique Sulbarán-Romero⁵ y Mayanín Rodríguez-Morales¹

¹*Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.* ²*The Nature Conservancy (TNC), Mérida, Venezuela.*

³*Centro de Estudios de Vectores de Enfermedades (CEVE), Decanato de Investigación, Decanato de Docencia, Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET), San Cristóbal, Venezuela.*

⁴*Postgrado en Ecología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.* ⁵*Helmholtz-Centre for Environmental Research, UFZ-Department of Ecological Modelling, Project group Ecological Epidemiology, Leipzig, Germany.* *E-mail: eulogio@ula.ve

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es presentar una propuesta metodológica de clasificación de la cobertura de la tierra bajo un enfoque ecológico que se estructura en tres niveles o escalas espaciales: las ecorregiones, los paisajes ecológicos y los ecosistemas. En una primera fase se detallan las bases conceptuales para el sistema de clasificación ecológico, tomando en consideración la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, y la distribución de los mismos en el paisaje. En una segunda parte se describe la estructura jerárquica de este sistema de clasificación y se definen los niveles y criterios utilizados. Se detallan los procedimientos metodológicos para la elaboración de los mapas de ecosistemas con base en la teledetección y los reconocimientos ecológicos. Se enfatiza el aspecto de integración del sistema de clasificación, al incluir bajo el mismo enfoque a los sistemas intervenidos. En la tercera parte, se presentan varios ejemplos de aplicación de esta metodología como son los mapas de ecosistemas de los Andes, del estado Yaracuy, del estado Portuguesa; así como aplicaciones específicas del mapa de ecosistemas para la modelización de zonas de riesgo de la enfermedad de Chagas, y la planificación para la conservación. El principal aporte de este trabajo es la definición de un enfoque metodológico que permite tener una visión integral ecológica del territorio, homologable a otros sistemas de clasificación y constituye una base para el monitoreo de los cambios y transformaciones de los ecosistemas.

Palabras claves: ecología del paisaje, sistemas ecológicos, bioclima, teledetección, cobertura de la tierra

ABSTRACT

The aim of this paper is to present a methodological proposal for land cover classification under an ecological approach that is structured in three levels or spatial scales: ecoregions, ecological landscapes and ecosystems. In a first phase, the conceptual basis for the ecological classification system are described, taking into account the structure and functioning of ecosystems, and their distribution in the landscape. In a second part, the hierarchical structure of the classification system is described and the levels and criteria are defined. Methodological procedures for mapping ecosystems, based on remote sensing and ecological surveys, are detailed. The integration property of the classification system, to include under the same approach to the secondary systems, is emphasized. Several examples of application of this methodology are presented at the end of the work, such as ecosystem maps of the Andes, Yaracuy state and Portuguesa state, as well as specific applications of mapping ecosystem for modeling risk areas of Chagas disease, and conservation planning. The main contribution of this work is the definition of a methodological approach that allows have a comprehensive ecological view of the territory, be homologous to other classification systems, and provides a basis for monitoring ecosystems changes and transformations.

Key words: Landscape Ecology, Ecological Systems, Bioclima, Remote Sensing, Land cover

INTRODUCCIÓN

Los procesos de transformación y reemplazo de los sistemas naturales a nivel mundial son una realidad indiscutible, que de manera muy general y resumida está asociada principalmente a dos grandes procesos: la búsqueda y utilización de tierras para la seguridad alimentaria y los cambios climáticos que determinan modificaciones en la distribución de los ecosistemas. Esta realidad inminente, representa desde el punto de vista ecológico, una amenaza a la biodiversidad, y su posible pérdida, así como el deterioro de los servicios ambientales que proveen estos ecosistemas al hombre. Tanto a nivel mundial como nacional, se están realizando esfuerzos para caracterizar, analizar y mitigar los efectos de estos procesos de transformación.

Las investigaciones básicas y aplicadas en ecología a diferentes niveles y escalas de trabajo, han permitido entender y caracterizar los procesos y funcionamiento de los ecosistemas y determinar su relación o respuesta con los cambios y transformaciones globales, regionales y locales. Sin embargo, se requiere la implementación de investigaciones que permitan diagnosticar y evaluar el estado de los elementos y procesos ecológicos en el contexto espacial a diferentes escalas. Esta evaluación permitirá crear o sentar las bases sobre las cuales implementar medidas de conservación, planificación y ordenación de las áreas naturales que aún persisten a los cambios y de esta forma contribuir a mitigar los efectos adversos de la transformación de los paisajes.

En Venezuela hemos detectado la carencia de información espacial actualizada que permita evaluar el estado de conservación de los ecosistemas a medianas escalas (1:250.000). A escala nacional se utiliza como principal referencia el mapa de vegetación de Huber y Alarcón (1988) el cual ha sido actualizado (Huber y Oliveira-Miranda 2010); sin embargo su escala de trabajo no permite detallar a escalas mas regionales y locales. Lo anterior nos ha llevado a desarrollar un sistema de clasificación ecológico para la elaboración de mapas de ecosistemas de escala intermedia (1:250.000 – 1:100.000), bajo un enfoque ecológico del paisaje. Este sistema de clasificación considera una jerarquización anidada que permite subdividir el país en grandes ecorregiones y paisajes. Las unidades espaciales de análisis son los ecosistemas, caracterizados estos por su estructura, funcionamiento y su ensamblaje

o configuración espacial (estructura horizontal) dentro del paisaje.

El enfoque metodológico presentado tiene como antecedentes la elaboración del mapa de ecosistemas de los Andes del Norte que incluye a las regiones andinas en los países de Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela (Josse *et al.* 2009b). En este mapa se consideró como base conceptual el sistema de clasificación de Nature Serve incorporando los aspectos bioclimáticos (Josse *et al.* 2009a).

A raíz de los acuerdos internacionales como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB 1992), el ecosistema es considerado una importante unidad de análisis sobre la cual se puede tener una visión del estado de biodiversidad de una región o país y por lo tanto generar planes que permitan su conservación y uso en un marco de desarrollo sustentable. El mapeo de ecosistemas puede observarse a varias escalas, que van delineando conceptos y sistemas de clasificación acordes con las características ambientales en cada región o país. Varios países, con anterioridad a estos acuerdos, habían iniciado propuestas de clasificación basados en reconocer unidades espaciales que implicaran el concepto de ecosistemas, es decir que además de su cobertura, estructura y composición, se considerase el funcionamiento del mismo; tal es el caso del mapa de ecorregiones de los Estados Unidos (Bailey 1995). A partir de estas y otras investigaciones, las políticas de conservación llevadas a cabo por organizaciones no gubernamentales como World Wildlife Fund (WWF), se han vinculado con la definición, descripción y mapeo de estas áreas (Dinerstein *et al.* 1995, Olson *et al.* 2001).

Uno de los aspectos considerados en el mapeo de ecorregiones y ecosistemas es la incorporación de los aspectos de funcionamiento y diversidad los cuales están asociados a la respuesta de la vegetación a las condiciones ambientales como el clima, los suelos y la geomorfología, que a su vez se derivan de los procesos pedogenéticos, el tiempo y el material parental (Rodríguez *et al.* 2006). Por otro lado, dado que la cobertura vegetal es un elemento primordial en la caracterización y determinación de los límites de las unidades espaciales del mapa de ecosistemas, estos han sido asociados con los mapas de vegetación, y en muchos casos los mapas de vegetación pueden ser considerados como equivalentes a los mapas de ecosistemas (Rodríguez *et al.* 2006). También es

importante resaltar la incorporación del hombre como ente transformador de los sistemas naturales. Son muchos los sistemas de clasificación que se han desarrollado; sin embargo sólo se hará referencia a los que involucren el mapeo de ecosistemas y que tengan asociación con lo regional, nacional y local. Para elaborar un mapa de ecosistemas, se debe considerar en su definición no solo la fisonomía basada en la vegetación, sino los aspectos biofísicos que determinan su funcionamiento, es por eso que se han desarrollado diferentes enfoques. En algunos, es el aspecto o carácter climático el principal criterio que define junto con la fisonomía de la vegetación la unidad espacial o ecosistema. Tal es el caso de los sistemas de clasificación como las zonas de vida de Holdridge utilizado por Ewel y Madriz (1968) para elaborar el Mapa Ecológico de Venezuela.

Entre los ejemplos de aplicación de estos conceptos tenemos que a nivel regional, y en especial en América del Sur, son varios los mapas de vegetación desarrollados, entre los cuales cabe resaltar los trabajos de Hueck y Seibert (1981) con el mapa de vegetación potencial de Suramérica, Dinerstein *et al.* (1995) con el mapa de ecorregiones para América Latina y el Caribe, y Stone *et al.* (1994) con el mapa de vegetación de Sur América.

Uno de los sistemas de clasificación para mapeo de ecosistemas (estructura y funcionamiento) que se ha aplicado en diversos países y regiones, y a diferentes escalas, es el de sistemas ecológicos desarrollado por Nature Serve (Comer *et al.* 2003, Josse *et al.* 2003), el cual ha permitido, con algunas variantes, hacer el mapa de sistemas ecológicos de la cuenca amazónica de Perú y Bolivia (Navarro y Ferreira 2007, Josse *et al.* 2007), el mapa de Sistemas Ecológicos del Ecuador continental (Peralvo *et al.* 2006) y el Mapa de Ecosistemas de Los Andes del Norte y Centro, del cual forma parte el mapa de ecosistemas de Los Andes venezolanos (Josse *et al.* 2009b). Recientemente, y considerando este mismo enfoque de funcionamiento, se ha actualizado y elaborado el mapa de ecosistemas de los Estados Unidos (A New Map of Standardized Terrestrial Ecosystems of the Conterminous United States) (Sayre *et al.* 2009).

Uno de los países con mayor desarrollo en este tipo de mapas es Colombia. Bajo el enfoque ecosistémico, pero considerando un sistema superior de clasificación (Bioma) y utilizando métodos de sobreposición, han elaborado el

mapa de ecosistemas de los Andes Colombianos (Rodríguez *et al.* 2006) y el mapa de ecosistemas de la cuenca del Orinoco colombiano (Romero *et al.* 2004). En ellos el bioma, es un criterio superior para la delimitación de unidades jerárquicas superiores al ecosistema. El nombre de las unidades (ecosistemas) surge en la integración de la cobertura, el bioclima y la unidad geomorfológica (Rodríguez *et al.* 2006).

En Venezuela, se cuenta con el Mapa de Vegetación actual de Venezuela del Ministerio del Ambiente del año 1982 (MARNR 1982) y el Mapa de Vegetación de Venezuela de Huber y Alarcón (1988). Este último ha sido el mapa más utilizado para referirnos a la vegetación de nuestro país desde su publicación hasta la actualidad. Recientemente, Huber y Oliveira-Miranda (2010), presentan una nueva versión del mapa de vegetación de Venezuela, haciendo énfasis en las formaciones vegetales y describiendo los paisajes vegetales anidados en el sistema de regiones del mapa de vegetación. Adicionalmente, en este trabajo se describen subunidades fitoecológicas con gran detalle.

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales presenta una primera propuesta de división en grandes unidades ecológicas, llamadas biorregiones (MARNR 2001), como base para la planificación y desarrollo de la Estrategia Nacional de Diversidad Biológica planteada en el año 2001. Este mapa de Biorregiones de Venezuela propone un sistema similar al de ecorregiones, sin embargo el carácter de funcionamiento de la unidad no está claramente detallado. La definición de estas biorregiones se hace con base en la topografía, clima y vegetación de las áreas territoriales de Venezuela (Eisenberg y Redford 1979).

A nivel local se han realizado aportes importantes para mapear los ecosistemas y paisajes de los Llanos Occidentales (Sarmiento *et al.* 1971a, Silva *et al.* 1971, Monasterio *et al.* 1971, Sarmiento *et al.* 1971b) y los Llanos Centrales (Sarmiento y Monasterio 1971, Berroterán 1988). En Los Andes es importante el mapa de Unidades Ecológicas del Estado Mérida de Ataroff y Sarmiento (2003) que define las áreas potenciales de los ecosistemas naturales, visto a través de la definición de unidades ecológicas para lo cual emplearon una aproximación a los sistemas ecológicos basándose fundamentalmente en el funcionamiento de las unidades asociado a las principales variables climáticas de Los Andes. EDELCA (2008) realizó un completo trabajo de

reconocimiento de la Cuenca del río Caroní, donde se presenta una descripción de las formaciones vegetales de la cuenca.

El objetivo de este artículo es presentar una propuesta metodológica de clasificación de la cobertura de la tierra bajo un enfoque ecológico que se estructura en tres niveles o escalas espaciales: las ecorregiones, los paisajes ecológicos y los ecosistemas. Este trabajo está desarrollado en tres partes, en la primera se detallan las bases conceptuales para el sistema de clasificación ecológico. En la segunda parte se describe la estructura jerárquica y los aspectos metodológicos para la realización de la cartografía ecológica, así como el aspecto de integración del sistema de clasificación. En la tercera parte, mostramos los resultados del uso de esta metodología a través de ejemplos concretos y la aplicación de dichos resultados en actividades específicas.

BASES CONCEPTUALES DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN

En esta sección se presenta el planteamiento conceptual y metodológico del sistema de clasificación ecológico propuesto. Este marco ecológico se encuentra presente en las bases de la ecología del paisaje (Naveh and Lieberman 1984, Forman and Godron 1986, Turner and Gardner 1990, Haines-Young *et al.* 1994, Forman 1995, Zonneveld 1995, Klopatek and Gardner 1999, Wiens 1999, Turner *et al.* 2001). La ecología del paisaje es un área de conocimiento de la ecología que tiene como objetivo principal el estudio de la relación entre los procesos ecológicos y los patrones espaciales de los ecosistemas y paisajes en el cual se desarrollan estos procesos (Wiens 1999). Bajo esta consideración, los procesos ecológicos como la sucesión de comunidades, biodiversidad, patrones de herbivoría, interacciones presa-depredador, dispersión, dinámica de nutrientes, distribución de especies, productividad, entre otros, son analizados en el contexto espacial.

Las investigaciones básicas y aplicadas en ecología a diferentes niveles y escalas de trabajo, nos han permitido entender y caracterizar los procesos y funcionamiento de los ecosistemas y determinar su relación o respuesta con los cambios y transformaciones globales, regionales y locales. ¿Cómo integrar y entender estos procesos de funcionamiento de los ecosistemas y sus transformaciones en el contexto espacial?

Es aquí donde la ecología del paisaje permite esta integración a través del concepto de **paisaje ecológico**. Este paisaje puede ser interpretado como un conjunto de elementos que representan su estructura y funcionamiento (Forman and Godron, 1986). Estos elementos del paisaje, definidos también como unidades del paisaje (land unit, Zonneveld 1995), representan las unidades donde no sólo se caracteriza la estructura, sino donde los procesos ecológicos pueden ser espacialmente analizados (Forman and Godron 1986, Zonneveld 1989; Turner and Gardner 1990, Forman 1995, Zonneveld 1995, 1998). De manera general y en el contexto científico internacional, todos los especialistas coinciden y enfatizan que el paisaje está conformado por unidades espaciales o elementos, los cuales son similares entre sí en estructura y función. A través del estudio del paisaje ecológico se pueden determinar los patrones espaciales de distribución de los elementos y procesos ecológicos como mapas de vegetación, distribución poblacional y la relación vegetación-ambiente. También se pueden analizar los procesos de cambio o transformación de las unidades espaciales a lo largo del tiempo (monitoreo), describir procesos de deforestación y determinar la distribución temporal de recursos y procesos. Una importante utilidad de estos estudios es la posibilidad de crear modelos de respuesta que permitan analizar la variación de los procesos en escenarios de transformación como el cambio climático.

Esta propuesta conceptual, además de considerar al paisaje como eje sobre el cual se desarrollan los procesos ecológicos, también considera a los elementos que lo conforman (unidades de paisaje) como **ecosistemas**, que son el centro de caracterización sobre los cuales se genera la propuesta de unidades espaciales a través de los sistemas ecológicos. Sobre estos dos principales elementos, paisajes y ecosistemas, nos fundamentamos para construir una leyenda jerárquica partiendo de la consideración del paisaje ecológico como un área de tierra heterogénea compuesta de grupos de ecosistemas interactuando, cuyo patrón se repite de forma similar a lo largo de este. Para ello, esta unidad jerárquica tiene las siguientes características: a) contiene un grupo repetitivo de tipos de ecosistemas, b) todas las áreas están bajo el mismo tipo de clima general, c) tiene similar geomorfología (material parental) y d) tiene un patrón de regímenes de disturbio similar.

Dada la extensión del territorio venezolano y la diversidad de ambientes contrastantes, esta estructura jerárquica es incluida en una unidad mayor como es la ecorregión. Una **ecorregión** permitirá asociar la estructura y funcionamiento de las características y generalidades de Venezuela, determinadas por su situación geográfica. En un contexto nacional las principales regiones del país son definidas por sus elementos ambientales que la distinguen: climas húmedos al sur que definen nuestras selvas tropicales, climas estacionales en Los Llanos que definen las sabanas, cordilleras como Los Andes que definen una variedad de tipos de vegetación, áreas costeras y secas que definen la vegetación xerófila, y un extenso mar e islas en el Caribe.

ESTRUCTURA JERÁRQUICA DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN

En la Figura 1 se presenta un esquema simple de la estructura jerárquica a considerar en el trabajo. Tres niveles se presentan de manera anidada: Las ecorregiones, que contienen a los paisajes, y estos a su vez que se componen de ecosistemas.

1. Definición de ecorregiones

Una ecorregión se define como un área grande de la tierra o del agua que contiene un conjunto ensamblado de comunidades naturales geográficamente distintivo que: a) comparten una gran mayoría de especies y una dinámica ecológica; b) comparten condiciones ambientales similares, y c) interactúan ecológicamente de manera crítica para su persistencia a largo plazo. Este concepto permite la inclusión no sólo de los ecosistemas terrestres sino los de aguas dulces y los ambientes marítimos.

En la definición de las ecorregiones los criterios fundamentales para su clasificación son: el clima o gran tipo climático, la predominancia de la vegetación que se expresa como respuesta al clima, la fisiografía y la distribución biogeográfica de las grandes formaciones vegetales. En el caso particular de algunas ecorregiones es clave la dinámica ambiental y condiciones particulares asociadas, como la influencia marina en la dinámica del Delta del Orinoco ó la dinámica marina para la Ecorregión Insular-Marino-Costera.

Cada ecorregión, se analiza en relación a las unidades espaciales que puedan contener,

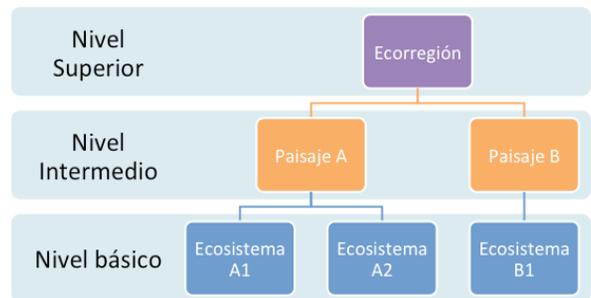


Figura 1. Esquema general de la estructura jerárquica y anidada en sus tres niveles o escalas del sistema de clasificación ecológico

definidas como paisajes y de ser necesario una unidad espacial superior al paisaje, denominada macropaisaje.

2. Definición de paisajes

En cada ecorregión se determinarán los paisajes ecológicos, considerando que estas unidades estarán a su vez compuestas o conformadas por los ecosistemas (sistemas ecológicos) y sus sistemas de reemplazo (secundarios) o intervenidos. El principal aspecto a considerar es que los paisajes responden a procesos integrados operando a un mismo nivel en su formación: a) la dinámica geomorfológica a lo largo del tiempo, b) el patrón de colonización por los organismos vivos, c) las diferencias bioclimáticas o del mesoclima, y d) los disturbios locales actuando sobre los ecosistemas de manera individual.

Estos procesos integrados pueden ser analizados y entendidos a través de sus propiedades, donde resalta la importancia de la estructura, funcionamiento y posibilidad de cambio de los paisajes ecológicos.

En la Figura 2 se presenta un ejemplo de utilización del concepto de paisaje y sus componentes, haciendo referencia especial a su estructura horizontal y vertical en las sabanas inundables en el Apure venezolano. La estructura horizontal muestra el arreglo espacial de los ecosistemas en el espacio a través del mapa de sistemas ecológicos, mientras que la estructura vertical de este paisaje se muestra en el perfil de una transecta donde se infiere la relación entre los componentes del paisaje, en este caso la definición de los sistemas ecológicos y la geomorfología (Chacón-Moreno 2007)

La definición de los paisajes en cada ecorregión va a responder a diferentes criterios; sin embargo, el principal está asociado con el funcionamiento

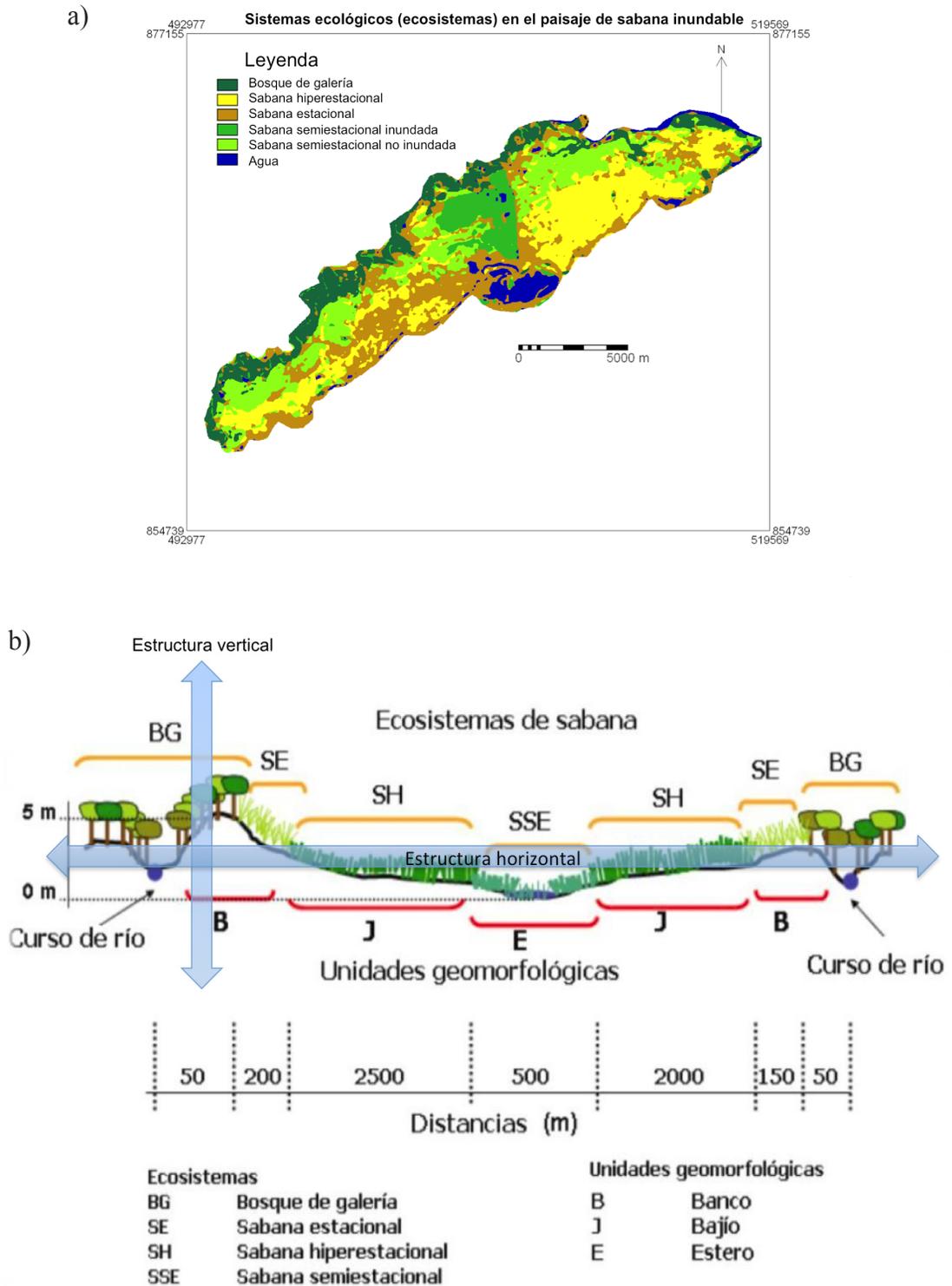


Figura 2. Configuración espacial de un paisaje de sabana inundable a) Estructura horizontal y b) estructura vertical, se observa el establecimiento de relación entre los componentes ecosistémicos y la geomorfología. (Modificado de Chacón-Moreno, 2007)

general de la ecorregión. En este segundo nivel de jerarquización los principales criterios definitorios son: a) geomorfología, suelos, geología, mesoclima; b) dinámica ecológica (fuego, inundación, estacionalidad), y c) combinación de varios factores.

En el caso de la Ecorregión Los Llanos, el principal criterio que define los diferentes tipos de paisaje es el geomorfológico (Sarmiento 1983, Chacón-Moreno 2007); sin embargo, la dinámica de la inundación y origen de los sedimentos hace que existan otros criterios definitorios. Para la Ecorregión Los Andes, la geomorfología no parece ser el principal criterio definitorio del paisaje, sino la dinámica ecológica de respuesta de la vegetación a lo largo de gradientes altitudinales y de precipitación (Josse *et al.* 2009a,b). En la Figura 3 se presentan los diferentes criterios en la definición de ecorregiones, paisajes y ecosistemas siguiendo la estructura jerárquica propuesta.

Como ejemplo de definición de paisajes se presenta la Ecorregión Los Llanos. Desde el punto de vista ecológico y asociado al enfoque metodológico, los Llanos pueden ser separados en seis grandes paisajes (Chacón-Moreno *et al.* en prensa). El concepto de paisaje en Los Llanos y su estructuración a lo largo del tiempo, se inicia con una primera clasificación que parte de usar como principal determinante al tipo de sustrato que a su vez deriva del material parental y la forma de relieve predominante (Sarmiento 1983, MARNR 1985, Sarmiento 1990). En esta primera aproximación de clasificación se tienen cuatro sub-regiones (Sarmiento 1983) o paisajes: sabanas de piedemonte, sabanas sobre mesas, planicies aluviales de desborde, y llanuras eólicas, diferenciadas por la geomorfología presente.

Este criterio de clasificación permite la incorporación de un componente funcional, pues los determinantes ecológicos usados como criterio de clasificación incorporan un elemento distintivo en el funcionamiento del paisaje. Así, por ejemplo, el carácter distintivo de ubicación de sabanas sobre el piedemonte implica características de pendiente y drenaje exclusivas para este paisaje que condicionan la respuesta funcional de la vegetación.

Chacón-Moreno *et al.* (2007) presentan una ampliación o modificación a la clasificación anterior en la cual el paisaje de planicies aluviales de desborde es subdividido en dos paisajes cuya principal diferenciación es el tipo de curso de

agua que les inunda, ya que el desborde de los ríos condiciona la riqueza de los sedimentos a ser esparcidos sobre la planicie. Tenemos dos nuevos paisajes: planicies aluviales altas y las típicas sabanas inundables (Tabla 1). Adicionalmente, dado la orogenia y criterio de cuenca, se deriva un paisaje más como lo es la Depresión de Unare (Chacón-Moreno *et al.* en prensa).

De manera general y resumida, para la Ecorregión de los Llanos se pueden determinar seis tipos de paisaje que se diferencian entre sí principalmente por su carácter geomorfológico que determina la fertilidad de los suelos y por consiguiente la fisonomía predominante en cada paisaje, así como el funcionamiento del mismo (Figura 4). Este carácter de funcionamiento del paisaje viene dado por la configuración espacial o arreglo que presenten los ecosistemas en su ensamblaje dentro del paisaje.

3. Definición de ecosistema

Un ecosistema puede ser definido como una unidad básica conformada por organismos vivos y componentes abióticos o ambientales en un determinado espacio y tiempo, donde ambos componentes interactúan entre sí. Esta definición carece de contexto espacial o límite espacial en su forma más aceptada; sin embargo implica las interrelaciones entre los organismos vivos y su entorno ambiental, lo cual determina un funcionamiento. Cuando la ecología del paisaje se consolida, toma a los ecosistemas como las unidades espaciales o elementos que conforman o constituyen el paisaje (Forman y Godron 1986). Es esta la principal definición que consideramos en la propuesta de clasificación.

Los ecosistemas como elementos constitutivos de los paisajes, pueden ser caracterizados y definidos a partir de la interpretación de la cobertura vegetal. En este caso la unidad espacial a describir son los sistemas ecológicos (SE) (Josse *et al.* 2003). La conexión entre lo que representa un SE y un ecosistema viene dado principalmente porque el SE define la unidad en un espacio; mientras que la definición de ecosistema expresa su composición o estructura y funcionamiento. Los SE tienen una persistencia por más de 50 años (Josse *et al.* 2003). Este enfoque define los límites del sistema basado en la combinación del componente biótico y los factores abióticos. Las comunidades de plantas están basadas en la existencia de la vegetación y no

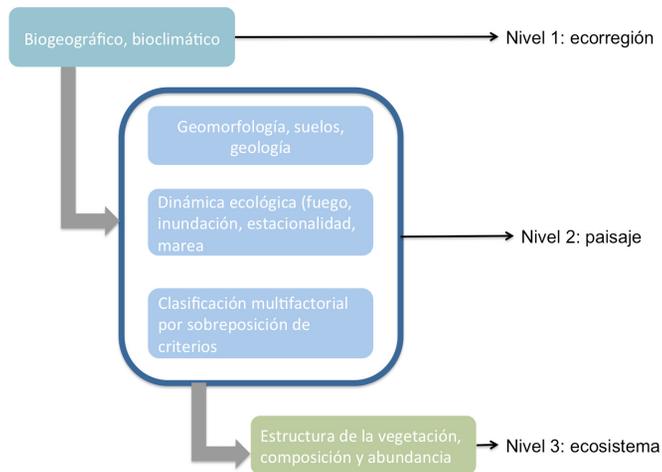


Figura 3. Criterios en la definición de los niveles jerárquicos del sistema de clasificación de Ecorregiones, Paisajes y Ecosistemas

en sistemas potenciales. En la Figura 5 se presenta un esquema de su conectividad y definición.

ENFOQUE METODOLÓGICO

La elaboración de los mapas de ecosistemas, se realiza bajo un enfoque ecológico del paisaje a través de reconocimientos ecológicos y utilizando herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG). Para la definición de las unidades espaciales se sigue la metodología, concepto y definiciones de sistemas ecológicos de Nature Serve (Josse *et al.* 2003) y homologada a clasificaciones existentes que servirán de base para la clasificación.

La metodología del reconocimiento ecológico (RE), que consiste en la elaboración de un mapa, leyenda e informe descriptivo de ecosistemas, tiene tres etapas de ejecución: 1) definición de objetivos y compilación de información espacial y no espacial, 2) procesamiento de información espacial y acoplamiento de información no espacial, y 3) evaluación del reconocimiento y elaboración final del mapa, leyenda e informe. En la fase 3 del RE es fundamental el trabajo de campo para confirmación de las unidades.

La etapa dos del RE es el punto central y de mayor dedicación y esfuerzo, pues incluye la elaboración de un protocolo de trabajo y homogenización de los datos. La teledetección y los SIG, son las herramientas clave para esta etapa. La elaboración de los mapas de ecosistemas se

realiza principalmente a través de la clasificación supervisada de imágenes de satélite.

En general las imágenes satelitales utilizadas son las que permiten obtener mapas hasta una escala de 1:100.000 como Landsat, Spot, Aster, entre otras. El proceso de interpretación digital de imágenes a través de clasificaciones supervisadas se lleva a cabo utilizando un muestreo de píxeles para las clases preliminarmente definidas que fueron detectadas partiendo de una base experta de interpretación y cuya base conceptual de definición se explicó anteriormente.

A partir del muestreo de píxeles y creación de firmas espectrales de cada clase, se realiza la evaluación de las firmas y luego se procede a correr la clasificación supervisada utilizando estadística paramétrica. Todas las evaluaciones realizadas deben comprobar una alta correspondencia con las clases. Adicionalmente, todos los criterios abióticos determinantes (indicadores bioclimáticos, geomorfología, geología, entre otros) deben contar con una clasificación acorde con la definición de las unidades de SE y el objetivo y escala del mapa, y cartografiarse individualmente, luego deben determinarse las combinaciones o cruces intermedios y los protocolos de decisión para determinar cómo se llega a la delimitación de cada uno de los SE.

Uno de los procesos más importantes es la comprobación en campo del mapa, por el cual se corrobora la estructura horizontal y vertical de los ecosistemas, y se determinan las principales

Tabla 1. Paisajes de Sabana, principales ecosistemas asociados y características de estos paisajes determinantes en su funcionamiento y estructura espacial. En negrita se resaltan los ecosistemas más representativos en cada paisaje. Tomado de Chacón-Moreno *et al.* (en prensa)

Paisaje de Los Llanos	Ecosistemas Predominantes	Características relativas al paisaje
Sabanas de Piedemonte	Sabanas Estacionales Bosques Ribereños	Posición topográfica alta, existe pendiente suave, áreas poco extendidas, buen drenaje, suelos oligotróficos.
Sabanas sobre Mesas	Sabanas Estacionales Sabanas Hiperestacionales Sabanas Semiestacionales	Posición topográfica alta, relieve de colinas y disectadas, suelos muy evolucionados y muy pobres, existencia de áreas inundables.
Planicies aluviales de desborde altas	Bosques Semidecíduos Bosques Ribereños Sabanas Estacionales Sabanas Hiperestacionales	Posición topográfica baja, pero asociada a la geomorfología aluvial, suelos menos pobres que en otros paisajes, existencia de planicies extensas. Desborde de ríos de aguas blancas
Sabanas inundables	Sabanas Semiestacionales Sabanas Hiperestacionales Bosques Ribereños	Posición topográfica más baja y asociada a la geomorfología aluvial, extensas planicies inundables, poco o mal drenaje en los suelos, suelos pobres. Desborde de ríos de aguas claras.
Llanuras Eólicas	Sabanas Estacionales Bosques Ribereños	Posición topográfica asociada a relictos de médanos o áreas eólicas, suelos muy bien drenados, muy pobres en nutrientes.
Depresión de Unare	Sabanas Estacionales Bosques Ribereños	Posición topográfica media, suelos bien drenados. Relictos de colinas terciarias. No drena en la cuenca del Orinoco.

características de los sistemas, de tal manera de entender su funcionamiento. Esta comprobación se realiza con base en el muestreo estratificado y representativo de todos los sistemas identificados en el mapa preliminar de ecosistemas. El muestreo estratificado significa que el número de unidades muestrales con las que serán corroborados los mapas deben ser distribuidas equitativamente entre el número y proporción (área) de cada uno de los sistemas ecológicos e intervenidos que se clasificaron. El muestreo debe ser representativo, debe considerar, basándose en el mapa de ecosistemas preliminar, la ubicación de las unidades muestrales en relación con la accesibilidad y otras características. Se deben seleccionar las unidades que representen a aquellas ubicadas en lugares inaccesibles. En cada unidad de muestreo se levanta información de manera sistemática que involucra

los aspectos o características que permiten determinar la estructura vertical y horizontal de las unidades y el paisaje, y su funcionamiento. La información colectada es referida a las siguientes características: a) ubicación general, que contiene la información de localización geográfica, fecha de toma, equipo y relaciones de contexto geográfico; b) características geológicas y geomorfológicas del terreno; c) características hidrológicas o de infraestructura hídrica como riego, si es el caso; d) características de la estructura de la vegetación, de acuerdo a la forma de vida predominante, estratos, cobertura, etc.; e) composición florística dominante con listado de especies, complementada con datos bibliográficos sobre colección de herbarios y otras fuentes; f) si no se trata de una unidad natural, caracterizar los cultivos o cobertura de la unidad y determinar

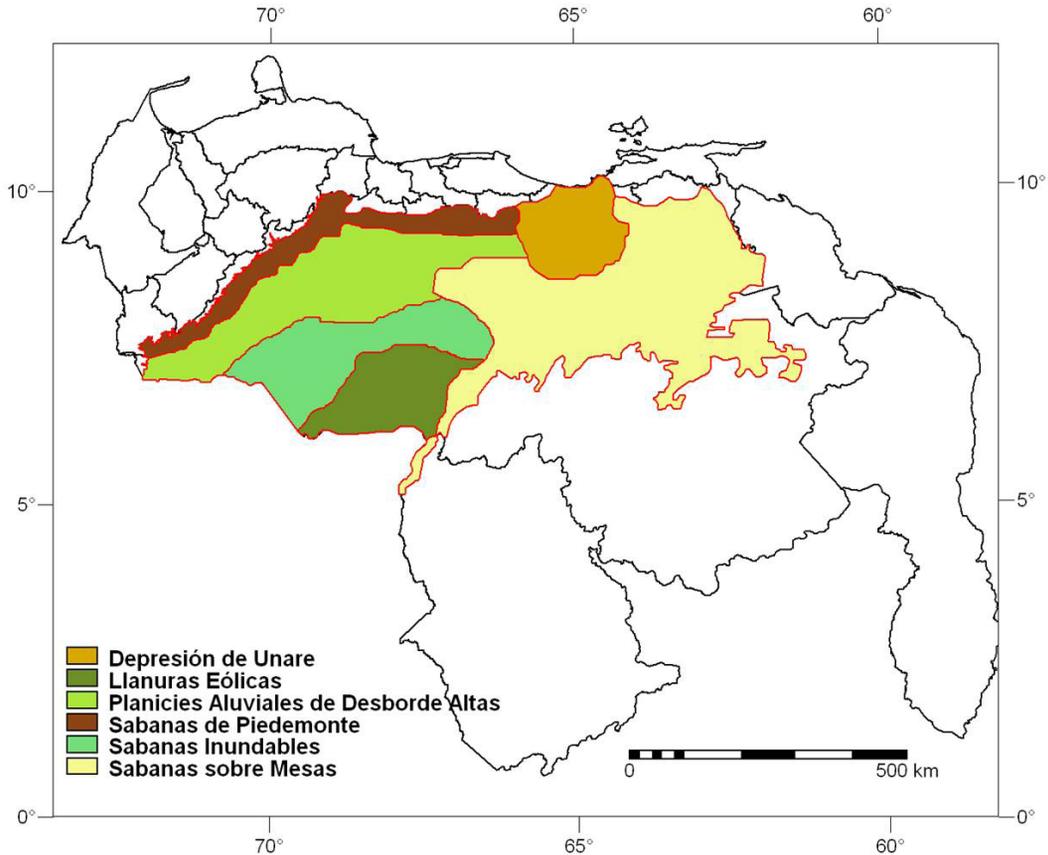


Figura 4. Mapa de distribución de los seis tipos de paisajes encontrados en la Ecorregión de los Llanos venezolanos. Mapa actualizado y modificado a partir de Sarmiento (1983) (Chacón-Moreno *et al.* en prensa)

cual es el principal uso dado. Toda la información colectada de manera sistemática es integrada en una base de datos donde es resumida y promediada para cada sistema ecológico. Igualmente en el proceso de colección de información de campo, se corrobora la ubicación de los límites actuales de los sistemas ecológicos y los mismos deben ser adecuados a los mapas preliminares.

Las unidades espaciales a delimitar en el reconocimiento ecológico son los SE, unidades espaciales cartografiables, de 10 a 1000 ha, que se recomienda sean mapeadas en escalas entre 1:250.000 y 1:100.000. Los SE son grupos de comunidades vegetales que tienden a coexistir en el paisaje debido a su relación con factores comunes y determinantes como procesos ecológicos, sustratos, y/o gradientes ambientales. Estos SE pueden ser vistos o analizados de manera aislada o pueden ser asociados a una estructura de clasificación jerárquica como la planteada en

este trabajo. Esto permite asociar a este concepto criterios de clasificación como variaciones climáticas (pluviosidad y estacionalidad) o edáficas que permiten definir los SE desde un punto de vista funcional.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN ECOLÓGICO INTEGRADO

El sistema que planteamos en este trabajo, además de sencillo en su estructura jerárquica, permite también la integración con las áreas no naturales, de tal manera que se convierte en una herramienta de mayor aplicabilidad no sólo para la determinación del estado de conservación de la diversidad biológica, sino que permite entender la cobertura de la tierra en su totalidad.

Actualmente existe una divergencia entre los sistemas de clasificación de la cobertura/uso de la tierra, *sensu stricto*, y los sistemas de clasificación

de áreas naturales. En este trabajo proponemos una integración de ambos enfoques. La necesidad de información sobre las coberturas de la tierra y usos del suelo ha dado origen a iniciativas y proyectos de clasificación con diferentes orientaciones u objetivos (USBR 1953, Green 1997, Castañeda *et al.* 2006), así como a sistemas de clasificación a distintas escalas (Fosberg 1961, Eiten 1968, UNESCO 1973, Anderson *et al.* 1976, Bossard *et al.* 2000, Di Gregorio y Jansen 2000), con visión y aplicabilidad global y regional, que muchas veces apuntan hacia la aceptación y estandarización de sus metodologías con la finalidad de uniformizar las clases de cobertura y adaptarlas a las necesidades de los usuarios con interés en la cartografía (Di Gregorio y Jansen 2000, IDEAM *et al.* 2008). Aunque la consolidación de un solo sistema no se ha llevado a cabo, estos han servido como herramienta a nivel mundial para efectuar levantamientos de información básica de la tierra, dirigidas hacia la planificación, ordenamiento, monitoreo y conservación (IDEAM *et al.* 2008). Es ineludible que entre las propuestas de clasificación o leyendas existentes hayan discrepancias en cuanto a estructuración, clasificadores y formas nomenclaturales que identifican la cobertura/uso, haciendo de estas fuentes disímiles y de escasa comparación (Pérez-Hoyos y García-Haro 2005). A pesar de las diferencias, ningún sistema y/o leyenda refleja en sus clases el funcionamiento a escala del paisaje de las unidades de cobertura/uso, que permita intuir premisas y entender el por qué de su ocupación. Presentamos una propuesta de leyenda integrada de clasificación de cobertura/uso donde las áreas naturales, pero sobre todo, las de reemplazo (cultivos y pasturas) manifiestan su funcionamiento mediante el concepto de SE (Josse *et al.* 2003). Se ofrece una contribución adicional

de tipificación más explícita y funcional, pero sobre todo interpretativa de las zonas intervenidas, permitiendo ejercer mejor gerencia sostenible de los recursos que ofrece el medio ambiente.

La idea central de la integración, consiste en la clasificación de tierras a mismo nivel ecosistémico, considerando las coberturas no naturales o intervenidas como agroecosistemas o sistemas secundarios con características de funcionamiento asociadas a los criterios de clasificación a nivel de paisaje. En el caso de Los Andes, el principal criterio para la definición y caracterización de los sistemas intervenidos sería la separación de pisos térmicos y bioclimáticos, mientras que en la sabana prevalecen los criterios asociados a la topografía y geomorfología.

Otro aspecto relevante de esta integración es utilizar, como base para desarrollar el sistema integrado de clasificación de coberturas/ usos, los sistemas o leyendas de clasificación de trascendencia global pero de escala más regional, que incluyen tanto coberturas naturales como antropizadas: FAO (Di Gregorio y Jansen 2000), CORINE Land Cover Europa (CLC) (Bossard *et al.* 2000), Servicio Geológico de Los Estados Unidos (SUSG) (Anderson *et al.* 1976) y Unión Geográfica Internacional (UGI). De estos sistemas se tomaron en cuenta aspectos tales como la estructura de las leyendas, el número de clasificadores utilizados y niveles jerárquicos, de tal manera de recopilar y analizar la información básica necesaria para construir la leyenda integrada.

Para el caso de Los Andes, donde el criterio bioclimático es fundamental para la definición del funcionamiento de los SE a nivel de paisaje, se construyó la leyenda integrada de clasificación de coberturas/ usos y ecosistemas de los Andes venezolanos (Tovar 2013). En esta leyenda se



Figura 5. Definición y conexión de conceptos alrededor de Sistemas Ecológicos y Ecosistemas

insertan las áreas de reemplazo agropecuario dentro del concepto de SE siendo aquí en el que intervienen los pisos ecológicos y el bioclima como principales clasificadores que se enlazan a la terminología fisonómica de la cobertura vegetal. Las coberturas naturales y de reemplazo (cultivos y pasturas) al estar compuestas en la leyenda por el componente bioclimático, convierten la identificación de las unidades espaciales en una herramienta de mayor interpretabilidad, permitiendo entender el por qué de su ocupación e intuir su funcionalidad en el paisaje ecológico. En este sentido, por ejemplo, si se tiene un cultivo anual en un piso montano con un régimen de lluvias pluviestacional y una cantidad de agua disponible dada por la condición subhúmeda (cultivo anual montano pluviestacional subhúmedo) se puede interpretar que: el cultivo de ciclo corto se encuentra en un área donde al menos para una época del año la precipitación es baja, y la disponibilidad de agua, que pueda estar presente para recuperar las pérdidas que tiene por evapotranspiración no es la más indicada. Se puede intuir además que, bajo estas condiciones la cantidad de agua utilizada por los productores agropecuarios y frecuencia del riego va a ser mayor. Desde el punto de vista de la planificación, uso sostenible de los recursos y control de uso de la tierra, se puede decir que los cultivos ideales para esta zona serían los de secano, por necesitar menos cantidad de agua. Además, estos términos bioclimáticos permitirían predecir el tipo de vegetación natural ó ecosistema que los cultivos están reemplazando. El detalle de la elaboración e integración de leyendas de cobertura y sistemas ecológicos es desarrollado en Tovar (2013).

APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN ECOLÓGICO

En esta sección del trabajo presentaremos de manera resumida la aplicación del enfoque conceptual-metodológico para una serie de mapas de ecosistemas generados para diversas ecorregiones y paisajes en Venezuela.

El primer ejemplo de la aplicación de esta metodología para Venezuela es la elaboración del Mapa de Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro: Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela (Josse *et al.* 2009a,b). Los principales logros de este trabajo se ven reflejados en la creación de un equipo de trabajo regional que

desarrolló la propuesta y cuyos productos finales están resumidos en tres: el mapa de ecosistemas (Josse *et al.* 2009b), el informe técnico que describe la metodología de trabajo y la descripción de los ecosistemas (Josse *et al.* 2009a), y un atlas divulgativo de los productos antes señalados.

Como se señala en el informe técnico, la información de Ecuador, Colombia y Bolivia, y Perú (parcialmente) proviene de mapas de ecosistemas previamente realizados, no así para el caso de Venezuela. Este sería el primer mapa de ecosistemas que se elabora para Venezuela, siguiendo el enfoque discutido en este trabajo. Sin embargo y dada su integración a un mapa regional, no tiene un nivel jerárquico de paisaje, sino un detallado uso del bioclima (Rivas-Martínez 2004) para separar los pisos térmicos y la diferenciación de humedad y precipitación (macrogrupos). Otros aspecto importante no incorporado en este mapa, es la existencia de una descripción para las áreas naturales, de tal manera que estas áreas se representan como un una gran unidad de intervención.

El Mapa de Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro, sección Venezuela, está constituido por dos áreas. Un área para toda la Cordillera de Mérida que se extiende desde el Sur de la ciudad de Barquisimeto (extremo noreste) y termina en el límite político de Venezuela con Colombia en el estado Táchira (extremo suroeste) (Figura 6). La segunda área corresponde a la Sierra de Perijá en el estado Zulia (Figura 7). Se lograron definir 16 Ecosistemas para los Andes venezolanos de los 113 discriminados en el Mapa de Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro (Josse *et al.* 2009b). Todos estos 16 ecosistemas están presentes en la Cordillera de Mérida; mientras que en la Sierra de Perijá solo se encontraron cuatro de los 16.

En la Tabla 2 se presenta la distribución de la superficie del Mapa de Ecosistemas discriminado para cada cordillera (Perijá y Mérida) y para cada ecosistema, indicando además el porcentaje de área para cada ecosistema. El área de Perijá representa 14,2% del área total (> 5.300 km²); mientras que la Cordillera de Mérida contribuye con 85,8% (> 32.000 km²). Debe resaltarse que en Perijá solo aproximadamente el 25% del área está intervenida. Del total de superficie que suma más de 37.400 km², aproximadamente 48% mantiene una cobertura natural, donde predominan los bosques pluviales montanos y montanos bajos con más de 22% del total de la superficie. Por otro lado, los ecosistemas que representan al páramo (ecosistemas altimontanos y altoandinos) cubren

una superficie de 328.108 ha, lo cual representa 8,6% del área del Mapa de Ecosistemas de los Andes venezolanos, y 0,35% respecto a la superficie territorial venezolana.

Con base en este mapa, se realizó un análisis simple del estado de conservación de estos ecosistemas en relación con el porcentaje de área de cada ecosistema representado en los parques nacionales. En el área de estudio hay 13 parques nacionales (PN), 12 de ellos en la Cordillera de Mérida. De los 16 ecosistemas reportados, solo dos, las sabanas montañas y las selvas pluviales piemontanas no tienen representación en los 13 PN. Del total de área del mapa de ecosistemas, aproximadamente 33 % está bajo la figura de PN (1.239.736 ha). Esto significa que gran parte de los ecosistemas están bajo protección legal, lo cual se expresa en que casi la mitad de la superficie aún conserve sus ecosistemas naturales. Sin embargo, no todos los ecosistemas están igualmente representados. En la Figura 8, se presenta el porcentaje de representatividad de cada ecosistema, áreas intervenidas y ciudades dentro de las áreas de PN. Se observa que los ecosistemas paramunos están incluidos en gran porcentaje en los PN, incluso los ecosistemas de mayor altitud como el páramo altiandino está casi totalmente protegido; mientras que casi 80% de los frailejonales están en los PN. Los bosques tanto montanos como montano bajos están representados en los PN con un 40 a 60%. Importante destacar que las áreas intervenidas existen en 20% dentro de los PN.

Con el fin de desarrollar un Plan Maestro para la Gestión de las Cuencas de los Ríos Aroa y Yaracuy del Estado Yaracuy se elaboró un estudio integral que incluyó la cobertura vegetal y uso actual de las tierras en dichas cuencas. Para esto, se planteó como objetivo final elaborar un mapa actual de los ecosistemas y sistemas de reemplazo de las cuencas de los ríos Aroa y Yaracuy del estado Yaracuy en formato digital.

Se obtuvieron dos mapas correspondientes a las cuencas de los ríos Aroa y Yaracuy, partiendo de una leyenda jerárquica que se inicia con la definición de la ecorregión y paisajes que la integran. Se definieron 2 paisajes, dentro de los cuales se describieron 5 sistemas ecológicos y 10 sistemas de intervención que incluyen los sistemas en descanso o abandonados. Estos mapas fueron elaborados principalmente a partir de 5 imágenes satelitales SPOT de fechas recientes (Ver anexo 1 con identificación de las imágenes). Se elaboró un

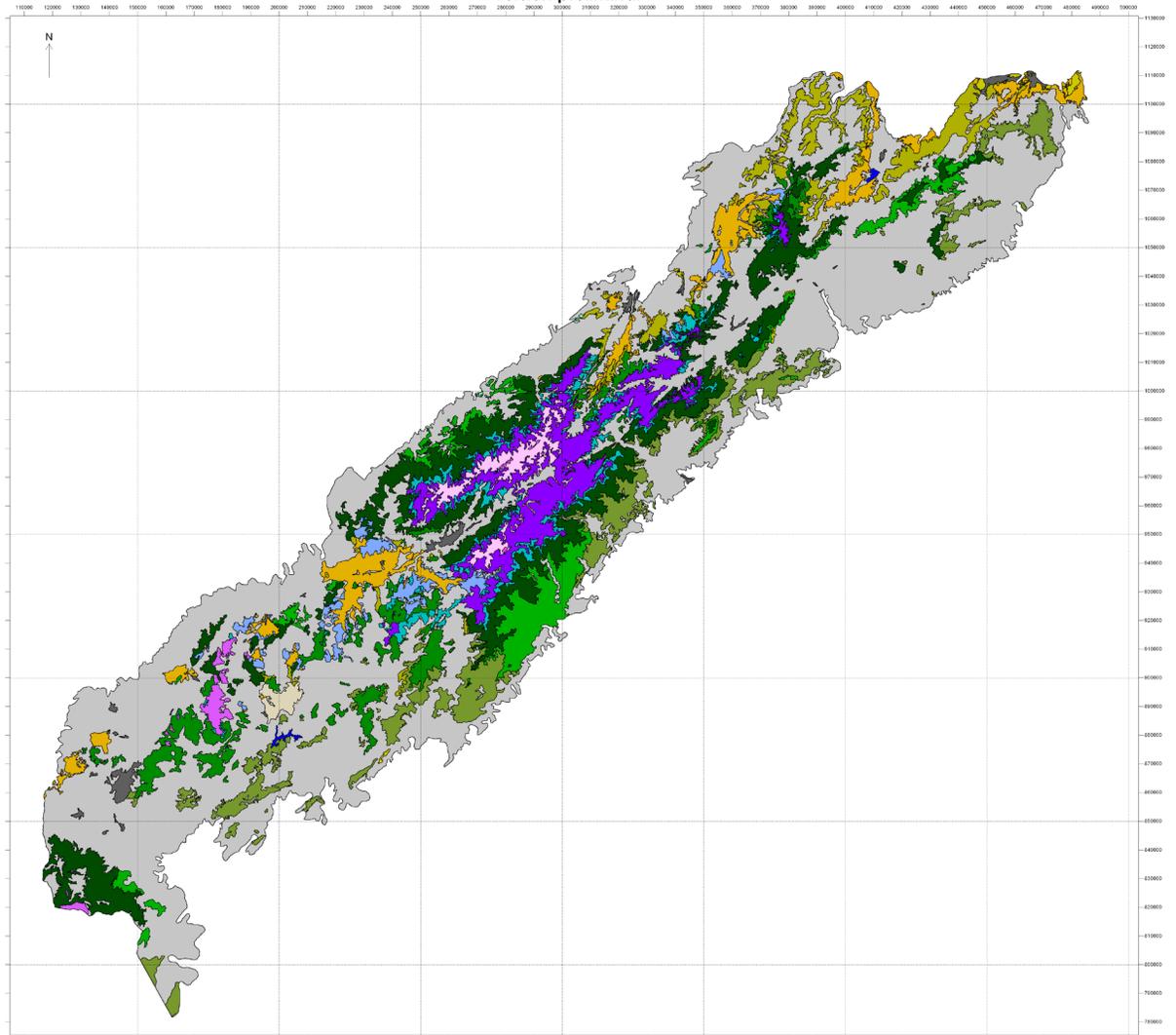
mapa preliminar que luego fue comprobado con trabajo de campo donde se verificaron las unidades y se colectó información botánica que se reflejó en la descripción de las unidades. Finalmente se editó y se preparó el mapa final de ambas cuencas.

Utilizando los criterios de pisos térmicos, precipitación y geomorfología, se elaboró una zonificación que permitió la definición de los sistemas ecológicos y sistemas de intervención y su diferenciación en el mapa. El sistema de clasificación utilizado en este trabajo refleja en primera instancia la localización del área de estudio en un marco regional que permita entender los procesos y relaciones de los sistemas encontrados. En este sentido podemos ubicar el área de estudio dentro de la Ecorregión de Bosques de la Cordillera de la Costa, la cual se caracteriza por presentar un clima tropical estacional de sabana (Aw según Köpen) con algunos lugares de mayor precipitación en la estación húmeda que tiende a presentar un clima tropical monzónico (Am según Köpen). En especial la zona de estudio presenta precipitaciones en un intervalo que va de 850 mm anuales en las zonas más secas, a 1550 mm anuales de precipitación en las zonas de mayores altitudes. Además de esta caracterización climática, el área de estudio presenta dos grandes unidades geomorfológicas distinguibles: la zona montañosa correspondiente a los límites naturales de las cuencas, con predominancia de la Cordillera de Aroa como divisoria, que se observa con altitudes por encima de los 750 m, y los dos amplios valles correspondientes a los ríos Aroa y Yaracuy.

A partir de la combinación de estos dos criterios: clima y geomorfología, se distinguen dos principales paisajes que contienen los sistemas ecológicos del área de estudio asociados a la característica climática y ubicación sobre la unidad geomorfológica local. Siguiendo este mismo criterio se distinguen los principales sistemas de intervención. El criterio más importante para dividir o separar los dos tipos de paisaje es el piso ecológico que en este caso es fuertemente determinado por el gradiente altitudinal, distinguiendo el paisaje submontano o montano bajo que presenta una mayor precipitación y por ende condiciones ecológicas diferentes, y el paisaje del piso piemontano donde la condición térmica es más homogénea y menos dependiente del gradiente altitudinal. Este paisaje piemontano o basimontano tiene a su vez dos sub-paisajes diferenciados por la geomorfología local de las

MAPAS DE ECOSISTEMAS: ENFOQUE CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

MAPA DE ECOSISTEMAS DE LOS ANDES VENEZOLANOS CORDILLERA DE MERIDA Versión preliminar



0 25 km
1 : 500000

Leyenda

Ag: Agua	CES409.112: Bosques pluviales montano bajos de los Andes del Norte
CES409.120: Arbustal montano vérico interandino de los Andes del Norte	CES409.114: Bosques pluviales montanos de los Andes del Norte
CES409.099: Arbustales y frailejonales altmontanos paramunos	I Urb: Ciudades y poblados
CES409.928: Bosque montano bajo pluvestacional húmedo de los Andes del Norte	CES409.122: Matorrales edafoferófilos en cojín altoandinos paramunos
CES409.118: Bosque montano bajo pluvestacional subhúmedo de los Andes del Norte	CES409.121: Matorrales séricos interandinos montano bajos
CES409.104: Bosques altmontanos norte-andinos de Polylepis	CES409.124: Pajonal arbustivo altmontano paramuno
CES409.105: Bosques altmontanos norte-andinos siempreverdes	CES409.128: Sabana arbolada montano baja de los Andes del Norte
CES409.110: Bosques montanos pluviales de los Andes del Norte	CES409.130: Vegetación geiturbada y edafoferófila subtrival paramuna
CES409.111: Bosques montanos pluviestacionales de los Andes del Norte	AI: Areas Interveniadas
CES409.113: Bosques o Selvas pluviales piemontanas	

Autores: Chacón-Moreno, E., Márquez, T.C.,
Rodríguez, M. y Ulloa, A. (2007)
Basado en interpretación digital y visual de
imágenes de satélite LANDSAT de los años 2001
y 2002.
Coordenadas UTM (WGS84)



Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas
Facultad de Ciencias
Universidad de Los Andes
Mérida - Venezuela

Figura 6. Mapa de Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Sección Venezuela – Cordillera de Mérida. Se presenta la Leyenda de Ecosistemas (Tomado de Josse et al. 2009)

Mapa de Ecosistemas de los Andes venezolanos Cordillera de Perijá

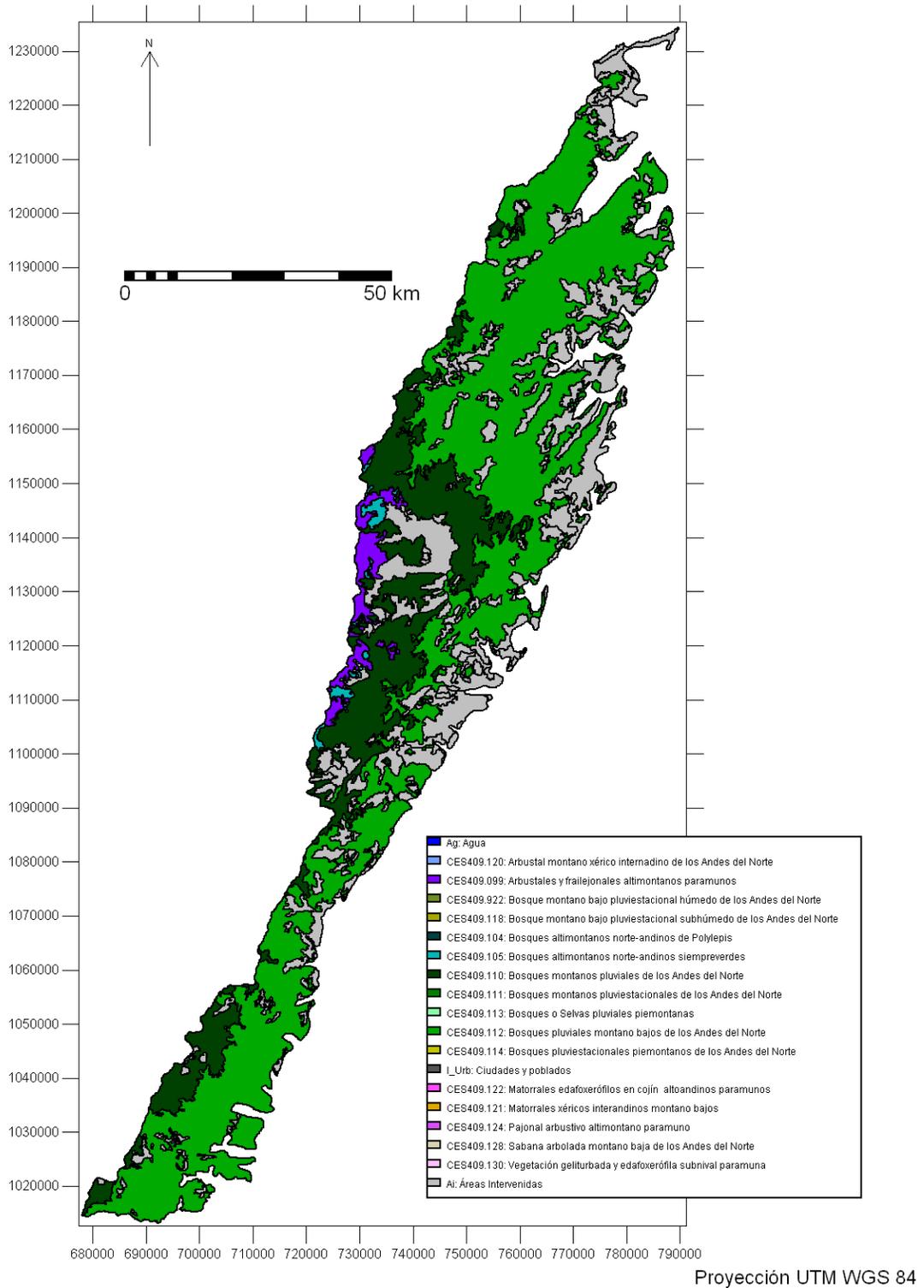


Figura 7. Mapa de Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Sección Venezuela – Sierra de Perijá. Se presenta la Leyenda de Ecosistemas (Tomado de Josse *et al.* 2009)

MAPAS DE ECOSISTEMAS: ENFOQUE CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

Tabla 2. Distribución de la superficie del Mapa de Ecosistemas. Se discrimina la superficie por cada ecosistema en los dos sectores (Cordillera de Mérida y Cordillera de Perijá)

Ecosistema	Perijá		Mérida		Total	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Agua			2.704	0,1	2.704	0,07
Ciudades y poblados			26.993	0,8	26.993	0,72
Áreas Intervenidas	133.603	25,2	1.779.568	55,4	1.913.171	51,15
Arbustales y frailejonales altimontanos paramunos	12.242	2,3	169.402	5,3	181.643	4,86
Matorrales edafoxerófilos en cojín altoandinos paramunos			982	0,0	982	0,03
Pajonal arbustivo altimontano paramuno			17.211	0,5	17.211	0,46
Bosques altimontanos norte-andinos de Polylepis			1.110	0,0	1.110	0,03
Bosques altimontanos norte-andinos siempreverdes	4.280	0,8	78.845	2,5	83.125	2,22
Vegetación geliturbada y edafoxerófila subnival paramuna			39.036	1,2	39.036	1,04
Arbustal montano xérico internadino de los Andes del Norte			46.967	1,5	46.967	1,26
Bosques montanos pluviales de los Andes del Norte	95.206	17,9	335.431	10,5	430.638	11,51
Bosques montanos pluviestacionales de los Andes del Norte			125.916	3,9	125.916	3,37
Bosque montano bajo pluviestacional húmedo de los Andes del Norte			199.123	6,2	199.123	5,32
Bosque montano bajo pluviestacional subhúmedo de los Andes del Norte			109.369	3,4	109.369	2,92
Bosques pluviales montano bajos de los Andes del Norte	285.543	53,8	123.814	3,9	409.357	10,94
Matorrales xéricos interandinos montano bajos			133.633	4,2	133.633	3,57
Sabana arbolada montano baja de los Andes del Norte			11.507	0,4	11.507	0,31
Bosques o Selvas pluviales piemontanas			995	0,0	995	0,03
Bosques pluviestacionales piemontanos de los Andes del Norte			7.147	0,2	7.147	0,19
Total	530.875	14,2	3.209.753	85,8	3.740.628	100,00

colinas y faldas de la montaña y las zonas de anchos valles y/o llanuras, algunas inundables, que son de mayor utilización agrícola.

Además de estos criterios asociados a la condición térmica del gradiente altitudinal y la geomorfología, se utiliza el criterio de cantidad de lluvia y estacionalidad, que permiten establecer hasta cuatro tipos diferentes de bosques. La definición de los sistemas ecológicos lleva implícito la caracterización de estos cuatro criterios antes mencionados: piso térmico, precipitación total, estacionalidad y geomorfología local. A manera de ejemplo se tiene que el bosque montano bajo pluviestacional húmedo define a un tipo de vegetación boscosa, localizado en el paisaje o piso montano bajo, con estacionalidad en las precipitaciones y húmedo durante la estación de lluvias de esta estacionalidad. En términos más comunes de la nomenclatura utilizada, este tipo de bosque corresponde a una vegetación de bosque o selva semicaducifolia montano bajo.

Este mapa presenta la cobertura de SE y sistemas de reemplazo (sistemas de intervención) de dos cuencas ubicadas al norte del estado Yaracuy que tienen como característica principal la presencia de tres cordilleras o cordones montañosos, dos de los cuales sirve de límite a las cuencas por el lado norte y sur, definiendo un paisaje de montañas con dos grandes valles en su interior, que prácticamente están destinados a una agricultura intensiva. El ecosistema predominante es el bosque nublado en las zonas de mayor altitud, bosque semicaducifolio en las áreas de piedemonte y el bosque húmedo tropical en la zona baja. Estos bosques han sido altamente alterados y deforestados, quedando sólo algunos importantes remanentes en las áreas más altas de las montañas. En la Figura 9 se presenta el Mapa de Ecosistemas de las cuencas de los ríos Aroa y Yaracuy y la leyenda jerárquica en la Tabla 3.

Otro ejemplo de aplicación de la metodología ha sido la elaboración de Mapa de Ecosistemas del estado Portuguesa, el cual surge como necesidad de contar con una herramienta para la planificación y cuantificación de hábitat para diversas especies en este estado.

El estado Portuguesa es considerado por la mayoría de las personas como un estado Llanero, pues la mayor parte de su territorio pertenece a la cuenca sedimentaria de los Llanos del Orinoco. Sin embargo, existe un área al norte del estado que se encuentra en Los Andes. En este ejemplo se muestra como se puede aplicar el enfoque

conceptual y metodológico antes descrito para un área que particularmente comparte dos ecorregiones: Los Andes y Los Llanos.

Para la elaboración del mapa, se usaron imágenes Landsat 7 de fechas: 18/03/2000 (p05r53), 15/12/2001 (p5r54) y 16/06/2001 (p6r45), con una su resolución espacial de 30 metros (pixel) y su resolución espectral de 6 bandas. Para la interpretación del área dentro de la Ecorregión de Los Andes, se utilizó Josse *et al.* (2009a,b) y una reinterpretación satelital para las áreas intervenidas.

Para este mapa se conformó una leyenda única para el Edo. Portuguesa que contiene todos los ecosistemas diferenciados en las ecorregiones y paisajes. El mapa resultante tiene la característica general de presentar un patrón heterogéneo, con una alta fragmentación de los ecosistemas naturales, configuración espacial que es el resultado de la alta intervención agrícola (Figura 10).

Este mapa presenta la cobertura de ecosistemas y sistemas de reemplazo del estado Portuguesa que tiene como característica principal la presencia de la Ecorregión de Los Andes al norte del estado y los llanos del Orinoco en la zona media y sur del estado. Cada una de estas ecorregiones está compuesta por varios tipos de paisajes. En el caso de la Ecorregión de Los Andes, dichos paisajes están definidos por los pisos térmicos determinados por el gradiente altotérmico de las montañas (Josse *et al.* 2009a), mientras que los paisajes de los llanos del Orinoco están definidos por criterios geomorfológicos y de funcionamiento (Chacón-Moreno *et al.* en prensa). Tanto en la zona de montaña como en la zona llanera, los ecosistemas han sido reemplazados principalmente por la agricultura con sistema de riego en las planicies aluviales, las pasturas para ganadería extensiva y semi-intensiva, y las plantaciones forestales para la producción de pulpa para papel.

En la Tabla 4 se presenta la leyenda del Mapa de Ecosistemas del estado Portuguesa, preparada en tres niveles jerárquicos y en dos grupos o clases de sistemas: naturales e intervenidos.

La elaboración de mapas de ecosistemas, utilizando el enfoque conceptual y metodológico presentado, se ha implementado como base primaria para el análisis y aplicación en diversos casos particulares. El primero de estos casos es el mapa de zonas de riesgo de la enfermedad de Chagas en el estado Lara (Sulbarán-Romero 2009). En esta aplicación, la elaboración de un mapa de ecosistemas estuvo

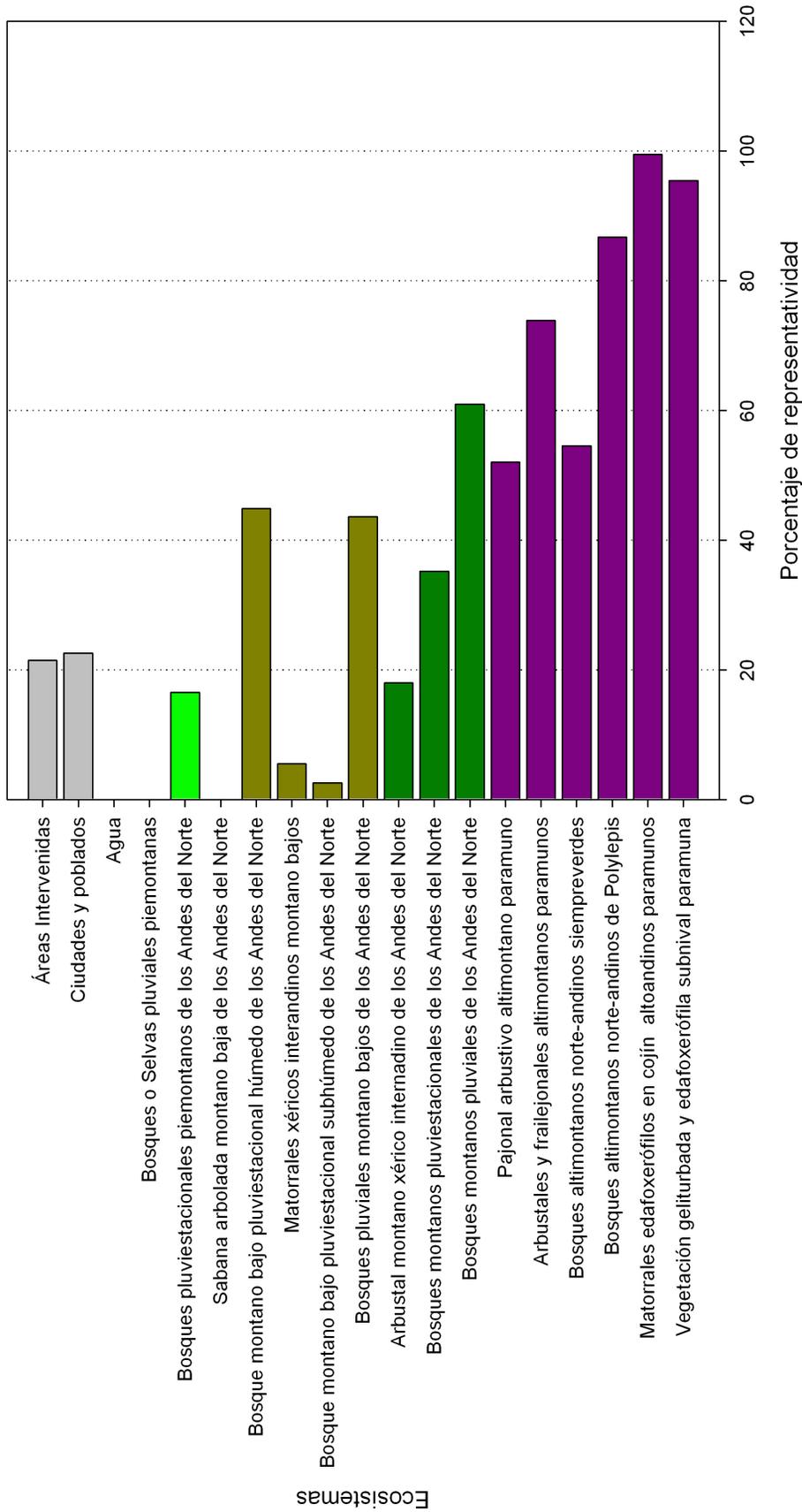


Figura 8. Porcentaje de representatividad de cada ecosistema, áreas intervenidas y ciudades dentro de las áreas de Parques Nacionales (PN) en relación al Mapa de Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro, sección Venezuela

fundamentada en la necesidad de contar con una base ecológica para el análisis de distribución y riesgo de la una enfermedad transmitida por un vector como lo es la enfermedad de Chagas. El trabajo se desarrolló en el estado Lara el cual es considerado como una zona endémica para la enfermedad de Chagas. En zonas rurales de esta entidad, tanto la incidencia como la prevalencia de la infección con *Trypanosoma cruzi* sobrepasan a la media nacional (Traviezo y Bonfante-Garrido 2004).

Es bien conocido en todo el hemisferio que la forma más efectiva de control de esta enfermedad es el control vectorial. Una manera de determinar la distribución y zonas de riesgo de esta enfermedad es con el uso de herramientas que permitan la integración, si bien no de todos los factores, de la mayor cantidad posible. Uno de estos factores, y quizás uno de los más importantes, es la cobertura de la tierra enmarcada en un sistema de clasificación que permita definir el funcionamiento de los SE y de reemplazo que existan, y de esta manera vincularlos con los hábitat de los vectores de la enfermedad. Sulbarán-Romero (2009) presenta la elaboración de un modelo espacial de integración de variables, entre ellas el mapa de ecosistemas, para la determinación de zonas de riesgo de la enfermedad de Chagas para los Municipios Morán y Andres Eloy Blanco del estado Lara.

Una de las aplicaciones en la que se ha utilizado este enfoque metodológico es la planificación para la conservación. En este sentido se han elaborado mapas de ecosistemas que permiten sentar bases para diferentes análisis. Ulloa (2009) utiliza este enfoque para el análisis y definición de prioridades de conservación en las sabanas inundables venezolanas, donde la base de distribución y cobertura de los ecosistemas fue fundamental para definir áreas prioritarias. Otro ejemplo es la elaboración de mapas de ecosistemas en el parque nacional Sierra Nevada para evaluar la actual zonificación del parque en su plan de ordenamiento, reglamento y uso (Márquez, en preparación). También se ha utilizado este enfoque para la elaboración de corredores ecológicos en la reserva forestal de Caparo. Mediante el análisis y procesamiento de imágenes satelitales y el uso de SIG, se definieron seis sistemas ecológicos o ecosistemas y cuatro sistemas intervenidos, y se logró determinar la disposición espacial de los fragmentos de ecosistemas de bosque en la zona de estudio y se definieron estrategias conservacionistas de corredores ecológicos

(Betancourt 2013, Betancourt y Chacón-Moreno, en preparación).

RELEVANCIA DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN ECOLÓGICO

Dada la fuerte transformación que están sufriendo los ecosistemas naturales, el problema de la pérdida de la biodiversidad natural y de los servicios ambientales como consecuencia del cambio de su uso a tierras agrícolas y por el calentamiento global, es necesario planificar la administración de la biosfera.

En Venezuela se ha formulado lineamientos en materia ambiental y en conservación (MARN 2001, MARN 2005, RBV 2007, MPPA 2010), donde se proponen lo imperante de prestar atención al calentamiento global y lo importante que es la biodiversidad nacional, considerada en este país como una de las diez más altas del mundo. Para la materialización de estas estrategias es fundamental contar con una base cartográfica actualizada de los ecosistemas existentes. Creemos que la propuesta presentada, permitirá generar las bases para el desarrollo de estas estrategias y además contribuir para cubrir algunos de los siguientes aspectos: garantizar la administración de la biosfera para producir beneficios sustentables, incentivar un modelo de producción y consumo ambientalmente sustentable, garantizar la conservación y uso sustentable del recurso hídrico, propiciar la recuperación de áreas naturales y ordenar y reglamentar el uso de las áreas bajo régimen de administración especial. Permitirá igualmente planificar y ordenar las áreas naturales y observar los procesos de intervención con miras a garantizar su conservación y recuperación.

Este enfoque metodológico permite el acoplamiento de estudios y mapas previos, que debidamente evaluados, puedan ser homologados e incorporados en el sistema de clasificación. De igual manera los avances que se han realizado en la caracterización y evaluación de la pérdida de ecosistemas en Venezuela, y la evaluación de las amenazas que se cierne sobre estos (Rodríguez *et al.* 2010), puede ser acoplada y asociada dentro de este sistema de clasificación, de tal manera de contribuir en estos estudios sobre conservación de ecosistemas.

El enfoque de Sistemas Ecológicos y Sistemas de Intervención, no sólo permite ubicar y determinar la cobertura de los mismos, sino que permite la definición de los procesos que determinan el

MAPA DE ECOSISTEMAS DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS AROA Y YARACUY, EDO. YARACUY

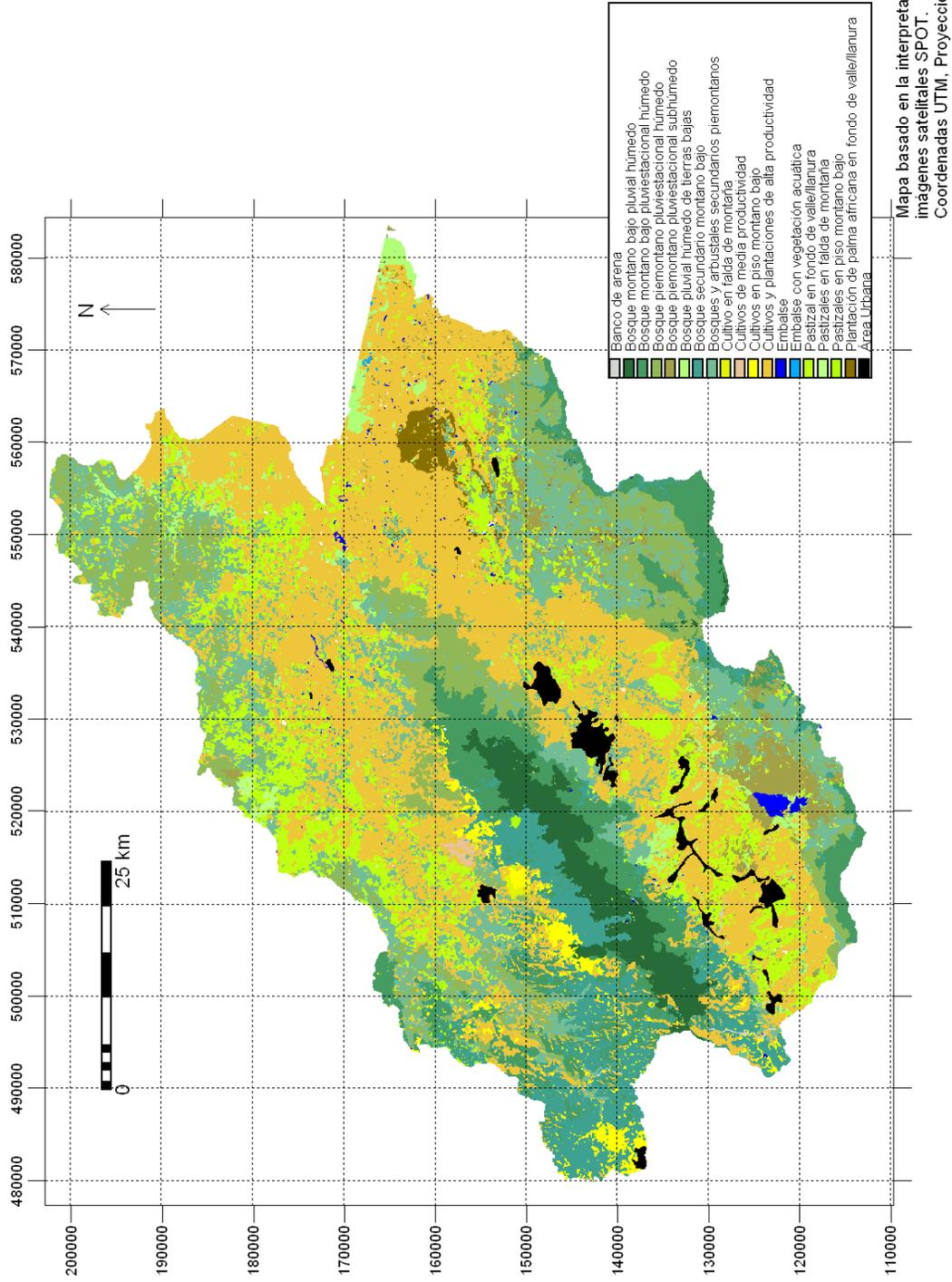


Figura 9. Mapa de Ecosistemas de las cuencas de los ríos Aroa y Yaracuy en el Estado Yaracuy. Se presenta la Leyenda de Ecosistemas

Tabla 3. Leyenda y estructura jerárquica del sistema de clasificación empleado en el mapa final de ecosistemas de las cuencas de los ríos Aroa y Yaracuy. Para efectos de su descripción y definición los ecosistemas o unidades de paisaje son denominados sistemas ecológicos y sistemas de intervención

Ecorregión	Paisaje	Sistema: Ecológico/Intervención	TS
Bosques de la Cordillera de la Costa	Piso Montano Bajo (Altitud > 600 m) Termotropical (Rivas-Martínez)	Bosque montano bajo pluvial húmedo	N
		Bosque montano bajo pluviestacional húmedo	N
		Bosque secundario montano bajo	I
		Cultivos en piso montano bajo	I
		Pastizales en piso montano bajo	I
	Piso Piemontano o Basimontano (< 600 m) Infratropical (Rivas-Martínez)	Bosque piemontano pluviestacional húmedo	N
		Bosque piemontano pluviestacional subhúmedo	N
		Bosque pluvial húmedo de tierras bajas	N
		Bosques y arbustales secundarios piemontanos	I
		Cultivo en falda de montaña	I
		Pastizales en falda de montaña	I
		Pastizal en fondo de valle/llanura	I
		Plantación de palma africana en fondo de valle/llanura	I
		Cultivos y plantaciones de alta productividad	I
Cultivos de media productividad	I		
Ríos, embalses y lagunas			
Área urbana			

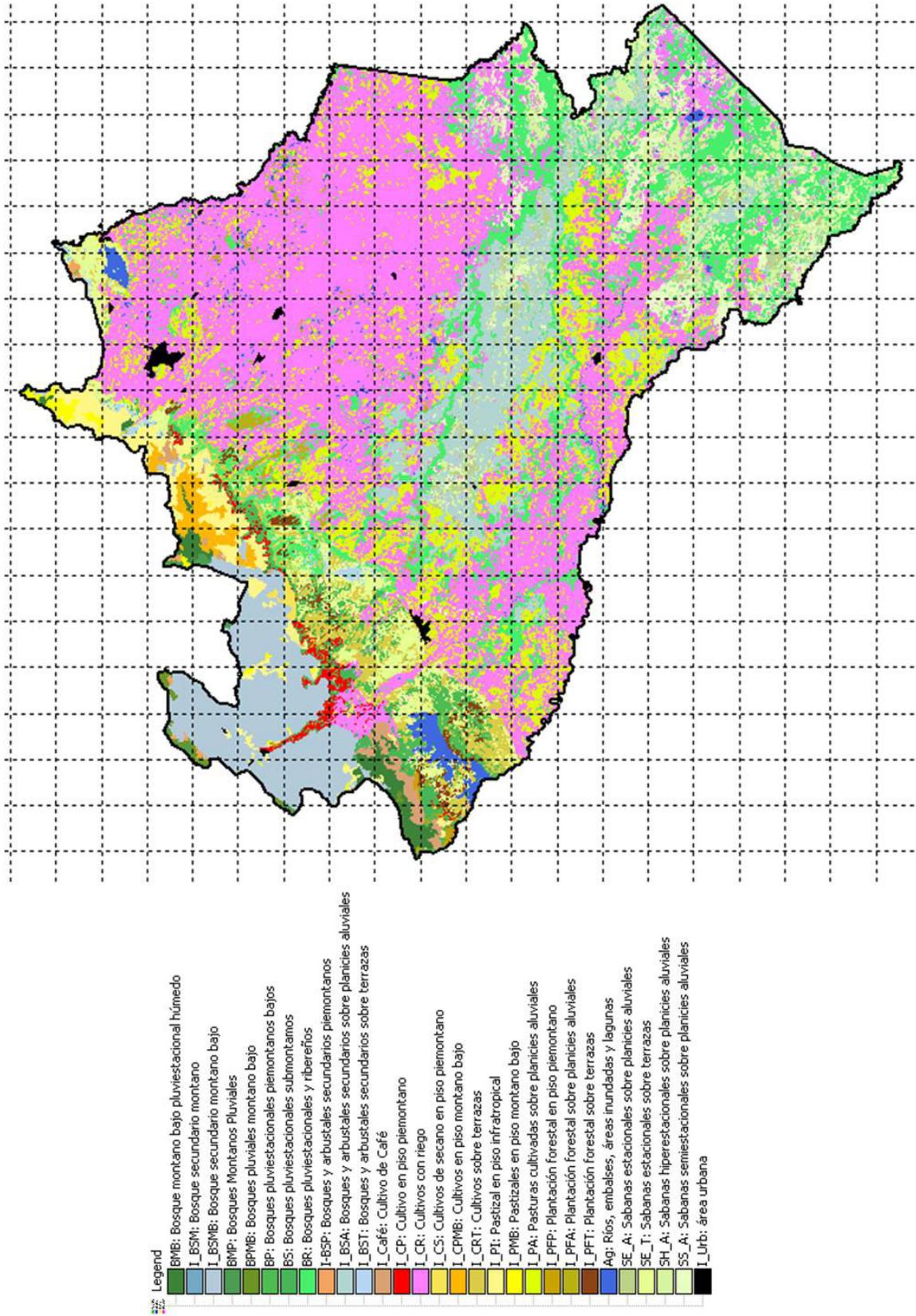


Figura 10. Mapa de Ecosistemas del estado Portuguesa y su leyenda. Las cuadrículas tienen una extensión de 10Km x 10Km

Tabla 4. Leyenda jerárquica anidada de Ecorregiones, Paisajes y Ecosistemas del estado Portuguesa usada en el mapa de ecosistemas de dicho estado

Ecorregión	Paisaje	Sistema: Ecológico/Intervención	TS	
Los Andes	Submontano	Bosque montano bajo pluviestacional húmedo	SE	
		Bosques Montanos Pluviales	SE	
		Bosques pluviales montano bajo	SE	
		Bosques pluviestacionales submontanos	SE	
		Bosque secundario montano	SI	
		Bosque secundario montano bajo	SI	
		Cultivo de Café	SI	
		Cultivos en piso montano bajo	SI	
		Pastizales en piso montano bajo	SI	
		Los Andes	Piemontano	Bosques pluviestacionales piemontanos bajos
Bosques y arbustales secundarios piemontanos	SE			
Cultivo en piso piemontano	SI			
Cultivos de secano en piso piemontano	SI			
Pastizal en piso infratropical	SI			
Plantación forestal en piso piemontano	SI			
Los Llanos	Sabanas de Piedemonte (Terrazas)	Sabanas estacionales sobre terrazas	SE	
		Bosques y arbustales secundarios sobre terrazas	SI	
		Cultivos sobre terrazas	SI	
		Plantación forestal sobre terrazas	SI	
	Los Llanos	Planicies aluviales altas	Bosques pluviestacionales y ribereños	SE
			Sabanas estacionales sobre planicies aluviales	SE
			Sabanas hiperestacionales sobre planicies aluviales	SE
			Sabanas semiestacionales sobre planicies aluviales	SE
			Bosques y arbustales secundarios sobre planicies aluviales	SI
			Cultivos con riego	SI
Pasturas cultivadas sobre planicies aluviales	SI			
Plantación forestal sobre planicies aluviales	SI			
Ríos, embalses, áreas inundadas y lagunas				
Área urbana				

funcionamiento de estos ecosistemas en el contexto ecorregional y paisajístico, lo cual permite analizar la sustentabilidad del ambiente. Al incluir el enfoque de funcionamiento de los ecosistemas, además de la estructura y composición, se podrá lograr una visión integral ecológica del territorio, y constituirá una base para el monitoreo de los cambios y transformaciones de los ecosistemas terrestres y acuáticos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al financiamiento otorgado por: Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación a través del proyecto “Ecorregiones, Paisajes y Ecosistemas de Venezuela. Análisis de la transformación de ecosistemas por efecto del Cambio Climático, ECOMAP_CC” (FONACIT 2011000350); Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad de Los Andes (CDCHT-ULA) a través de los proyectos C-1567-08-01-EM y C-1581-08-01-EM, y el Fondo Mundial para el Ambiente a través del Proyecto Páramo Andino (PNUMA-GEF). Gracias al Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT-ULA) por el apoyo en la elaboración del mapa del Edo. Yaracuy. William Tovar y Enrique Sulbarán obtuvieron beca de FUNDAYACUCHO durante sus estudios de Maestría y Alma Ulloa obtuvo beca de la Misión Ciencia durante sus estudios de Maestría. Agradecimiento a los investigadores del proyecto ECOMAP y las instituciones que representan por el apoyo, comentarios y enriquecimiento en la aplicación del sistema de clasificación. Agradecimiento especial a Carmen Josse y Jon Paul Rodríguez por los comentarios y sugerencias al manuscrito que permitieron su enriquecimiento

LITERATURA CITADA

ANDERSON, J., HARDY, E., ROACH, J. y R. WITMER. 1976. A land use and land cover classifications system for use with remote sensor. Geological Survey United State, Washington

ATAROFF, M. y L. SARMIENTO. 2003. Diversidad en los Andes de Venezuela. I Mapa de Unidades Ecológicas del Estado Mérida. CD-ROM, Ediciones Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Universidad de Los Andes,

Mérida, Venezuela.

- BAILEY, R.G. 1995. Description of the Ecoregions of the United States. U.S. Forest Service Miscellaneous Publication 1391 (Revised), with Separate Map at a Scale of 1:7,500,000, Washington, D.C., USA.
- BERROTERÁN, J.L. 1988. Paisajes Ecológicos de Sabanas en Llanos Altos Centrales de Venezuela. ECOTROPICOS 1(2):92-107
- BETANCOURT, A. 2013. Corredores ecológicos como estrategia para la conservación de los bosques semidecíduos de la Reserva Forestal de Caparo, Edo. Barinas, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida
- BETANCOURT, A. y E. CHACÓN-MORENO. En preparación. Corredores ecológicos como estrategia para la conservación de los ecosistemas de la Reserva Forestal de Caparo, Edo. Barinas, Venezuela
- BOSSARD, M., FERANEC, J. y J. OTAHEL. 2000. Corine land cover technical guide - Adendum 2000. EEA, Copenhagen
- CASTAÑEDA-SÁNCHEZ, D. A., MONTOYA-GUTIÉRREZ, R. Y. y C.A. ESCOBAR-CHALARCA. 2006. Prototipo de un sistema integrado digital para la clasificación de coberturas y usos de la tierra a nivel de finca bananera. Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín. 59 (1): 28-41
- CHACÓN-MORENO, E. 2007. Ecological and spatial modelling: Mapping ecosystems, landscape changes, and plant species distribution in Llanos del Orinoco, Venezuela. PhD Thesis. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, and Wageningen University. ISBN 90-8504-559-2. Enschede, The Netherlands
- CHACÓN-MORENO, E., ULLOA, A., LLAMBÍ, L.D., ACEVEDO, D. y A. UTRERA. En prensa. Paisajes y ecosistemas llaneros: ecología y conservación. En Hétier, J.M. y López Falcón, R. (Eds.) Tierras Llaneras de Venezuela. CIDIAT-ULA, Mérida
- CHACÓN-MORENO, E., LLAMBÍ, L. D. y D. ACEVEDO. 2007. Prioridades de conservación de la Ecorregión de los Llanos del Orinoco, Venezuela. Informe Técnico TNC, Mérida.
- COMER, P., FABER-LANGENDOEN, D., EVANS, R., GAWLER, S., JOSSE, C., KITTEL, G., MENARD, S., PYNE, M., REID, M., SCHULZ, K., SNOW, K. y J. TEAGUE. 2003. Ecological Systems of the United States: A Working Classification of U.S. Terrestrial Systems. NatureServe, Arlington, Virginia
- CONVENIO SOBRE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA.

1992. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Río de Janeiro, Brasil
- DI GREGORIO, A. y L. J. M. JANSEN. 2000. Land cover classifications system (LCCS): classification concepts and user manual for software versión 1.0. Rome: FAO. 179 p
- DINERSTEIN, E., OLSEN, D. M., GRAHAM, D. J., WEBSTER, A. L., PRIMM, S. A., BOOK-BINDER, M. P. y G. LEDEC. 1995. A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean. World Bank, WWF. Washington D. C., USA.
- EDELCA. 2008. La Cuenca del río Caroní. Una vision en cifras. Gerencia de Gestión Ambiental de EDELCA. ISBN: 978-980-6581-23-4
- EISENBERG, J.F. y K.H. REDFORD. 1979. Vertebrate Ecology of the Northern Neotropics. Smithsonian Institution Press. Washington D.C., USA
- EITEN, G. 1968. Vegetation forms. A classification of stands of vegetation based on structure, growth form of the components, and vegetative periodicity. Boletim do Instituto de Botanica (San Paulo), No. 4
- EWEL, J. y A. MADRIZ. 1968. Mapa ecológico según la clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge. MAC, Caracas. 1:2.000.000. En: J. Ewel, A. Madriz & J. Tosi (eds.) 2da. ed. 1976. MAC, FONAIAP: Caracas
- FORMAN, R.T.T. 1995. Land mosaics. Cambridge University Press
- FORMAN, R.T.T. y M. GODRON. 1986. Landscape Ecology. John Wiley & Sons, New York
- GREEN, D.L. 1997. Wetland technical manual: Wetland classification. The Ecological Services Unit for the Water Environments Unit of the Department of Land and Water Conservation, Australia. 41 pp
- HAINES-YOUNG, R., GREEN, D.R. y S.H. COUSINS. (Eds). 1994. Landscape Ecology and GIS. Taylor and Francis Ltd, Bristol, Great Britain
- HUBER, O. y C. ALARCÓN. 1988. Mapa de vegetación de Venezuela. Editorial Arte, S.A., Caracas
- HUBER, O. y M.A. OLIVEIRA-MIRANDA. 2010. Ambientes terrestres. Pp: 29-89. En: J.P. Rodríguez, F. Rojas- Suárez & D. Giraldo Hernández (eds.). Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas: Venezuela
- HUECK, K. y P. SEIBERT. 1981. Mapa de la Vegetación de América del Sur. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschborn, Alemania
- IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA. 2008. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional de río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p. + 164 hojas cartográficas
- JOSSE, C., CUESTA, F., NAVARRO, G., BARRENA, V., CABRERA, E., CHACÓN-MORENO, E., FERREIRA, W., PERALVO, M., SAITO, J. y TOVAR, A. 2009a. Ecosistemas de los Andes del Norte y Centrales. Bolivia, Colombia, Ecuador, Peru y Venezuela. CAN, Programa Regional ECOBONA, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, LTA-UNALM, IAvH, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL. Lima
- JOSSE, C., CUESTA, F., NAVARRO, G., BARRENA, V., CABRERA, E., CHACÓN-MORENO, E., FERREIRA, W., PERALVO, M., SAITO, J. y TOVAR, A. 2009b. Mapa de Ecosistemas de los Andes del Norte y Centrales. Bolivia, Colombia, Ecuador, Peru y Venezuela. CAN, Programa Regional ECOBONA, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, LTA-UNALM, IAvH, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL. Lima
- JOSSE, C., NAVARRO, G., COMER, P., EVANS, R., FABER-LANGENDOEN, D., FELLOWS, M., KITTEL, G., MENARD, S., PYNE, M., REID, M., SCHULZ, K., SNOW, K., y J. TEAGUE. 2003. Ecological Systems of Latin America and the Caribbean: A Working Classification of Terrestrial Systems. NatureServe, Arlington, VA
- JOSSE, C., NAVARRO, G., ENCARNACIÓN, F., TOVAR, A., COMER, P., FERREIRA, W., RODRÍGUEZ, F., SAITO, J., SANJURJO, J., DYSON, J., RUBIN DE CELIS, E., ZÁRATE, R., CHANG, J., AHUIT, M., VARGAS, C., PAREDES, F., CASTRO, W., MACO, J., y F. REÁTEGUI. 2007. Sistemas Ecológicos de la Cuenca Amazónica de Perú y Bolivia. Clasificación y mapeo. NatureServe. Arlington, Virginia. Pp 94
- KLOPATEK, J. M. y R. H. GARDNER. (Eds). 1999. Landscape Ecological Analysis: Issues and Applications. Springer-Verlag, New York
- MARNR. 1982. Mapa de la vegetación actual de Venezuela. 75 hojas 1:250.000. Proyecto Manejo de Recursos Naturales y Ordenamiento de Tierras (MARNOT), D. Dumith (coord.). Ministerio del Ambiente y de

MAPAS DE ECOSISTEMAS: ENFOQUE CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

- los Recursos Naturales Renovables, Caracas
- MARNR. 1985. Proyecto Orinoco-Apure. Información Ambiental y Ecológica sobre los Llanos del río Orinoco. Dirección General Sectorial de Planificación y Ordenación del Ambiente
- MARN. 2001. Estrategia Nacional sobre Diversidad Biológica y su Plan de Acción. Oficina Nacional de Diversidad Biológica. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Caracas. ISBN: 980-04-1249-2
- MARN. 2005. Primera comunicación nacional en Cambio Climático de Venezuela. Proyecto MARNPNUD VEN/00/G31. Caracas Venezuela
- MÁRQUEZ, T.C. En preparación. Diversidad de Ecosistemas como criterio base en la formulación de Planes de Manejo del PN Sierra Nevada. Trabajo de Grado de Maestría. Postgrado en Ecología Tropical. Universidad de Los Andes, Mérida
- MONASTERIO, M., SARMIENTO, G. y J. SILVA. 1971. Reconocimiento ecológico de los Llanos Occidentales. III. El sur del Estado Barinas. *Acta Científica Venezolana* 22:153-169
- MPPA. 2010. Estrategia Nacional para la conservación de la Diversidad Biológica 2010-2020. Oficina Nacional de Diversidad Biológica. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Caracas. ISBN: 978-980-04-1483-5
- NAVARRO, G. y W. FERREIRA. 2007. Mapa de Vegetación de Bolivia a escala 1:250.000. The Nature Conservancy (TNC). Ed.digital. Santa Cruz de la Sierra. ISBN 978-99954-0-168-9
- NAVEH, Z. y A. S. LIEBERMAN. 1984. *Landscape Ecology. Theory and Application*. Springer-Verlag, New York
- OLSON, D.M., DINERSTEIN, E., WIKRAMANAYAKE, E. D., BURGESS, N.D., POWELL, G.V.N., UNDERWOOD, E.C., D'AMICO, J.A., ITOUA, I., STRAND, H.E., MORRISON, J.C., LOUKES, C.J., ALLNUTT, T.F., RICKETTS, T.H., KURA, Y., LAMOREUX, J.F., WETTENGEL, W.W., HEDAO, P. y K.R. KASSEM. 2001. *Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth*. Bioscience Volume 51 Number 11 Pp. 933-938
- PERALVO, M., CUESTA, F., BAQUERO, F., JOSSE, C., GRIJALVA, L., RIOFRÍO, G. y K. BELTRÁN. 2006. Mapa de sistemas ecológicos del Ecuador continental. Anexo 1 (20 pp.) en *Identificación de vacíos y prioridades de conservación para la biodiversidad terrestre en el Ecuador continental*, F. Cuesta-Camacho, M. F. Peralvo, A. Ganzenmüller, M. Sáenz, G. Riofrío, and K. Beltrán (Eds). Quito: EcoCiencia, The Nature Conservancy, Conservation International, and Ministerio del Ambiente del Ecuador
- PÉREZ-HOYOS A y F. GARCÍA-HARO. 2005. Análisis comparativo de las principales cartografías de cobertura del suelo en la península Ibérica. Trabajo enmarcado en el proyecto DULCINEA (CGL2005-04202)
- REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA (RBV). 2007. Proyecto Nacional Simón Bolívar 2007-2013. Presidencia
- RIVAS-MARTÍNEZ, S. 2004. *Clasificación Bioclimática de la Tierra*. Phytosociological Research Center, J.M. Usandizaga, Los Negrals, Madrid http://www.ucm.es/info/cif/book/bioc/global_bioclimatics_1.htm.
- RODRÍGUEZ, N., ARMENTERAS, D., MORALES, M. y M. ROMERO. 2006. *Ecosistemas de los Andes colombianos*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 154 Pp
- RODRÍGUEZ, J.P., F. ROJAS-SUÁREZ y D. GIRALDO HERNÁNDEZ. (Eds). 2010. *Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela*. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas: Venezuela. 324 pp
- ROMERO, M., GALINDO, G., OTERO, J. y ARMENTERAS, D. 2004. *Ecosistemas de la cuenca del Orinoco colombiano*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 189 Pp
- SARMIENTO, G. 1983. Patterns of specific and phenological diversity in the grass community of the Venezuelan tropical savannas. *Journal of Biogeography* 10: 373-391
- SARMIENTO, G. 1990. *Ecología comparada de ecosistemas de sabanas en América del Sur*. En: Sarmiento, G. (Ed). *Las Sabanas Americanas, Aspectos de su Biogeografía, Ecología y Manejo*. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana, Caracas, pp.15-56
- SARMIENTO, G, MONASTERIO, M. y J. SILVA. 1971a. Reconocimiento ecológico de los Llanos Occidentales. I. Las unidades ecológicas regionales. *Acta Científica Venezolana* 22:52-59
- SARMIENTO, G, MONASTERIO, M. y J. SILVA. 1971b. Reconocimiento ecológico de los Llanos Occidentales. IV. El oeste del Estado Apure. *Acta Científica Venezolana* 22:170-180
- SARMIENTO, G. y M. MONASTERIO. 1971. *Ecología de las sabanas de América Tropical*. I. Análisis macroecológico de los Llanos de Calabozo,

- Venezuela. *Revista Geográfica* 21:5-38
- SAYRE, R., COMER, P., WARNER, H., y J. CRESS. 2009. A new map of standardized terrestrial ecosystems of the conterminous United States: U.S. Geological Survey Professional Paper 1768, 17 p
- SILVA, J. F., MONASTERIO, M. y G. SARMIENTO. 1971. Reconocimiento ecológico de los Llanos Occidentales. II. El norte del Estado Barinas. *Acta Científica Venezolana* 22:60-70
- SULBARÁN-ROMERO, J.E. 2009. Modelo de distribución espacial del hábitat de Triatomíneos y zonas de riesgo de la enfermedad de Chagas en los municipios Andrés Bello y Morán del estado Lara, Venezuela. Trabajo de Grado de Maestría. Postgrado en Ecología Tropical. Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida
- STONE, T. A., SCHLESINGER, P., HOUGHTON, R. A. y G. M. WOODWELL. 1994. A map of the vegetation of South America based on satellite imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60:541-551
- TOVAR, W. 2013. Sistema integrado de clasificación de cobertura/uso de la tierra bajo un enfoque ecológico del paisaje y su aplicación en una zona andina venezolana. Trabajo de Grado de Maestría. Postgrado en Ecología Tropical. Universidad de Los Andes, Mérida
- TRAVIEZO, L.E. y R. BONFANTE-GARRIDO. 2004. Estudio seroepidemiológico de la enfermedad de Chagas en la localidad de Caballito, Municipio Simón Planas, Estado Lara. Venezuela. *Parasitología Latinoamericana* 59, 46-50
- TURNER, M. G. y R. H. GARDNER. (Eds). 1990. *Quantitative methods in Landscape Ecology*, Springer-Verlag, New York
- TURNER, M. G., GARDNER, R. H. y R. V. O'NEILL. 2001. *Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process*. Springer-Verlag, New York
- ULLOA, A. 2009. Prioridades de conservación en las sabanas inundables de los llanos del Orinoco. Trabajo de Grado de Maestría. Postgrado en Ecología Tropical. Universidad de Los Andes, Mérida
- UNESCO. 1973. *International Classification and Mapping of Vegetation*. Series 6. Ecology and Conservation. United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization, United Nations, Paris, France
- USBR. 1953. *Irrigated land classification*. (Bureau of reclamation manual). US Dept. Interior, Washington DC
- WIENS, J. A. 1999. The science and practice of landscape ecology. In: Klopatek JM, Gardner RH (eds) *Landscape Ecological Analysis: Issues and Applications*. Inc., Springer-Verlag, New York, pp 371-383
- ZONNEVELD, I. S. 1989. The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. *Landscape Ecology* 3:67-86
- ZONNEVELD, I. S. 1995. The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. SPB Academic Publishing, Amsterdam
- ZONNEVELD, I. S. 1998. Landscape ecology; concept, principles and its relation to monothematic (e.g. vegetation) survey. *Journal Ecology* 21:357-372

Recibido 15 de junio de 2012; revisado 7 de noviembre de 2012; aceptado 30 de enero 2014

Anexo1. Identificación de imágenes satelitales Spot 5 utilizadas para la elaboración del Mapa de Ecosistemas de las cuencas de los ríos Aroa y Yaracuy

Código imagen	Fecha de toma	Ubicación	Tipo SPOT
S080520195252900	24/01/2008	656-330	SPOT 5
S080520195410381	03/01/2008	655-330	SPOT 5
S080520195832763	24/01/2008	656-329	SPOT 5
S080520200116353	28/01/2008	654-329	SPOT 5
S080724204718617	01/04/2008	655-329	SPOT 5