

Zonificación ecológica: Unidades Ambientales Integradas (UAIs) como herramienta base de diagnóstico y gestión

Gonzalo Navarro Sánchez

Universidad Católica Boliviana “San Pablo”, Unidad Académica Regional Cochabamba, Departamento de Ciencias Exactas e Ingenierías, Carrera de Ingeniería Ambiental

Calle M. Márquez esq. Parque Jorge Trigo Andía – Tupuraya, Cochabamba

gonzalonavarrosanchez@gmail.com

Resumen: La investigación y gestión de los ecosistemas o ambiente en general se apoya en una etapa de caracterización y diagnóstico inicial que asiente y centre sobre la realidad concreta a los proyectos, evaluaciones, medidas o construcciones. El enfoque predominante hasta el momento en Bolivia ha sido considerar esta etapa base de la gestión ambiental como una colección de datos o listas que no llegan nunca a integrarse o a entenderse como un sistema de elementos interactuantes e interdependientes. Consideramos que el problema subyacente es la carencia o falta de uso de unidades ecológicas de análisis, diseñadas de forma que su construcción conceptual y operativa facilite de forma comprensible la integración natural de los componentes fundamentales del ambiente explicativos de la estructura, funcionamiento y diferenciación geográfica de los ecosistemas. En este trabajo, a partir de una breve revisión conceptual de los principales antecedentes y tendencias actuales sobre esta temática, se propone un esquema o protocolo para la identificación, construcción y delimitación de unidades ambientales integradas (UAIs), incluyendo las fuentes y herramientas para llevar a cabo este proceso. El concepto y uso de estas unidades es de naturaleza multiescalar en función de su aplicación concreta, enfocándose como una integración de las variables fundamentales que explican la variabilidad y funcionamiento de los ecosistemas: bioclima, geoformas, litología, suelos, vegetación y cobertura de usos humanos. El resultado son unidades que permiten la zonificación consistente del espacio geográfico en entidades homogéneas y extrapolables, que se comportan de forma análoga respecto al diagnóstico y gestión del ambiente.

Palabras clave: unidad ambiental, análisis, diagnóstico, gestión ecológica.

Abstract: Research and management of the ecosystems is supported by a strong characterization and initial diagnosis stage that assents and focuses the projects, evaluations, measures or constructions on the concrete environmental reality. The predominant approach so far in Bolivia has been to consider this basic stage of environmental management as a collection of data or lists that never come to be integrated or understood as a system of interacting and interdependent elements. We consider that the underlying problem is the lack of ecological analysis units designed in such a way that their conceptual and operative construction

comprehensibly facilitates the natural integration of the fundamental components of the environment that explain the structure, functioning and geographical differentiation of the ecosystems. In this work, from a brief conceptual review of the main antecedents and current trends on this subject, an easy scheme or protocol is proposed for the identification, construction and delimitation of integrated environmental units (IEUs), including useful sources and tools to carry out this process. The concept and use of these units is multiscale in nature according to their specific application, focusing as an integration of the fundamental variables that explain the variability and functioning of ecosystems: bioclimate, geofoms, lithology, soils, vegetation and human uses coverage. The result are units that allow to the consistent zoning of geographic space into homogeneous and extrapolable entities, that behave in analogous way to the environment diagnosis and management.

Key words: environmental unit, analysis, diagnosis, ecological management.

1 Introducción, problemática y objetivos

La aproximación holística al medio ambiente en general y a su gestión, requiere de visiones y conceptos integrados e integradores, que contemplen e interpreten conjuntamente las interacciones dinámicas entre las diferentes variables implicadas en la estructura, diferenciación y funciones de los ecosistemas.

No es posible una interpretación certera de estos aspectos si se trata el ambiente como un conglomerado de elementos que se analizan por separado y cuya integración se contempla a menudo como una superposición simple. La gestión ambiental en muchos casos arrastra enfoques parciales, discontinuos y en el mejor de los casos aditivos pero no integrativos. Lo cual repercute en diagnósticos y caracterizaciones deficientes de los ecosistemas en los cuales se realizan proyectos de investigación o manejo, lo que a su vez condiciona los limitados resultados de esos proyectos y su escasa capacidad de predicción o extrapolación.

Pareciera que la raíz de estos errores está condicionada por la ausencia de conceptos claros sobre la esencia misma de las unidades de análisis ambiental, para que expresen razonablemente el conjunto de interacciones complejas que se manifiestan en estructuras observables en el espacio geográfico en forma de paisajes naturales, rurales o urbanos.

La utilización de unidades integradas de análisis requiere el reconocimiento y delimitación de las mismas a diferentes escalas en función de su utilización como elementos clave para la gestión ambiental, a partir de un proceso metodológico de zonificación o sectorización ecológica. Postulamos que las unidades ambientales de análisis deben ser por tanto de naturaleza multiescalar y jerárquica, en consonancia con la propia naturaleza de los elementos que las constituyen y definen.

Bolivia no es una excepción a la problemática aludida. Aunque teóricamente los instrumentos normativos actuales (Ley 300 de 2012; Pacheco, 2013; PTDI, 2016), contemplen como unidades de gestión y planificación a las “zonas de vida” y “sistemas de vida”, integrados por el conjunto de elementos biogeofísicos y las “unidades socioculturales”, en la práctica su aplicación adecuada a entornos concretos es muy limitada o deficiente. Esto se debe a diferentes problemas, tales como la inadecuación o heterogeneidad conceptual y de escalas de los componentes temáticos con los que se han construido las zonas y sistemas de vida; la deficiente información precisa de base disponible sobre estos componentes y la imposibilidad de superponer o integrar espacialmente las unidades socioculturales con las biogeofísicas de forma rigurosa y repetible. Es decir, son unidades interesantes conceptual o teóricamente, pero que carecen de una metodología rigurosa para su construcción y aplicación práctica.

En este trabajo pretendemos contribuir a clarificar el concepto de Unidad Ambiental Integrada desde la perspectiva ecológica de Bolivia y su potencialidad de aplicación en la gestión ambiental.

2 Bases teórico-conceptuales: antecedentes y actualidad

La idea de considerar y generar unidades espaciales de análisis ambiental que integren las variables biogeofísicas de los ecosistemas con factores del uso y adaptación humanos a los mismos, tiene una larga tradición que engloba una variedad de enfoques afines pero que en la realidad pueden diferir en muchos aspectos conceptuales o de aplicación. Por ejemplo, en algunas tendencias como la escuela australiana (originalmente en Christian & Steward, 1964) el énfasis total se hace en las unidades geomorfológicas o unidades fisiográficas de tierra; mientras que en las escuelas derivadas de la fitosociología el enfoque se dirige hacia la vegetación y el paisaje vegetal con el concepto guía de la vegetación potencial natural (Braun-Blanquet, 1928; Tüxen, 1979; Gehu, 1991; Rivas-Martínez, 1976 y 1994). La escuela holandesa de ecología del paisaje enfatiza la relación entre clima, geomorfología, suelos y vegetación (Zonneveld, 1979, 1989).

La Ecología del Paisaje, desde sus orígenes a su posterior desarrollo (Troll, 1950; Naveh & Liebermann, 1984; Forman & Godron, 1986; Forman, 1995; etc.) contempla asimismo una visión conceptual y metodológica integrativa en el reconocimiento de unidades de paisaje como herramientas para la prospección y gestión del ambiente. Recientemente, un enfoque relacionado se adopta en los Estados Unidos donde se define y estandariza a escala de todo el país la idea de los “Landtypes” como unidades de base para inventarios en ecosistemas terrestres (Winthers *et al.*, 2005 USDA). Y de forma muy notable, la iniciativa global de las

Unidades Ecológicas de Tierra (Ecological Land Unit, ELU) concebidas según sus autores (Sayre *et al.*, 2014) como de naturaleza multiescalar y definidas como áreas con características propias respecto al *bioclima, geoformas, litología y cobertura de la tierra*. Las ELU han sido cartografiadas para toda la Tierra (“Global ELU Map”) a una resolución espacial de 250 m, lo que permite su visualización a diversos zooms progresivos, desde muy grueso (global) a muy fino (local). Las ELUs representan un conjunto único de características biofísicas y sus tipos asociados de cobertura del suelo. En palabras de los autores, las “ELUs” se diferencian de los “ecosistemas” en la relativa proporción que en su delimitación conceptual y operativa tiene la vegetación: “*When vegetation is known and mapped in its physical environmental context, the resulting areas can be considered ecosystems. When the description of an area emphasizes its biophysical features, and also notes associated image-derived land cover, that area is better regarded as an ecological land unit than an ecosystem*”.

De forma explícita, las ELUs incluyen en la cobertura del suelo (derivada de lo observable en imágenes satelitales) tanto clases generales de estructura/fisonomía de la vegetación natural/seminatural como también clases generales de usos humanos del suelo.

En conjunto, las ELUs fueron sobre todo diseñadas a nivel global, por eso, las categorías de mapeo de las variables fundamentales consideradas (bioclima, geoformas, litología y cobertura de la tierra) son categorías prácticas generales o gruesas. Por eso, su utilidad y aplicación a escalas detalladas locales resulta algo limitada o poco precisa. Sin embargo, sin duda constituyen un marco global de referencia muy importante, que abre una vía para su adecuación detallada y corroboración sobre el terreno.

3 Metodología y resultados

Basándose en los antecedentes arriba sumariados y concordando en general con las ideas-marco de Sayre *et al.* (2014), nuestra propuesta pretende aportar a un concepto de Unidad Ambiental Integrada acorde con las necesidades y grado de información existente y disponible o generable para Bolivia.

Proponemos definir y conceptualizar la Unidad Ambiental Integrada de análisis ambiental como un área geográfica lo más homogénea posible internamente, formada por la *integración* de las variables o factores bioclimáticos, geofísicos, de vegetación y cobertura de usos humanos.

Concebida de esta forma, la UAI tiene características de un modelo con capacidad interpretativa y predictiva, cuya escala de construcción y uso depende de su ámbito concreto de aplicación.

A su vez, la UAI si está adecuadamente definida y delimitada, es un espacio que se comporta de forma homogénea frente a los impactos, gestión o manejo.

Las variables a utilizar para la identificación y delimitación de la UAIs en Bolivia, son las siguientes:

1. Pisos bioclimático-ecológicos y bioclimas

La zonación altitudinal es un factor clave de diferenciación de los ecosistemas a nivel global y especialmente en países como Bolivia donde las altitudes van desde más de 6000 m en los Andes a menos de 200 m en las tierras bajas orientales. En las ELUs globales esta variable no se consideraba, excepto indirectamente y de manera general a través de las “landforms” (como plains, low mountains, hills, high mountains, etc) o a través de “bioclimas” concebidos de manera muy general como una combinación de la termicidad (cold, very cold, cool, warm, hot) y de la humedad climática (very wet, wet, moist, semi-dry, dry).

En nuestra propuesta de Unidades Ambientales Integradas seguimos el modelo bioclimático numérico de Rivas-Martínez *et al.* (2011), que permite calcular a partir de datos de temperatura y precipitación de estaciones meteorológicas próximas al área de estudio un conjunto de índices bioclimáticos de termicidad y ombrotérmicos (ver Tabla 1) a través de los cuales pueden identificarse los pisos bioclimáticos-ecológicos y también los bioclimas (Navarro y Maldonado 2002; Navarro 2011 y 2018). La gran ventaja de esta aproximación reside en que estos índices capturan numéricamente factores ecológicos limitantes principales de los ecosistemas, tales como la sequía, la intensidad del frío y el ritmo anual de las lluvias. Posibilitando entender de forma causal y predecir la distribución de los ecosistemas a varias escalas.

2. Unidades geo-edáficas

Incluimos aquí los factores principales del medio físico (geoformas, litología y suelos), que constituyen el marco o escenario sobre el que se desarrollan y diferencian los ecosistemas. Las fuentes de información o herramientas utilizables se indican en la Tabla 1.

- a) **Geomorfología (geoformas):** adaptadas a la escala de aplicación de las UAIs, se trabajan con la base conceptual y nomenclatural indicada en la Tabla 1, a través de la interpretación de imágenes satelitales con alta a muy alta resolución y posterior corroboración en campo. Las geoformas con un enfoque causal o genético constituyen quizás la base y soporte principal de las UAIs a las escalas de aplicación más útiles en Bolivia. Los factores considerados en las ELUs globales para identificarlas (clases de pendientes y diferencias relativas de altitud) son demasiado generales o insuficientes.

- b) **Unidades litológicas:** principales tipos de rocas o sustratos geológicos dominantes que constituyen cada geoforma. La litología da indicaciones muy importantes sobre la geoquímica y dinámica de nutrientes en los ecosistemas, que es también un factor clave que explica la diferenciación y distribución de los ecosistemas.

- c) **Grandes grupos de suelos:** grandes grupos de suelos de FAO dominantes en cada geoforma, con la precisión de los calificadores principales dependiendo de la escala.

3. Series y geoseries de vegetación

Los tipos de vegetación con un enfoque geobotánico y dinámico-catenal, se expresan en las series y geoseries de vegetación (Tüxen, 1979; Rivas-Martínez, 1987, 1994, 1997, 2005; Navarro y Maldonado, 2002; Navarro, 2011). Y las mismas son las unidades de mapeo del Mapa de Vegetación de Bolivia a escala 1:250 000 (Navarro y Ferreira, 2007, ver fuente de descarga en Tabla 1).

A las escalas de trabajo útiles en proyectos de gestión ambiental en Bolivia, generalmente las series y geoseries de vegetación pertenecen a una sola unidad biogeográfica (provincia, sector), pero en áreas ecotonales biogeográficamente puede ocurrir que pertenezcan a más de una, en cuyo caso habría que especificar y precisar la biogeografía de cada serie o geoserie (consultar Mapa Biogeográfico de Bolivia: Navarro y Ferreira 2009).

4. Cobertura de usos humanos

La cobertura espacial de los grandes grupos de usos humanos del suelo es otra variable que completa la identificación y delimitación de las unidades ambientales integradas, expresando de qué forma el factor humano se adapta al paisaje y lo modifica.

Las herramientas o fuentes utilizables para la utilización de estas variables, se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 1. Variables propuestas en la identificación y delimitación de las Unidades Ambientales Integradas con las fuentes de información o herramientas recomendadas para su utilización

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	FUENTES DE INFORMACIÓN O HERRAMIENTAS
Pisos bioclimático-ecológicosy bioclimas	Cálculo de los índices bioclimáticos fundamentales de Rivas-Martínez: Índice de termicidad (It), Temperatura positiva anual (Tp), Índice Ombrotérmico anual (Io), Índice ombrotérmico de la época seca (Iod2)	Fundamentos y procedimientos de cálculo en Navarro (2018): https://www.researchgate.net/publication/329318138_GUIA_PARA_LA_INCLUSION_DE_FACTORES_ECOLOGICOS_BIODIVERSIDAD_Y_UNIDADES_DE_ANALISIS_EN_LOS_PROCEDIMIENTOS_DE_EVALUACION_AMBIENTAL_EN_BOLIVIA
Unidades litológicas	Principales tipos de rocas y su distribución. Formaciones litoestratigráficas de Bolivia	Suárez, R. y E. Díaz. 1996. Léxico Estratigráfico de Bolivia. Revista técnica de YPFB. Vol. 17 (1-2). 226 p. Disponible como PDF en: https://www.researchgate.net/publication/260135787_Lexico_estratigrafico_de_Bolivia Carta Geológica de Bolivia escala 1:100.000. Servicio Geológico y Minero de Bolivia (SERGEOMIN) www.sergeomin.gob.bo
Geomorfología (geoformas)	Identificación y delimitación de las geoformas	Galoppo, E. 2017. Elementos para la interpretación de las geoformas de Bolivia. Accesible como PDF en: https://www.researchgate.net/publication/321973941

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	FUENTES DE INFORMACIÓN O HERRAMIENTAS
		Nomenclatura y conceptos en Navarro (2018: Anexos 1 y 2): https://www.researchgate.net/publication/329318138
Grandes grupos de suelos	Grandes grupos de suelos propuestos por FAO	Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Actualización 2015. http://www.fao.org/3/i3794es/i3794es.pdf Fotografías detalladas de los grupos de suelos de referencia en: http://data.isric.org/wsm-rest/monoliths/ Clave simplificada de los grupos de suelos de referencia en Navarro (2018: Anexo 4): https://www.researchgate.net/publication/329318138
Series y geoseries de vegetación	Unidades de vegetación de Bolivia entendidas de forma dinámica (series de vegetación) y geocatena (geoseries de vegetación)	Navarro, G. y W. Ferreira. 2007. Mapa de Vegetación de Bolivia, escala 1:250 000. Mapa y su leyenda disponible en: http://cdrnbolivia.org/recursos-biologicos-y-ecologicos.htm
Cobertura de usos humanos	El mapa representa detalladamente a escala 1:250.000 las distintas clases de coberturas del suelo para todo el país	Mapa de Cobertura de Uso Actual de la Tierra 2010 Bolivia http://cdrnbolivia.org/geografia-fisica-nacional.htm Descargable en archivo .zip en: http://geo.gob.bo/download/?w=mddryt&l=CoberturaUso2010

Una vez que se han considerado las diferentes variables propuestas, se llevaría a cabo una superposición temática cartográfica de las mismas mediante procedimientos manuales o herramientas SIG, que llevaría a la delimitación de las UAIs a las escalas de aplicación requeridas según los casos. La agrupación o integración de las capas temáticas en unidades ambientales homogéneas (con similares características de las variables), puede testarse o ensayarse asimismo mediante técnicas estadísticas de clustering.

De forma sinóptica, las etapas propuestas a seguir para la identificación y delimitación de Unidades Ambientales Integradas de análisis para una determinada área de trabajo, son las siguientes (Figura 1):

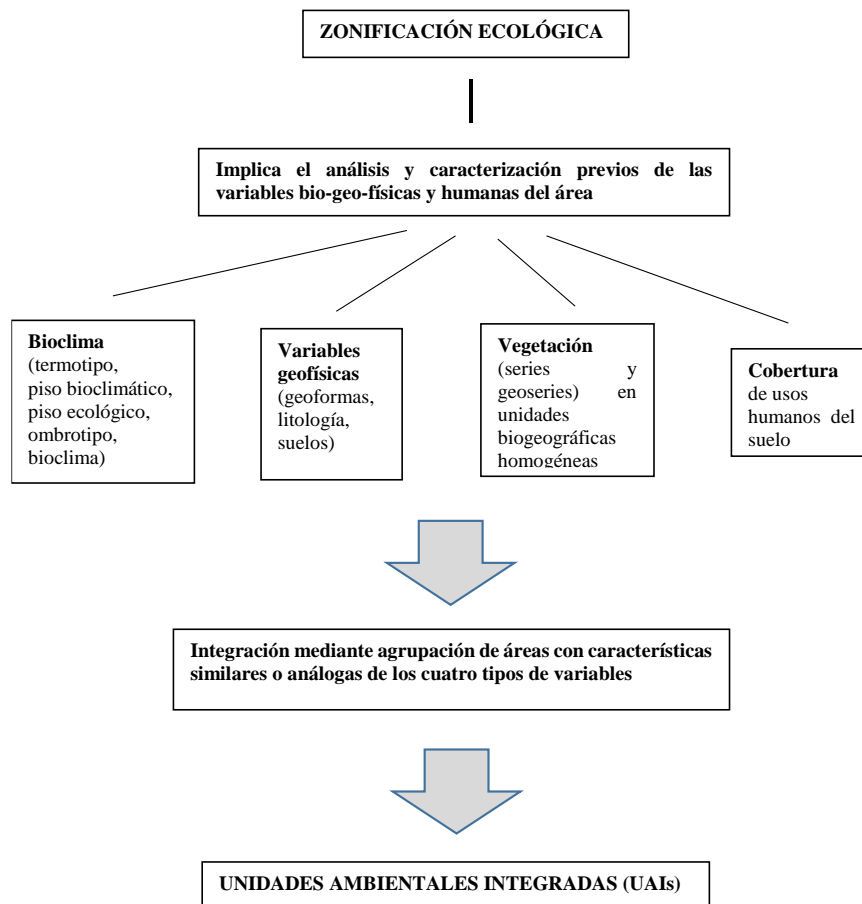


Figura 1: Proceso propuesto para la zonificación ecológica de un área en unidades ambientales integradas de análisis.

Referencias Bibliográficas (excepto las especificadas en Tabla 1)

- [1] Braun-Blanquet, J. 1928. Pflanzensociologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer. Berlin.
- [2] Christian, C.S. & G. A. Stewart. 1964. Methodology of integrated surveys. Proc. Unesco conf. on principles and methods of integrated aerial surveys of natural resources for potential development, Toulouse 1964. WS/0384.15/NS. 146 p.
- [3] Forman, R.T.T. 1995. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. New York: Cambridge University Press. 632 p.
- [4] Forman, R.T.T. & M. Godron. 1986. Landscape Ecology. John Wiley & Sons, New York. 619 p.
- [5] Géhu, J.M. 1991. L'analyse phytosociologique et géosymphytosociologique de l'espace. Théorie et méthodologie. Coll. Phytosoc. 17: 11-46.
- [6] Ley 300 Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien. 2012. Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia. La Paz.
- [7] Navarro, G. 2011. Clasificación de la Vegetación de Bolivia. Editorial Centro de Ecología Difusión Simón I. Patiño. Santa Cruz. 713 p.
- [8] Navarro, G. 2018. Guía para la inclusión de factores ecológicos, biodiversidad y unidades de análisis en los procedimientos de evaluación ambiental en Bolivia. Center for Development Research (ZEF), University of Bonn, Germany – Universidad Católica Boliviana “San Pablo” (UCB). Cochabamba. 134 páginas.
- [9] Navarro, G. y M. Maldonado. 2002. Geografía Ecológica de Bolivia. Vegetación y Ambientes acuáticos. Centro de Difusión Fundación Simón I. Patiño. Cochabamba. 620 p.
- [10] Navarro, G. W. Ferreira. 2009. Biogeografía y Mapa Biogeográfico de Bolivia. En: Libro Rojo de Parientes Silvestres de Bolivia. VMABCC – BIOVERSITY INTERNATIONAL. Plural Editores. La Paz.
- [11] Naveh, Z. & A. S. Liebermann. 1984. Landscape Ecology: Theory and Application. Springer-Verlag, New York. 358 p.
- [12] Pacheco, D. 2013. Vivir Bien en Armonía y Equilibrio con la Madre Tierra: una propuesta para el cambio de las relaciones globales entre los seres

- humanos y la naturaleza. Universidad de la Cordillera / Fundación de la Cordillera. La Paz. 164 p.
- [13] PTDI. 2016. Lineamientos metodológicos para la formulación de Planes Territoriales de Desarrollo Integral Para Vivir Bien (PTDI). Ministerio de Planificación y Desarrollo Sostenible. La Paz.
- [14] Rivas-Martínez, S. 1976. Sinfitosociología, una nueva metodología para el estudio del paisaje vegetal. *Anales Inst. Bot. Cavanilles*, 33: 179-188.
- [15] Rivas-Martínez, S. 1987. Mapa de series de vegetación de España. ICONA, Serie Técnica. 268 p. + 30 mapas. Madrid.
- [16] Rivas-Martínez, S. 1994. Dynamic-zonal phytosociology as landscape science. *Phytocoenologia*, 24: 23-25.
- [17] Rivas-Martínez, S. 1997. Syntaxonomical synopsis of the potential natural plant communities of North America, I. *Itinera Geobot.* 10: 5-148.
- [18] Rivas-Martínez, S. 2005. Discurso de Apertura del Curso Académico de la Real Academia Nacional de Farmacia. Madrid. 128 p. Accesible como PDF en: <http://webs.ucm.es/info/cif/book/ranf2005.pdf>
- [19] Rivas-Martínez S., S. Rivas Sáenz & A. Penas. 2011. Worldwide bioclimatic classification system. *Global Geobotany* 1: 1-364 + 4 Maps.
- [20] Sayre, R., J. Dangermond, C. Frye, R. Vaughan, P. Aniello, S. Breyer, D. Cribbs, D. Hopkins, R. Nauman, W. Derrenbacher, D. Wright, C. Brown, C. Convis, J. Smith, L. Benson, D. Paco VanSistine, H. Warner, J. Cress, J. Danielson, S. Hamann, T. Cecere, A. Reddy, D. Burton, A. Grosse, D. True, M. Metzger, J. Hartmann, N. Moosdorf, H. Dürr, M. Paganini, P. DeFourny, O. Arino, S. Maynard, M. Anderson, and P. Comer. 2014. *A New Map of Global Ecological Land Units — An Ecophysiological Stratification Approach*. Washington, DC: Association of American Geographers. 46 p.
- [21] Troll, C. 1950. Die geografische Landschaft und ihre Forschung. *Studium generale* 3. Jahrgang Heft 4/5. Springer Verlag, Berlin.
- [22] Tüxen, R. 1979. Sigmeten und Geosigmeten, ihre Ordnung und ihre Bedeutung für Wissenschaft, Naturschutz und Planung. *Biogeographie*, 16: 79-92.
- [23] Winthers, E., D. Fallon, J. Haglund, T. DeMeo, G. Nowacki, D. Tart, M. Ferwerda, G. Robertson, A. Gallegos, A. Rorick, D. Cleland & W. Robbie. 2005. *Terrestrial Ecological Unit Inventory technical guide*. Washington, DC:

U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington Office,
Ecosystem Management Coordination Staff. 245 p.

- [24] Zonneveld, I.S. 1979. Land Evaluation and Landscape Science. ITC Textbook VII.4 (2nd ed.), ITC Enschede. 134 p.
- [25] Zonneveld, I. S. 1989. The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. *Landscape Ecology* 3 (2): 67-86.