

Homogeneidad pedogeomorfológica en laderas de alta montaña, subcuenca Alto Motatán, estado Mérida, Venezuela

Pedogeomorphological homogeneity in high mountain slopes, Alto Motatán Subbasin, Mérida state, Venezuela

N. Pineda, Y. Garcés, E. Jaimes, J. Mendoza y H. Rodríguez

Grupo de Investigación de Suelos y Aguas. Núcleo Universitario Rafael Rangel. Universidad de Los Andes. Avenida Isaías Medina Angarita, Sector Carmona, Trujillo, estado Trujillo, Venezuela.

Resumen

A partir de la caracterización fisiográfica y morfológica de terrenos de uso agrícola localizados en zonas de ladera de alta montaña, se determinó la homogeneidad pedogeomorfológica en dos sectores de la subcuenca Alto Motatán, municipio Miranda, estado Mérida, Venezuela. Se describieron 18 perfiles de suelo, considerando las características fisiográficas de los sectores bajo estudio y las características morfológicas del epipedón y endopedón. Con esta información se construyó una matriz original de datos, a partir de la cual se hicieron los agrupamientos para realizar el análisis de homogeneidad, aplicando el Sistema de Información Automatizado de Homogeneidad de Tierras (SIAHT) para calcular los Índices de Homogeneidad Múltiple (IHM). En el sector denominado I, localizado en el área de influencia de los comités de riego Alisal-El Pedregal y Cruz Chiquita predominó el cultivo de raíces y tubérculos (zanahoria y papa). El sector identificado como II, comprendió el área de influencia del comité de riego El Rincón de La Venta, destinado al cultivo de una amplia gama de rubros hortícolas de hoja verde. Los resultados permitieron determinar que los suelos agrupados en el sector I (zona de vida transicional a páramo subalpino) fueron más homogéneos que los suelos del sector II (bosque húmedo montano). Se concluyó que el análisis permitió generar información básica para fines de planificación del uso, manejo y conservación de los suelos en áreas de relieve montañoso.

Palabras clave: Índice de Homogeneidad Múltiple (IHM), pedogeomorfología, Sistema de Información Automatizado de Homogeneidad de Tierras (SIAHT), Alto Motatán.

Recibido el 7-6-2011 ● Aceptado el 24-1-2012

Autor de correspondencia e-mail: pineida@ula.ve; jaimes@ula.ve; yolarv@hotmail.com; jgmendoza@ula.ve; mandoni500@hotmail.com

Abstract

From the physiographic and morphological characterization of the lands located in areas of high mountain slopes, the pedogeomorphological homogeneity in two sectors located at the Alto Motatán Subbasin of the Miranda municipality at Mérida state, Venezuela, was determined. 18 soil profiles were described, considering the physiographic characteristics of the sectors under study and the morphological characteristics of the epipedon and endopedon. With this information an original data matrix was built, from which the grouping were made for homogeneity analysis, by applying the Automated Information System of Land Homogeneity (AISLH) to calculate the Index of Multiple Homogeneity (IMH). In the sector I, located at the area of the Alisal-El Pedregal and Cruz Chiquita irrigation committees, the roots and tubers crops (carrot and potato) predominate. Sector II included the area of the Rincón de La Venta irrigation committee and was intended for agricultural use under green leafy vegetable crops. The results showed that the soils grouped in the sector I (transitional life zone to subalpine paramo) were more homogeneous than the soils in sector II (montane wet forest). It's concluded that the analysis allows to generated basic information for planning purposes of use, management and soil conservation in mountainous areas.

Key words: Index of Multiple Homogeneity (IMH), pedogeomorphological, Automated Information System of Land Homogeneity (AISLH), Alto Motatán.

Introducción

En la región de los Andes venezolanos, la fuerte actividad humana, expresada a través de la actividad agropecuaria (por ejemplo, uso de abonos químicos), la construcción de viviendas y el desarrollo de centros poblados que incluyen infraestructura turística, industriales y agroindustriales, de manera incontrolada o anárquica, la contaminación por aguas servidas y la disposición de residuos sólidos (basura), así como la construcción de vías de comunicación sin criterio o ingenieriles, generan consecuencias negativas que afectan la estabilidad de los agroecosistemas andinos. Por ende, es en los suelos donde más se refleja el deterioro producido por la intervención

Introduction

In the Venezuelan Andes, the strong human activity expressed in the agriculture activity (for instance, the usage of chemical fertilizer), the construction of housing and the development of populated towns that include touristic, industrial and agro-industrial infrastructure in an uncontrolled or anarchical way, the pollution by water and the disposition of solid residues (garbage), as well as the construction of transportation without any criteria or engineering planning, carry negative consequences that affect the stability of Andean agroecosystems. Therefore, is in the soils where is mostly shown the deterioration produced by the antropic intervention through different

antrópica a través de sus diferentes modalidades.

Es de notar que el grado de deterioro ambiental que exhibe un determinado ecosistema está en relación directa con la intensidad en que inciden los factores o procesos que lo degradan o destruyen. Si la magnitud de estos factores es mínima o tolerable, es decir, que el aprovechamiento de los recursos naturales, en particular el recurso suelo, se realiza con base en tecnologías de producción viables y no degradantes y considerando los principios ecológicos, en esa manera se maximizarán los usos sostenibles de dichos recursos.

Siendo el suelo uno de los recursos naturales más importantes surge la necesidad de mantener y/o mejorar su productividad mediante buenas prácticas de manejo para lograr un equilibrio entre la producción de alimentos y el acelerado incremento de la población humana. La importancia de realizar un análisis de la homogeneidad pedogeomorfológica de la subcuenca del Alto Motatán radica en que éste permitirá un diagnóstico preliminar en relación con las características actuales de los paisajes, en función del mejoramiento de las condiciones ambientales tal que permitan conocer los sectores del paisaje que ofrecen mejores características productivas a los usos hortícolas que tradicionalmente han venido siendo utilizados en estas tierras.

El sistema pedogeomorfológico fue definido como un componente del sistema ecológico, ubicado en la parte superficial de la litosfera, compuesto de los subsistemas suelo, regolito, sedimento, roca e hidrológico, en

modalities.

The degree of environmental deterioration that shows a determinate ecosystem is in direct relation to the intensity of the factors or processes that degrade or destroy them. If the magnitude of these factors is minimum or acceptable, that is, that the utilization of natural resources, particularly the resource of the soil, done based on technologies of non-degradable viable production and considering the ecological principles, in that way will be maximize the sustainable uses of such resources.

Being the soil one of the most important natural resources arises the necessity of keeping and/or improving its production with good handling practices to fulfill equilibrium between the production of food and the accelerate increment of the human population. The importance of performing a pedogeomorphological homogeneity analysis of the subbasin of "Alto Motatán" lies on it will allow doing a preliminary diagnoses in relation to the current characteristics of the landscapes in function to the improvement of the environmental conditions which would allow knowing the environmental areas that offer between productive characteristics to the horticultural usages that have been traditionally used in these lands.

The pedogeomorphological system was defined as a component of the ecological system, located on the superficial area of the lithosphere formed by the subsystems soil, regolith, sediment, rock and hydrological in interrelation to its environment formed by the atmosphere, the biosphere and other

interrelación con su ambiente formado por la atmósfera, la biosfera y otros sistemas pedogeomorfológicos vecinos. La interfase sólido-líquido-gas-biota que caracteriza al sistema pedogeomorfológico, a través del cual tiene lugar el intercambio de materia, energía e información dentro y entre el ecosistema, puede ser tan pequeña como la superficie de un pedón o polipedón (Elizalde y Jaimes, 1989).

Dada la complejidad estructural, funcional y evolutiva del sistema pedogeomorfológico, Jaimes (1988) definió el Índice de Homogeneidad Múltiple (IHM) como un valor o cantidad que representa la homogeneidad de un sistema caracterizado por variables pedogeomorfológicas, es decir, características del paisaje (fisiográficas) y de los suelos (morfológicas, físicas, químicas y biológicas). Tal valor permitió establecer comparaciones con la finalidad de estudiar la estructura, el funcionamiento, la evolución, la estabilidad y la variabilidad espacial de dichos atributos dentro del sistema y de éste con relación a otros sistemas, incluyendo la totalidad del ambiente circundante (Jaimes y Elizalde, 1991a).

El índice de homogeneidad múltiple ha sido aplicado por diversos autores para conocer los grados de homogeneidad pedogeomorfológica en la subcuenca del río Castán (Jaimes y Mendoza, 1996), en la microcuenca Quebrada de Ramos (Mendoza y Jaimes, 2002) y en la microcuenca del río Monaquito (Pineda *et al.*, 2008), ubicadas en el estado Trujillo, Venezuela; para analizar la pedogénesis en la cuenca media-alta del río Motatán, en los estados Mérida y Trujillo (Jaimes *et al.*, 1992; Jaimes *et al.*,

close pedogeomorphological systems. The interphase solid-liquid-gas-biota that characterize the pedogeomorphological system, which takes place the interchange of matter, energy and information inside and between the ecosystem, can be as small as the surface of a pedon and polipedon (Elizalde and Jaimes, 1989).

Due to the structural, functional and evolutionary complexity of the pedogeomorphological system, Jaimes (1988) defined the Multiple Homogeneity Index (IHM) as a value or quantity that represents the homogeneity of a system characterized by pedogeomorphological variables, that is, characteristics of the landscape (physiographical) and the soils (morphological, physical, chemical and biological). Such value allowed establishing comparisons with the aim of studying the structure, functioning, evolution, stability and spatial variability of such attributes inside the system in relation to other systems, including the totality of the surrounding environment (Jaimes and Elizalde, 1991a).

The index of multiple homogeneity has been applied by different authors to know the degrees of pedomorphological homogeneity in the subbasin of the Castán river (Jaimes and Mendoza, 1996), in the microbasin Quebrada de Ramos (Mendoza and Jaimes, 2002) and in the microbasin of the Monaquito river (Pineda *et al.*, 2008) located in Trujillo state, Venezuela; to analyze the pedogenesis in the medium-high basin of Motatán river, in the states Mérida and Trujillo (Jaimes *et al.*, 1992; Jaimes *et al.*, 2005; Flores *et al.*, 2007) and

2005; Flores *et al.*, 2007) y en la región de Socopó, estado Barinas (Ochoa y Oballos, 2002); para comprobar que hubo una relación directa y consistente entre la producción de biomasa aérea seca y la homogeneidad edáfica, asociada con las características físicas y químicas del epipedón (Jaimes y Arellano, 1998); en la aplicación de un ensayo metodológico de evaluación de tierras para la captación de agua en dos microcuencas del río Santo Domingo, estado Mérida, Venezuela (Rivas *et al.*, 2005). Otra de las aplicaciones del IHM ha sido para analizar la homogeneidad de algunos mesoclimas de Venezuela (Jaimes *et al.*, 2006), así como para determinar la homogeneidad de los valores medios mensuales y máximos absolutos mensuales de algunos elementos climatológicos (Pineda *et al.*, 2006).

Ante el problema planteado, este trabajo tuvo como objetivo analizar la homogeneidad pedogeomorfológica que presentaron los suelos en dos sectores localizados en zonas de ladera de alta montaña de la subcuenca Alto Motatán, realizando una descripción de algunas características pedogeomorfológicas (fisiográficas y morfológicas).

Materiales y métodos

Descripción general del área de estudio

El área de estudio se ubicó en la República Bolivariana de Venezuela, región Los Andes, estado Mérida, municipio Miranda, parroquia La Venta; específicamente en la parte alta de la subcuenca del río Motatán, formando parte de la hoya hidrográfica del Lago

in the Socopó region, Barinas state (Ochoa and Oballos, 2002), to prove that there was a direct and consistent relation between the production of the dry air biomass and the soil homogeneity related to the physical and chemical characteristics of the epipedon (Jaimes and Arellano, 1998); in the application of a methodological essay of lands' evaluation for the capitation of water in two micro-basins of Santo Domingo river, Mérida state, Venezuela (Rivas *et al.*, 2005). Other of the applications of IHM has been to analyze the homogeneity of some micro-weatherers of Venezuela (Jaimes *et al.*, 2006), as well as to determine the homogeneity of the average monthly values and monthly maximum absolute of some climatic elements (Pineda *et al.*, 2006).

Therefore, the objective of this research was to analyze the pedogeomorphological homogeneity that presented the soil in two areas located in mountainous slopes areas in the sub-basin Alto Motatán describing some pedogeomorphological characteristics (physiographical and morphological).

Materials and methods

General description of the area under research

The research area was located in the Bolivarian Republic of Venezuela, Los Andes region, Mérida state, Miranda municipality, La Venta parish; specifically in the high area of the Sub-basin of Motatán River, forming part of the hydrographic basin of Maracaibo's Lake. The geological formations present corresponded to

de Maracaibo. Las formaciones geológicas presentes correspondieron con Mucuchachí y Palmarito, e intrusiones litológicas del granito de Chachopo (Ochoa *et al.*, 2008).

Con el propósito de levantar la información de campo se realizó una sectorización tomando en cuenta la distribución de las unidades de producción en la subcuenca Alto Motatán, conformándose así dos sectores:

·Sector I: constituido por las unidades de producción pertenecientes a los comités de riego Alisal-El Pedregal y Cruz Chiquita, ubicado en un piso altitudinal variable entre los 2990 y 3450 msnm, que definió la zona de vida transicional entre el páramo subalpino (p-SA) y el bosque húmedo montano (bh-M), según los criterios de zonas de vida de Venezuela señalados por Ewel *et al.* (1976). Los cultivos predominantes fueron del renglón de raíces y tubérculos, destacándose la papa (*Solanum tuberosum* L.), la zanahoria (*Daucus carota* L.) y el apio (*Arracacia xanthorrhiza* Banc.).

·Sector II: representado por las parcelas pertenecientes al comité de riego El Rincón de La Venta, localizadas entre los 2500 y 3200 msnm, incluido en la zona de vida bosque húmedo montano (bh-M) (Ewel *et al.*, 1976). El uso agrícola de la tierra se caracterizó por el predominio de diversos cultivos hortícolas de hoja, entre los que destacaron: la lechuga (*Lactuca sativa* L.), la acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla* (L.) K. Koch), el cilantro (*Coriandrum sativum* L.), el ajo porro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum* (L.) J. Gay) y el cebollín (*Allium schoenoprasum* L.); y de inflorescencias como la alcachofa

Mucuchachí and Palmarito and lithological intrusions of Chachopo granite (Ochoa *et al.*, 2008).

With the aim of obtaining the field information a sectorisation was done considering the distribution of production's units in the Alto Motatán sub-basin thus forming two sectors:

Sector I: constituted by the production units belonging to the irrigation committee Alisal-El Pedregal and Cruz Chiquita, located on variable altitudinal land from 2990 to 3450 masl, that defined the life transitional area between the subalpine Paramo (p-SA) and the mountainous wet forest (bh-M), according to the criteria of life's areas of Venezuela, pointed by Ewel *et al.*, (1976). The predominant crops were roots and tubers, highlighting the potato (*Solanum tuberosum* L.), carrot (*Daucus carota* L.) and celery (*Arracacia xanthorrhiza* Banc.).

Sector II: represented by plots belonging to the irrigation comitee El Rincón de La Venta, located between 2500 and 3200 masl, included in the life area mountainous wet forest (bh-M) (Ewel *et al.*, 1976). The agriculture usage of the land was characterized by the predomination of different horticulture crops of the leave, among which highlighted: lettuce (*Lactuca sativa* L.), chard (*Beta vulgaris* var. *cicla* (L.) K. Koch), parsley (*Coriandrum sativum* L.), leek (*Allium ampeloprasum* var. *porrum* (L.) J. Gay) and chives (*Allium schoenoprasum* L.); and inflorescences as artichokes (*Cynara cardunculus* L.), broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck), cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.)

(*Cynara cardunculus* L.), el brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck), el repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) y el coliflor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L).

De acuerdo a información suministrada por los directivos de los comités de riego estudiados, las tierras bajo producción hortícola tuvieron un promedio de uso variable entre 40 y 50 años, tiempo en el cual los productores han realizado la práctica de despedregado superficial y desmonte en forma manual y con la ayuda de tracción animal. Con las piedras removidas los productores han construido muros que han servido, por una parte para el control de la erosión en terrenos de alta pendiente y, por otra, para delimitar parcelas. Durante ese tiempo de uso la práctica del riego ha sido por aspersión, utilizando frecuencias de riego de hasta 12 horas en las épocas secas (enero, febrero, marzo, abril). La fertilización de los suelos ha sido a base de estiércol animal y aplicaciones de fórmulas fertilizantes químicas.

Características y variables pedogeomorfológicas descritas

Se describieron y muestrearon 18 perfiles de suelo: nueve por cada sector estudiado, que conformaron la matriz original de datos. En el cuadro 1 se muestran las variables pedogeomorfológicas descritas en campo, agrupadas de acuerdo a las características fisiográficas de los sectores y las características morfológicas del epipedón y endopedón, indicando además las unidades y métodos de obtención utilizados.

Agrupamientos de perfiles de suelo

Para determinar la homogeneidad pedogeomorfológica se realizaron

and cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L).

According to the information provided by the directives of the irrigation committee studied, the lands under horticulture production had a usage average from 40 to 50 years, time where the producers have carried the superficial stoning practice and manual cleaning with the help of animal traction. With the removed rocks the producers have built walls that have allowed, in a part, for the control of the erosion in lands with high slopes, and to delimitate plots. During that time the practice of irrigation has been by aspersion, using irrigation frequencies of even 12 hours in the dry seasons (January, February, March, April). The fertilization of the soil has been with animal manure and application of chemical fertilizing formulas.

Characteristics and pedomorphological variables described

Were described and sampled 18 profiles of the soil: nine by each studied area that formed the original matrix of the data. In table 1 are shown the pedomorphological variables described in the field, grouped according to the physiographic characteristics of the sectors and the morphological characteristics of the epipedon and endopedon, indicating the units and obtaining methods used.

Grouping of the soil profiles

To determine the pedogeomorphological homogeneity, were done three groupings after the original matrix of the data, selecting the soil profiles according to the

Cuadro 1. Características y variables pedogeomorfológicas utilizadas para elaborar la matriz original de datos.

Table 1. Characteristics and pedogeomorphological variables used to elaborate the original matrix of the data.

Características	Variable pedogeomorfológica	Unidad	Método de obtención
Fisiográficas	Pendiente media	%	Utilizando el clisímetro
	Forma del terreno	Adimensional	Jaimes y Elizalde (1991b)
	Orientación-pendiente media	(°)	Utilizando el clisímetro
	Altitud	m	Geoposicionador satelital (GPS)
Morfológicas	Color de la matriz: seco y húmedo*	Adimensional	Tabla Munsell (USDA, 1990)
	Espesor	cm	Cinta métrica
	Fragmento grueso	%	Gravimétrico (FONAIAP, 1990)
	Profundidad efectiva del suelo	cm	Cinta métrica
	Profundidad al estrato pedregoso	cm	Cinta métrica

*Variable descrita y/o medida para el epipedón y endopedón.

tres agrupamientos a partir de la matriz original de datos, seleccionando los perfiles de suelo de acuerdo a los siguientes criterios:

·Primer agrupamiento: considerando la condición agroclimática los perfiles se agruparon por dos sectores: sector I (nueve perfiles) y sector II (nueve perfiles).

·Segundo agrupamiento: considerando la pendiente media del terreno donde se ubicaron los perfiles de suelo, así: nueve perfiles con pendientes mayores al 35% y nueve perfiles con pendientes menores o iguales al 35%.

·Tercer agrupamiento: se seleccionaron los perfiles de acuerdo a la forma del terreno así: nueve perfiles con formas rectilíneas (rectilínea-rectilínea, rectilínea-cóncava y rectilínea-convexa) y nueve perfiles con formas no rectilíneas (convexa-convexa, convexa-cóncava, cóncava-convexa y cóncava-cóncava).

Determinación de la homogeneidad pedogeomorfológica

La homogeneidad pedogeomorfológica se determinó a través del Índice de Homogeneidad Múltiple (IHM), propuesto por Jaimes (1988), cuya definición está basada en el análisis multivariado por componentes principales (Morrison, 2004).

El IHM se define como el producto acumulado de los valores propios mayores o iguales a 1 (λ_j mayor o igual a 1). Para este cálculo se multiplicó el primer valor propio por el segundo ($\lambda_1 \times \lambda_2$) y el producto obtenido se multiplicó por el tercero ($\lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3$) y así sucesivamente hasta utilizar todos los valores propios mayores o iguales a 1. Algebraicamente se representa:

following criteria:

First grouping: considering the agro-climatic condition the profiles were grouped by two sectors: sector I (nine profiles) and sector II (nine profiles).

Second grouping: considering the medium slope of the land where were located the profiles of the soil, thus: nine profiles with slopes higher to 35% and nine profiles with slopes lower to or equal to 35%.

Third grouping: were selected the profiles according to the shape of the land, thus: nine profiles with rectilinear shapes (rectilinear-rectilinear, rectilinear-concave and rectilinear-convex) and nine profiles with non-rectilinear shapes (convex-convex, convex-concave, concave-convex and concave-concave)

Determination of the pedogeomorphological homogeneity

The pedogeomorphological homogeneity was determined with the Multiple Homogeneity Index (IHM) proposed by Jaimes (1988), which definition is based on the multivariate analysis by main components (Morrison, 2004).

The IHM is defined as the accumulated product of the own values higher or equal to 1 (λ_j higher or equal to 1). For this calculation was multiplied the first proper value with the second ($\lambda_1 \times \lambda_2$) and the product obtained was multiplied by the third ($\lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3$) and so on, until using all the values higher or equal to 1. Algebraically is represented:

$$\text{IHM} = \prod_{j=1}^m \lambda_j \quad (\text{Ec. 1})$$

$$IHM = \prod_{j=1}^m \lambda_j \quad (\text{Ec. 1})$$

donde:

Π : producto acumulado de los valores de λ_j .

λ_j : valor propio de j-ésimo componente principal de magnitud mayor o igual a 1.

m: número de componentes principales con valores propios mayores o iguales a 1.

El IHM expresa el grado de pureza o similitud de sus componentes menores o atributos más simples; mientras mayor sea su valor, mayor es la homogeneidad múltiple del sistema.

Para determinar los IHM de los agrupamientos de datos antes señalados, se utilizó el Sistema de Información Automatizado de Homogeneidad de Tierras (SIAHT, versión 2.1, sin registro de patente) diseñado por Elizalde y Daza (2001), estas homogeneidades fueron estudiadas a través de los siguientes análisis:

·Análisis de la homogeneidad pedogeomorfológica de acuerdo con las condiciones agroclimáticas de los sectores I y II, que presentaron diferentes usos y prácticas de manejo de la tierra y diferentes zonas de vida, considerando las características del perfil completo, de los epipedones y de los endopedones.

·Análisis de la homogeneidad pedogeomorfológica de acuerdo con las condiciones agroclimáticas de los sectores I y II, a partir de las características fisiográficas del terreno donde se describió cada perfil de suelo.

Where:

Π : accumulated product of values of λ_j .

λ_j : own value of the j-ith main component of magnitude higher or equal to

The IHM expresses the purity degree or similarity of the lower components or simpler attributes, the higher its value, the higher is the multiple homogeneity of the system.

To determine the IHM of the data grouping was used the Automatized Information System of Lands Homogeneity (SIAHT, 2.1 versions, without patent registration), designed by Elizalde and Daza (2001), these homogeneities were studied using the following analysis:

·Analysis of the pedogeomorphological homogeneity according to the agro-climatic conditions of factors I and II that presented different usages and handle practices of the land, and different life's areas, considering the characteristics of the profile complete of the epipedon and endopedons.

·Analysis of the pedogeomorphological homogeneity according to the agro-climatic conditions of factors I and II, after the physiographic characteristics of the land, where was described every profile of the soil.

·Analysis of the pedogeomorphological homogeneity according to the medium slope of the lands where were described each profile.

·Analysis of the pedogeomorphological homogeneity according to the shape of the land where were located the profiles of the studied soil.

The physical and physiographic characteristics of the profiles expressed qualitatively in the matrixes were

·Análisis de la homogeneidad pedogeomorfológica de acuerdo con la pendiente media de los terrenos donde se describió cada perfil.

·Análisis de la homogeneidad pedogeomorfológica de acuerdo a la forma de terreno donde se ubicaron los perfiles de suelo estudiados.

Las características físicas y fisiográficas de los perfiles expresadas cualitativamente en las matrices se codificaron en forma numérica (cuadro 2) a fin de ser procesadas estadísticamente mediante el programa SIAHT, versión 2.1.

Resultados y discusión

Homogeneidad pedogeomorfológica y su relación con las condiciones agroclimáticas, considerando las características del perfil completo (epipedón + endopedón)

En la figura 1 se presentan los resultados de los IHM obtenidos considerando las características fisiográficas y morfológicas del “perfil completo” agrupados según la condición agroclimática (primer agrupamiento), donde se observó que el mayor valor del IHM correspondió a los suelos localizados en el sector I (cultivos de raíces y tubérculos), resultando el sector II (cultivos hortícolas de hojas y de inflorescencias) con el menor valor del IHM. De este resultado se infirió que los tipos de uso y manejo de tierra (agroclima) afectaron la homogeneidad pedogeomorfológica de los suelos bajo estudio.

En el cuadro 3 se muestran los valores de homogeneidad determinados a partir de las características

codified numerically (table 2) with the aim of being processes statistically with the SIAHT program, version 2.1.

Results and discussion

Pedogeomorphological homogeneity and its relation to the agro-climatic conditions, considering the characteristics of the complete profile (epipedon + endopedon)

In figure 1 are presented the results of the obtained IHM considering the physiographic and morphological characteristics of the “complete profile” grouped according to the agro-climatic condition (first grouping), where was observed that the highest value of IHM corresponded to the soils located in the sector I (crops of roots and tubers), resulting sector II (horticulture crops of the leaves and inflorescences) to the lowest value or IHM. From this result was inferred that the types of uses and handle of the land (agro-weather) affected the pedogeomorphological homogeneity of the soils under study.

In table 3 are shown the homogeneity values determined after the physiographic and morphological characteristics of the “epipedons” by this area, where was seen that the soils located in sector I tended to be less homogenous (lower value of IHM), without any relation to the highest agro-climatic homogeneity obtained for the “complete profile” of such area, highlighting that probably the handling practices of lands that used the agricultures of the Irrigation Committee Alisal-El Pedregal and Cruz Chiquita (sector I) were more

Cuadro 2. Codificación numérica utilizada para cuantificar las variables cualitativas de la matriz de datos.

Table 2. Numeric codification used to quantify the qualitative variables of the data matrix.

Color (CS y CH)		Profundidad al estrato pedregoso (PEP)		Forma del terreno (FT)	
Cualidad	Código	Cualidad (cm)	Código	Cualidad	Código
Gley	1	≤ 25	1	Rectilíneo-Rectilíneo	1
5Y	2	26 – 50	2	Rectilíneo-Cóncavo	2
2,5Y	3	51 – 70	3	Rectilíneo-Convexo	3
10YR	4	71 – 100	4	Cóncavo-Rectilíneo	4
7,5YR	5	101 – 125	5	Cóncavo-Cóncavo	5
5YR	6	126 – 150	6	Cóncavo-Convexo	6
2,5YR	7	151 – 171	7	Convexo- Rectilíneo	7
10R	8	171 - 200	8	Convexo-Cóncavo	8
		> 200	9	Convexo-Convexo	9

Clase de drenaje (CD)		Drenaje externo (DE)	
Cualidad	Código	Cualidad	Código
Excesivamente drenado (ED)	1	Muy rápido	1
Algo excesivamente drenado (AED)	2	Rápido	2
Bien drenado (BD)	3	Moderado	3

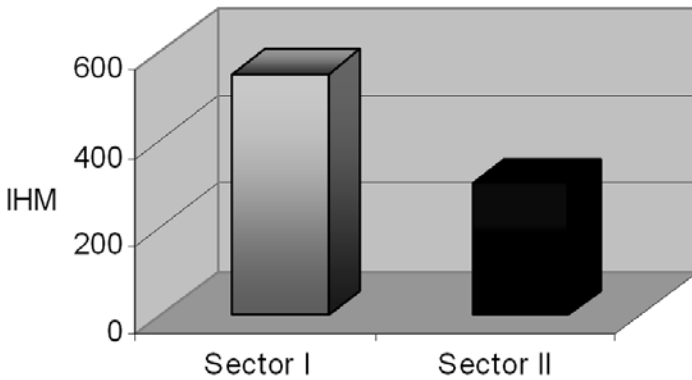


Figura 1. Homogeneidad pedogeomorfológica para el “perfil completo” de acuerdo con características agroclimáticas de los sectores estudiados.

Figure 1. Pedogeomorphological homogeneity of complete profile according to agroclimatic conditions, of the studied area.

fisiográficas y morfológicas de los “epipedones” por sector, donde se apreció que los suelos localizados en el sector I tendieron a ser menos homogéneos (menor valor del IHM), no existiendo ninguna relación con la mayor homogeneidad agroclimática obtenida para el “perfil completo” de dicho sector, resaltándose con ello que probablemente las prácticas de manejo de tierras que utilizaron los agricultores de los Comités de Riego Alisal-El Pe-

diverse in relation to the employed by the producers located in the sector II. To the latter is added the fact that sector I exhibited a higher physiographic complexity as will be analyzed later. Since in this research were not evaluated the management practices, the probable effect is mentioned as a hypothesis to prove.

In table 3 are also shown that the homogeneity of the “endopedons” was higher in the soils described in sector

Cuadro 3. Homogeneidad pedogeomorfológica por epipedón y por endopedón de acuerdo con las características agroclimáticas de los sectores estudiados.

Table 3. Pedogeomorphological homogeneity by epipedon and endopedon according to the agro-climatic characteristics of the studied areas.

Sector	IHM epipedón	IHM endopedón
I	16,7	14,0
II	18,0	11,7

dregal y Cruz Chiquita (sector I) fueron más diversas con respecto a las empleadas por los productores localizados en el sector II. A lo antes señalado se suma el hecho que el sector I exhibió una mayor complejidad fisiográfica tal como se analiza más adelante. Dado que en este estudio no se evaluaron las prácticas de manejo, su probable efecto queda planteado como una hipótesis de trabajo por comprobar.

También en el cuadro 3 se observa que la homogeneidad de los “endopedones” fue mayor en los suelos descritos en el sector I con respecto a los suelos del sector II. En este caso si se detectó una correspondencia con la mayor homogeneidad agroclimática asociada con el sector I para el “perfil completo”. La explicación de este comportamiento inverso se debió al efecto diferenciante de las prácticas de manejo de suelo (labranza, aplicación de fertilizantes, riego, entre otras), que hicieron del epipedón de estos suelos una sección más heterogénea.

Esta diferencia reafirmó lo expresado por Jaimes *et al.* (2005) al considerar a los epipedones como los horizontes del suelo que mayor variabilidad espacial y temporal exhibieron, en virtud a los cambios de intensidad y frecuencia que tuvieron todos los factores ambientales o externos que incidieron directamente sobre su pedogénesis; es decir, variaciones de algunos elementos climáticos (temperatura, radiación, lluvia, evapotranspiración e insolación, entre otros), cambios en el uso de la tierra y diferencias asociadas con distintas prácticas o tipos de manejo de tierras; mientras que los endopedones, por ser

I regarding those of sector II. In this case, it was detected a corresponded to the higher agro-climatic homogeneity associated to the sector I for the “complete profile”. The explanation of this inverse behavior was due to the different effect of the handling practices of the soil (tillage, application of fertilizers, irrigation, among others) that created the epipedon of these soils more heterogeneous.

This difference reaffirmed the expressed by Jaimes *et al.*, (2005) when considering the epipedons as the soil horizons that exhibited higher spatial and temporal variability, in relation to the intensity chances and frequency that had all the environmental or external factors that influenced directly on their pedogenesis; that is, variations of some climatic elements (temperature, radiation, rain, evapotranspiration and insolation, among others), changes in the usage of the land and differences associated to different practices or types of land's management, while the endopedons by being sub-superficial horizons were not submitted to this wide variability of the factors that form the soil, constituting in the parts or sections of the soil's body that were useful to confirm or corroborate the analysis of pedogeomorphological homogeneity and the evolutionary development of the soils content in a determined landscape unit.

Pedogeomorphological homogeneity according to the agro-climatic conditions of the sectors I and II and its relation to the physiographic characteristics of the land of the soil's profiles

In table 4 are seen the results of the IHM obtained only considering the

horizontes subsuperficiales, no estuvieron sometidos a esta amplia variabilidad de los factores formadores de suelo, constituyéndose en las partes o secciones del cuerpo de suelo que fueron útiles para confirmar o corroborar los análisis de homogeneidad pedogeomorfológica y el desarrollo evolutivo de los suelos contenidos en una unidad de paisaje determinada.

Homogeneidad pedogeomorfológica de acuerdo con las condiciones agroclimáticas de los sectores I y II, y su relación con las características fisiográficas del terreno de los perfiles de suelo

En el cuadro 4 se aprecian los resultados de los IHM obtenidos considerando solamente las características fisiográficas del paisaje donde se describieron los perfiles de suelo agrupados de acuerdo a su condición agroclimática (primer agrupamiento).

Dichos resultados fueron aparentemente contradictorios con los antes analizados. En efecto, de acuerdo a los valores del IHM obtenidos el sector I encierra una mayor complejidad y heterogeneidad fisiográfica con

physiographic characteristics of the landscape where were described the soil's profile according to the agroclimatic conditions (first grouping).

Such results were apparently contradictory with the latter analyzed. In effect, according to the values of IHM obtained, sector I implies a higher complexity and physiographic heterogeneity in relation to sector II, which resulted to be more homogenous. The higher physiographic heterogeneity of the sector I was very associated to a complex pattern of landscape units where were mainly combined non rectilinear land's shapes (convex-convex, convex-concave, concave-convex and concave-concave), where predominated a lot of divisors of water and drainage lines dendritic, subdendritic and rectangular. Is probable that this higher landscaping diversity of sector I were one of the causes that influenced in the lower homogeneity of epipedons belonging to the soils of this area.

It is also probable that the highest heterogeneity of the epipedons in sector I obeys the practices of the land's management, specifically the

Cuadro 4. Homogeneidad pedogeomorfológica de acuerdo con las condiciones agroclimáticas, considerando solamente las características fisiográficas del terreno para cada perfil de suelo.

Table 4. Pedogeomorphological homogeneity according to the agroclimatic conditions, only considering the physiographic characteristics of the land for each soil's profile.

Variabes fisiográficas	IHM
Sector I	2,0
Sector II	3,0

respecto al sector II, el cual resultó ser más homogéneo. La mayor heterogeneidad fisiográfica del sector I estuvo muy asociada a un patrón complejo de unidades de paisajes en las que se combinaron principalmente formas de terreno no rectilíneas (convexa-convexa, convexa-cóncava, cóncava-convexa y cóncava-cóncava), en las que predominaron numerosas divisorias de aguas y líneas de drenaje dendríticas, subdendríticas y rectangulares. Es probable que esta mayor diversidad paisajística del sector I fuera una de las causas que estuvo influyendo en la menor homogeneidad de los epipedones pertenecientes a los suelos de este sector.

Sumado a lo antes indicado, también es probable que la mayor heterogeneidad de los epipedones en el sector I obedezca a las prácticas de manejo del terreno, específicamente a las labores de labranza con fines de preparación del suelo y al momento de cosechar los productos para facilitar su extracción del suelo, toda vez que el uso predominante (raíces y tubérculos) exige una mayor alteración del terreno en razón de que este tipo de cultivos exploran un mayor volumen del suelo en comparación con los cultivos del sector II que son hortalizas de hoja y de inflorescencias cuyas raíces exploran y ocupan un menor volumen edáfico.

Homogeneidad pedogeomorfológica y su relación con la pendiente media del terreno de los perfiles de suelo

En la figura 2 se muestran los histogramas de homogeneidad determinados, considerando las características fisiográficas y morfológicas de los

tillage works with soil's preparation objectives, and at the moment of harvesting the products to facilitate its extraction from the soil, where the predominant soil (roots and tubers) demand a higher alteration of the land in reason that this kind of crops explore a higher volume of the soil in comparison to the crops of sector II, which are tubers and inflorescences which roots explore and occupy a lower soil volume.

Pedogeomorphological homogeneity and its relation to the medium slope of the land of the soil profiles

In figure 2 are shown the determined homogeneity histograms, considering the physiographic and morphological characteristics of the soil's profile grouped according to the medium slope (second grouping), where the highest values of IHM were more related to the lands that exhibited slopes $\leq 35\%$.

This result allowed highlighting the noticeable influence that the morphological characteristics of the soils had on the pedogeomorphological homogeneity, related to the lowest inclination of the land (thickness of the epipedon and endopedon, color, effective depth of the soil and the rocky stratum, among others).

Pedogeomorphological homogeneity and its relation to the shape of the land of the soil's profiles

Figure 3 presents the obtained values of IHM considering the physiographic and morphological characteristics of the soil grouped according to the shapes of the land (third grouping), such figure

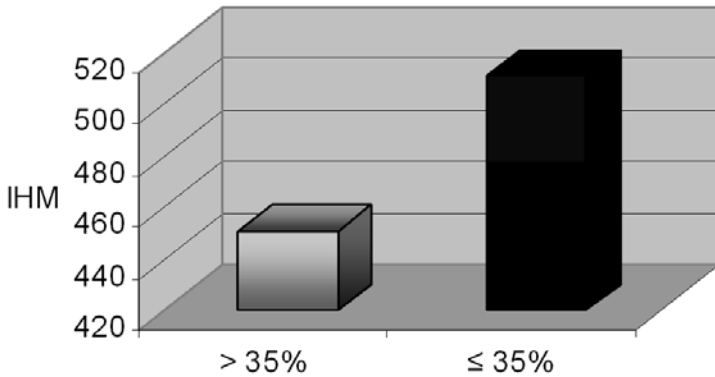


Figura 2. Homogeneidad pedogeomorfológica de acuerdo con la pendiente media de los perfiles completos.

Figure 2. Pedogeomorphological homogeneity according to mean slope of complete profile.

perfiles de suelo agrupados de acuerdo a su pendiente media (segundo agrupamiento), donde los mayores valores de IHM estuvieron más relacionados con los terrenos que exhibieron pendientes $\leq 35\%$.

Este resultado permitió destacar la notable influencia que ejercieron en la homogeneidad pedogeomorfológica las características morfológicas de los suelos relacionados con la menor inclinación del terreno (espesor de epipedón y endopedón, color, profundidad efectiva del suelo y el estrato pedregoso, entre otras).

Homogeneidad pedogeomorfológica y su relación con la forma de terreno de los perfiles de suelo

La figura 3 presenta los valores del IHM obtenidos considerando las características fisiográficas y morfológicas de los perfiles de suelo agrupados de acuerdo a las formas de terreno (tercer agrupamiento), dicha

highlights the relation between the IHM values and the shapes of the rectilinear land, according to the longitudinal profile of the slopes. The latter showed that the non rectilinear shapes represented topographic shapes with higher complexity and, therefore, determinant of a higher pedogeomorphological heterogeneity.

Conclusions

Physiographically, sector I presented a higher landscaping heterogeneity compare to sector II. Probably, this heterogeneity influenced in the low pedogeomorphological homogeneity detected in the epipedons of the soils described in this sector when was analyzed according to the agro climatic condition.

The pedogeomorphological homogeneity associated to the slopes ranks resulted higher in lands with slopes $\leq 35\%$.

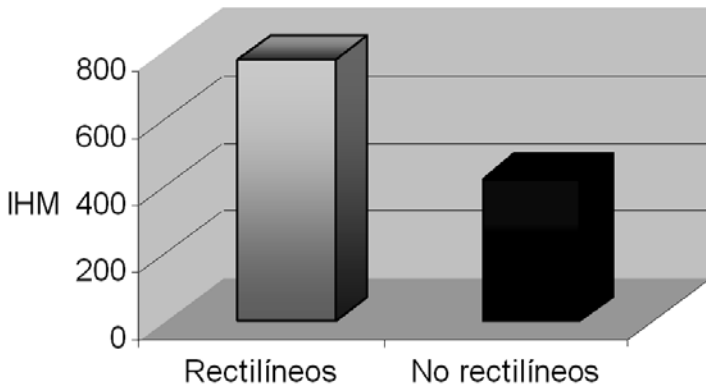


Figura 3. Homogeneidad pedogeomorfológica de acuerdo con la forma del terreno de los perfiles completos.

Figure 3. Pedogeomorphological homogeneity according of soil landscape of complete profile.

figura destaca la relación que hubo entre los valores del IHM y las formas de terreno rectilíneas, de acuerdo con el perfil longitudinal de las laderas. Lo anterior demostró que las formas no rectilíneas representaron formas topográficas de mayor complejidad y, en consecuencia, determinantes de una mayor heterogeneidad pedogeomorfológica.

Conclusiones

Fisiográficamente el sector I presentó una mayor heterogeneidad paisajística en comparación con el sector II. Es probable que esta heterogeneidad influyera en la baja homogeneidad pedogeomorfológica detectada en los epipedones de los suelos descritos en este sector cuando se analizó con respecto a su condición agroclimática.

La homogeneidad pedogeomorfológica asociada a los rangos de

Additionally, the soil's landscapes with rectilinear land's shape (rectilinear-rectilinear, rectilinear-concave and rectilinear-convex) exhibited higher pedogeomorphological homogeneity compare to the soil's landscape with non rectilinear land's shape.

Acknowledgement

The authors acknowledge the Scientific, Humanistic, Technological and Arts Development Board (CDCHTA) of Universidad de Los Andes (ULA) by financing this research through the project NURR-C-392-05-01-A and Dr. Enrique Ávila, by translating the abstract from Spanish to English.

End of english version

pendientes resultó mayor en los terrenos con pendientes $\leq 35\%$.

Adicionalmente, los paisajes de suelos con formas de terreno rectilíneas (rectilínea-rectilínea, rectilínea-cóncava y rectilínea-convexa) exhibieron mayor homogeneidad pedogeomorfológica en comparación con los paisajes de suelos con formas de terreno no rectilíneas.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico, Tecnológico y de las Artes (CDCHTA) de la Universidad de Los Andes (ULA), por el financiamiento de este trabajo a través del proyecto NURR-C-392-05-01-A y al Dr. Enrique Ávila por la traducción del resumen al idioma inglés.

Literatura citada

- Elizalde, G. y E. Jaimes. 1989. Propuesta de un modelo pedogeomorfológico. *Revista Geográfica Venezolana*. XXX: 5-35.
- Elizalde, G. y M. Daza. 2001. Sistema de información automatizado de homogeneidad de tierras. (SIAHT, Versión 2.1, sin registro de patente). Manual del usuario y Software. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 20 p.
- Ewel, J., A. Madriz y J. Tosi. 1976. Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Editorial Sucre. Segunda Edición. Caracas, Venezuela. 265 p.
- Flores, G., B. Méndez, J. Oballos, G. Ochoa y E. Jaimes. 2007. Determinación de la homogeneidad múltiple de suelos en los andes venezolanos. *Revista Forestal Latinoamericana* 41:93-106.
- FONAIAP. 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Brito J., López I., Pérez R. (Comps.). Fondo Nacional para la Investigación Agropecuaria. Maracay, Venezuela. 190 p.
- Jaimes, E., J. Oballos y G. Ochoa. 1992. Determinación de la homogeneidad múltiple utilizando diferentes niveles de taxones en perfiles de suelos de la cuenca media y alta del río Motatán. Estados Mérida y Trujillo. Venezuela. *Revista Suelo Planta* 2:433-446.
- Jaimes, E. 1988. Determinación de índices de homogeneidad múltiples globales en sistemas pedogeomorfológicos de la Cordillera de la Costa, Serranía del Litoral Central (Tesis Doctoral). Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 226 p.
- Jaimes, E. y R. Arellano. 1998. Homogeneidad edáfica relacionada con la biomasa herbácea. Subcuenca baja del río Castán, estado Trujillo, Venezuela. *Agronomía Tropical* 48(3):305-333.
- Jaimes, E. y G. Elizalde. 1991a. Determinación de un índice de homogeneidad múltiple en sistemas pedogeomorfológicos montañosos. *Revista Agricultura Andina* 6:25-46.
- Jaimes, E. y G. Elizalde. 1991b. Metodología para la caracterización de la forma del terreno en sistemas pedogeomorfológicos montañosos. *Revista Agricultura Andina* 6:65-84.
- Jaimes, E. y J. Mendoza. 1996. Análisis edafogeomorfológico en dos áreas muestras, subcuenca del río Castán, estado Trujillo-Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 13:725-739.
- Jaimes, E., N. Pineda y J. Mendoza. 2006. Homogeneidad mesoclimática de algunas zonas de vida de Venezuela. *Interciencia* 31(11):772-778.
- Jaimes, E., J. Mendoza, N. Pineda y H. Rodríguez. 2005. Homogeneidad pedogeomorfológica y pedogénesis en la cuenca del río Motatán, Trujillo, Venezuela. *Interciencia* 30(2):73-80.
- Mendoza, J. y E. Jaimes. 2002. Homogeneidad edáfica en dos áreas muestras de la cuenca del río

- Motatán, estado Trujillo-Venezuela. Revista Geográfica de Venezuela 43(2):255-264.
- Morrison, D.F. 2004. *Multivariate Statistical Methods*. 4a ed. Brooks Cole Thomson Learning. Belmont, California, EEUU. 469 p.
- Ochoa, G. y J. Oballos. 2002. La homogeneidad múltiple y la evolución de los suelos en la región de Socopó-Barinas, Venezuela. *Agrochimica* 46:220-230.
- Ochoa, G., D. Malagón y J. Oballos. 2008. Influencia del material parental y del bioclima en la pedogénesis de la cuenca media y alta del río Motatán. Mérida-Trujillo. Venezuela. *Agronomía Tropical* 58(2):125-140.
- Pineda, N., E. Jaimes, J. Mendoza, R. Arellano, L. Becerra y H. Rodríguez. 2008. Homogeneidad pedogeomorfológica relacionada con las formaciones geológicas y las zonas de vida de la microcuenca del río Monaquito, Trujillo, Venezuela. *Bioagro* 20(1):49-56.
- Pineda, N., E. Jaimes y J. Mendoza. 2006. Aplicación del índice de homogeneidad múltiple a datos climatológicos de Venezuela. *Interciencia* 31(11):817-821.
- Rivas, S., J. Oballos, G. Ochoa y J. Santiago. 2005. Ensayo metodológico de evaluación de tierras para la captación de agua en dos microcuencas del río Santo Domingo, Mérida, Venezuela. *Interciencia* 30(6):347-355.
- USDA. 1990. *Munsell Soil Colors Chart. Handbook 18*. Macbeth Division. Kollmorgen Instruments Corp. Baltimore, Maryland, EEUU. 4 pp. + anexos.