

Clasificación de tierras agrícolas con fines de conservación de suelos en parcelas de uso hortícola, subcuenca Alto Motatán, Mérida-Venezuela

Agricultural land classification with soil conservation purposes in plots of horticultural use, Alto Motatán sub-basin, Mérida-Venezuela

N. Pineda, E. Jaimes, B. Hidalgo, J. Mendoza, J. González y H. Rodríguez

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

Resumen

Se determinó los Índices de Productividad y Riesgos de Erosión con el propósito de clasificar tierras agrícolas con fines de conservación en áreas montañosas tropicales. El área de estudio está ubicada en la Finca Gavilán 2, perteneciente al Comité de Riego Cruz Chiquita, localizado en la subcuenca Alto Motatán, parroquia La Venta, municipio Miranda, del estado Mérida. Se describieron 18 perfiles de suelo que representan 4,89 ha, obteniendo las características físicas y químicas que permitieron determinar las variables requeridas para calcular los índices antes indicados. Los resultados obtenidos muestran que los suelos tienen una productividad variable desde baja a muy alta, predominando una baja productividad (51,12%). Los factores más limitantes para la productividad de los suelos son los altos porcentajes de fragmento grueso y la poca profundidad efectiva del suelo. Todas las parcelas presentan un moderado riesgo de erosión, siendo la pendiente el principal factor que potencia la erosión del suelo. Finalmente, se obtuvo que el 63,80% de las parcelas clasificaron como tierras agrícolas en reserva (R), por presentar una productividad baja a moderada y moderados riesgos de erosión. El 36,20% restante clasifican como tierras en condición subcrítica (S), por tener productividad alta a muy alta y mo-

Recibido el 8-5-2009 • Aceptado el 14-9-2009

Autor de correspondencia e-mail: pineida@ula.ve; jaimes@ula.ve; hidalbri_triz@hotmail.com; jgmendoz@ula.ve; jhonkg@cantv.net; mandoni500@hotmail.com

derados riesgos de erosión. Se recomienda la utilización de prácticas conservacionistas para preservar la capa arable de estos suelos y mejorar los rendimientos de los cultivos.

Palabras clave: productividad, erosión, suelos, conservación, Alto Motatán.

Abstract

In order to classify agricultural lands with conservation purposes in mountain tropical areas, the Productivity Index and Erosion Risk Index were determined. The study area is located at the "Gavilán 2" farm, which belongs to the Cruz Chiquita Irrigation Committee, located at the sub-basin "Alto Motatán", "La Venta" parrish, Miranda municipality, Mérida State. 18 profiles of soil that represent 4.89 ha, were described, obtaining the physical and chemical characteristics that enabled to determine the required variables to calculate the indexes mentioned above. The obtained results shows that soils have a variable productivity from low to high, predominating a low productivity (51.12%). The most limiting factors for productivity in soils are the high percentages of coarse fragment and the low effective of soil depth. All the plots shows a moderate erosion risk, being the slope the main factor that increases the soil erosion. Finally, it was obtained that 63.80% of the plots classified as agricultural lands in reserve, since they present a low to moderate productivity and moderate erosion risk. The 36.20% remaining classify as lands in sub-critical condition, having a high to higher productivity and moderate erosion risk. The utilization of conservation practices to preserve the topsoil of these soils and to improve the yields of cultivations, are recommended.

Key words: productivity, erosion, soils, conservation, High Motatán.

Introducción

La degradación de los suelos se debe principalmente a las características climáticas y de los suelos, y a un uso y manejo no apropiado de los recursos naturales, generalmente impulsados por presiones poblacionales, y por factores socioeconómicos; siendo necesario conocer la limitaciones y potencialidades de las tierras para planificar el ordenamiento agrícola conservacionista sustentado en su capacidad productiva.

En este sentido, Delgado y López (1995), desarrollaron un modelo ero-

Introduction

Soils degradation is mainly caused by the climatic and soils characteristics, and also, to the inappropriate use and management of natural resources, generally promote by poblational pressions, and by socio-economical factors being necessary to know limitations and lands potentialities to plan the conservationist agricultural ordering sustained on its productivity capacity.

In this sense, Delgado and López (1995), developed an erosion-productivity model that permit to

sión-productividad que permite obtener valores de productividad del suelo en función de las variables edáficas, estrechamente vinculadas al crecimiento y desarrollo de cultivos en condiciones de montañas tropicales. Una de las aplicaciones más importantes del modelo radica en su capacidad para predecir el efecto de la erosión sobre la productividad del suelo. Para validar esta aplicación del modelo, se compararon los resultados obtenidos por simulación con valores de productividad para diferentes niveles de remoción artificial de un suelo *Typic Humitropept* de los andes venezolanos. Los resultados obtenidos permitieron concluir que el modelo puede ser utilizado para evaluaciones preliminares del impacto que la erosión pudiera ocasionar sobre la productividad de estos suelos de montaña, cuando no se dispone de información de ensayos de campo sobre erosión-productividad.

Posteriormente, Delgado (1997) propuso una metodología para la evaluación y clasificación de tierras agrícolas en áreas montañosas tropicales que permite, además, establecer las prioridades y requerimientos conservacionistas de las tierras, basándose en las cualidades productividades y riesgo de erosión del suelo. Esta metodología ha sido aplicada y validada también por Delgado, Terrazas y López, 1998; Mejía y Vera, 2002.

Más recientemente, Delgado (2003), con base a la experiencia acumulada, propone una metodología para la evaluación de la calidad de tierras agrícolas con fines de conservación de suelos en áreas montañosas de los andes venezolanos. El mé-

todo es obtener valores de productividad del suelo en función de variables edáficas estrechamente relacionadas al crecimiento y desarrollo de cultivos en condiciones de montañas tropicales. Una de las aplicaciones más importantes del modelo radica en su capacidad para predecir el efecto de la erosión sobre la productividad del suelo. Para validar esta aplicación del modelo, se compararon los resultados obtenidos por simulación con valores de productividad para diferentes niveles de remoción artificial de un suelo *Typic Humitropept* de los andes venezolanos. Los resultados obtenidos permitieron concluir que el modelo puede ser utilizado para evaluaciones preliminares del impacto que la erosión pudiera ocasionar sobre la productividad de estos suelos de montaña, cuando no se dispone de información de ensayos de campo sobre erosión-productividad.

Delgado (1997) propuso una metodología para la evaluación y clasificación de tierras agrícolas en áreas montañosas tropicales que permite, además, establecer las prioridades y requerimientos conservacionistas de las tierras, basándose en las cualidades productividades y riesgo de erosión del suelo. Esta metodología ha sido aplicada y validada también por Delgado, Terrazas y López, 1998; Mejía y Vera, 2002.

Más recientemente, Delgado (2003), con base a la experiencia acumulada, propone una metodología para la evaluación de la calidad de tierras agrícolas con fines de conservación de suelos en áreas montañosas de los andes venezolanos. El mé-

todo propuesto presenta una modificación a la metodología desarrollada por Delgado (1997) y permite evaluar las potencialidades y limitaciones físicas (capacidad productiva y riesgo de erosión) más determinantes para la producción agrícola en tierras montañosas, con el fin de clasificarlas y priorizar el uso agrícola y selección de las prácticas alternativas más apropiadas para la conservación de los suelos.

Este trabajo tiene como objetivo realizar una clasificación de tierras agrícolas a partir de la estimación del Índice de Productividad y de la cuantificación del Riesgo de Erosión, aplicando la metodología de Delgado (2003) en parcelas bajo uso de horticultura de piso alto localizadas en una finca perteneciente al Comité de Riego "Cruz Chiquita" en la subcuenca Alto Motatán. La clasificación obtenida permitirá indicar las prioridades de tratamiento de las tierras, los requerimientos de prácticas de conservación y los usos generales más adecuados para cada clase de tierra, información que será de utilidad para el agricultor.

Materiales y métodos

Caracterización del área de estudio

El área de estudio corresponde a la unidad de producción agrícola "Gavilán 2" (29,64 ha), que está conformada por 27 parcelas (entre 0,02 ha y 0,78 ha), con tenencia propia, siendo las variedades cultivadas en su mayoría hortalizas (zanahoria *Daucus carota* L., coliflor *Brassica oleracea* L. var. *botrytis*, cebolla de

erosion) more determinant for the agricultural production in mountain lands, with the purpose of classifying and prioritizing the agricultural use and selection of appropriate alternative practices appropriate for soil conservation.

This research has an objective to make a classification of agricultural lands from estimation of productivity index and quantification of erosion risk, by applying the methodology of Delgado (2003) in plots under horticultural use of high level located in one farm belonging to the Irrigation Committee "Cruz Chiquita" in the Alto Motatán sub-basin. The classification obtained will permit to indicate the lands treatment priorities, the requirements of conservation practices and the more adequated general uses for any land class, information will be useful.

Materials and methods

Study area characterization

The study area correspond to the agricultural production unit "Gavilán 2" (29.64 ha), that is formed by 27 plots (between 0.02 ha and 0.78 ha), with a land ownership, being the cultivated varieties in its majority of crops, *Daucus carota* L. (carrot), *Brassica oleracea* L. var. *botrytis* (cauliflor), *Allium fistulosum* L. (onion), *Allium ampeloprasum* var. *porrum* (leek) and *Brassica oleracea* L. var. *italica* (cabbage) with an agronomical management almost in its manual and handmade totality. This farm is located at andean region of the República Bolivariana de Venezuela, specifically in Mérida state,

rama *Allium fistulosum* L., ajo porro *Allium ampeloprasum* var. *porrum* y brócoli *Brassica oleracea* L. var. *italica*) con un manejo agronómico casi en su totalidad manual y artesanal. Esta finca se ubica en la región andina de la República Bolivariana de Venezuela, específicamente en el estado Mérida, municipio Miranda, parroquia La Venta, localizada en la parte alta de la subcuenca del río Motatán (Sector Cruz Chiquita), formando parte de la hoya hidrográfica del Lago de Maracaibo, entre las coordenadas UTM 985.291-986.483 Norte y 302.653-303.328 Este. Su rango altitudinal varía entre los 3.248 y 3.416 msnm.

Las formaciones geológicas presentes en el área de estudio son: Mucuchachí y Palmarito, con intrusiones litológicas del granito de Chachopo (Ochoa *et al.*, 2008). Climatológicamente, el área de estudio está influenciada por la estación Timotes que posee datos de precipitación correspondientes a un período de registro de 20 años (1988-2007), cuyo promedio anual alcanza los 703,9 mm y el valor más alto ocurre en el mes de octubre (104,4 mm). Por su parte, la temperatura media anual es de 15,43°C para el período 1969-1990. Según las zonas de vida de Venezuela basado en el sistema Holdridge, la vegetación que caracteriza al área de estudio se encuentra en la zona transicional entre el bosque húmedo montano (bh-M) y el páramo subandino (p-SA) (Ewel, Madriz y Tosi, 1976).

Metodología de campo y de laboratorio

Miranda municipality, La Venta Parrish, located in the high part of the Motatán river sub-basin ("Cruz Chiquita" sector), taking part of the hydrographic basin of Maracaibo Lake, between the coordinates UTM 985.291-986.483 North and 302.653-303.328 East. Its altitudinal range varies between 3.248 and 3.416 masl.

The geological formations present in the study area are: Mucuchachí and Palmarito, with lithological intrusions of Chachopo granite (Ochoa *et al.*, 2008). Climatologically, the study area is influenced by the Timotes station that possess rainfall data corresponding to a registration period of 20 years-old (1988-2007), with annual mean reaches 703.9 mm and the higher value occurs in Octubre (104.4 mm). The annual mean temperature is 15.43°C for the period 1969-1990. According to the Venezuela life region of Holdridge, vegetation that characterizes the study area the transitional region between the mountain humid forest (bh-M) and the sub-andean moor (p-SA) (Ewel, Madriz and Tosi, 1976).

Field and laboratory methodology

Plots selection

From the 27 plots of farm under agricultural use, 18 were selected according to the size, land shape (relatively homogeneous relief) and agricultural use, covering a surface of 4.89 ha. The coordinates UTM of each plot were obtained by using a Geoposicionador Satelital (GPS), mark Garmin, model 76 csx, for being referenced by using the AutoCAD 2006 program (Autodesk, 2006) in a

Selección de parcelas

De las 27 parcelas de la finca que están bajo uso agrícola se seleccionaron 18 de acuerdo al tamaño, forma del terreno (relieve relativamente homogéneo) y uso agrícola de la tierra, cubriendo así una superficie de 4,89 ha. Las coordenadas UTM de cada parcela fueron obtenidas utilizando un Geoposicionador Satelital (GPS), marca Garmin, modelo 76 csx, para ser referenciadas mediante el programa AutoCAD 2006 (Autodesk, 2006) en un mapa topográfico de la finca, realizado con anterioridad por la propietaria de la finca.

Caracterización en campo y en laboratorio de los suelos de la finca seleccionada

En cada una de las 18 parcelas se ubicó un punto de chequeo, donde se describió y caracterizó el perfil de suelo (calicata), cuya profundidad dependió del espesor del suelo, desde la superficie hasta el manto rocoso. En cada perfil se tomaron muestras de suelo que fueron analizadas en el laboratorio. En el cuadro 1 se muestran las características y variables de los suelos descritas en campo y obtenidas en laboratorio que se utilizaron para el cálculo de los Índices de Productividad y Riesgo de Erosión, indicando las unidades y métodos de obtención utilizados.

Metodología de gabinete

Para el cálculo del Índice de Productividad (IP) y del Índice de Riesgo de Erosión (IRE) se aplicó la metodología para la evaluación de la calidad de las tierras agrícolas con fines de conservación de suelos en áreas montañosas de los andes venezolanos propuesta por Delgado (2003), que per-

topographic map of farm, previously made by the farm owner.

Characterization in field and in laboratory of selected farm soils

A check point was placed each 18 plots, in where soil profile was described and characterized (trial pit), whose depth depend of soil thickness, from surface until rocky mantle. At any profile, soil samples were taken and analyzed in laboratory. The soils characteristics and variables described in field and obtained in laboratory used for productivity index and erosion risk estimation are shown in table 1, showing units and obtaining methods used.

Methodology gabinete

To estimate the productivity index (SPI) and the erosion risk index (ERI) the methodology for the evaluation of agricultural lands quality was applied with soil conservation purposes in mountain areas of Venezuelan andean proposed by Delgado (2003), that permit the classification of agricultural lands (plots).

Data base elaboration

With the information obtained in field and laboratory, two data matrix were made using a calculation paper in Excel: one to estimate the SPI and the other one for the ERI in the 18 plots.

Productivity index (SPI) estimation

The (SPI) mainly consist of a model modification developed by Kiniry *et al.* (1983), with later modifications made by Pierce *et al.* (1983) and adaptations made by Delgado (1997) for Venezuelan andean

Cuadro 1. Características y variables descritas en el campo y obtenidas en el laboratorio.
Table 1. Characteristics and variables described in field and obtained in laboratory.

Características	Variable	Unidad	Método de obtención	
Físicas	· Constante de humedad	%	Pla (1983)	
	· Fragmento grueso	vol	Evaluaciones volumétricas	
	· Espesor	cm	Utilizando una cinta métrica	
	· Arcilla	%	Análisis granulométrico por densimetría de Bouyoucos (FONAIAP, 1990)	
	· Textura	clase	Método del hoyo o de excavación (Pla, 1983)	
	· Densidad Aparente	g/cm ³	Jaimes (1994)	
	· Estructura (grado)	adimensional	Utilizando una cinta métrica	
	· Profundidad del suelo	cm	Utilizando un clisímetro	
	· Pendiente	%	Potenciómetro (FONAIAP, 1990)	
	Químicas	· pH 1:1	adimensional	A partir del carbono orgánico obtenido por Walkley-
		· Materia orgánica	%	Black en FONAIAP (1990)

mitió la clasificación de las tierras agrícolas (parcelas).

Elaboración de la base de datos

Con la información obtenida en campo y en laboratorio se elaboraron dos matrices de datos, utilizando la hoja de cálculo en Excel: una para estimar el Índice de Productividad del suelo y la otra para calcular el Riesgo de Erosión en las 18 parcelas.

Estimación del Índice de Productividad (IP)

El Índice de Productividad (IP) consiste principalmente de una modificación del modelo desarrollado por Kiniry *et al.* (1983), con modificaciones posteriores efectuadas por Pierce *et al.* (1983) y adaptaciones hechas por Delgado (1997) para tierras de montañas andinas venezolanas (Delgado, 2003). Así, el modelo evalúa las condiciones edáficas que favorecen el crecimiento de las raíces de distintos cultivos, en este caso sólo se evaluará el epipedón del suelo. Para calcular el IP se utilizó el siguiente modelo multifactorial:

$$IP = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot B_i \cdot C_i \cdot K_i)$$

donde:

IP = Índice de Productividad del suelo y tiene un valor entre 0 y 1, representando el valor 1 la condición óptima del suelo para el crecimiento radical del cultivo indicador.

A_i = factor que evalúa las condiciones que regulan las relaciones agua-aire del horizonte i .

B_i = factor que evalúa las condiciones que determinan las resistencias mecánicas (impedancias) a la exploración radical del cultivo en el horizonte i .

mountain lands (Delgado, 2003). Thus, model evaluated the edaphic condition that favor the roots growth of different crops, in this case only the soil epipedon will be evaluated. To estimate the IP the following multifactorial model was used:

$$IP = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot B_i \cdot C_i \cdot K_i)$$

where:

IP = Soil productivity index and have a value between 0 and 1, representing value 1 the optimum condition of soil for root growth of indicator crop.

A_i = factor that evaluate the conditions regulating water-air relationships of horyzon " i ".

B_i = factor that evaluates conditions that determine the mechanical resistences (impedances) to the root exploration of crop in horyzon " i ".

C_i = factor that evaluates conditions that regulates potentail fertility of horyzon " i ".

K_i = factor that evaluates the relative importante of horyzon " i " in soil profile (ponderation factor of respective horyzon).

n = each of soil morphogenetic horyzons until reaching the soil effective depth.

To estimate the productivity index of 18 studied profiles, the following parameters were considered and estimated for the superficial horyzon (epipedon):

Factor A: horyzon water-air relations.

-Sub-factor A_1 : evaluates the impact of useful water storage capacity (water retained between field

C_i = factor que evalúa las condiciones que regulan la fertilidad potencial del horizonte i .

K_i = factor que evalúa la importancia relativa del horizonte i en el perfil del suelo (factor de ponderación del horizonte respectivo).

n = cada uno de los horizontes morfológicos del suelo hasta alcanzar la profundidad efectiva del suelo.

Para el cálculo del índice de productividad de los 18 perfiles estudiados se consideraron los siguientes parámetros, los cuales fueron estimados para el horizonte superficial (epipedón):

Factor A: relaciones agua-aire del horizonte.

-Subfactor A_1 : evalúa el impacto de la capacidad de almacenamiento de agua útil (agua retenida entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente).

-Subfactor A_2 : considera la aireación del suelo estimada a partir del contenido de arcilla y del grado de desarrollo de la estructura del suelo.

Es oportuno señalar que para seleccionar el subfactor determinante, entre A_1 y A_2 , a utilizar en la estimación del IP es necesario considerar la interacción suelo-clima, para lo cual la metodología de Delgado (2003) sugiere utilizar los tipos climáticos en función de la relación entre precipitación (P) y evapotranspiración (ETP). El área de estudio se caracteriza por presentar un clima subhúmedo por lo que se seleccionó como factor A el menor valor numérico entre A_1 y A_2 para estimar el IP.

Factor B: condiciones mecánicas que favorecen la exploración radical en el horizonte.

capacity and permanent wilting point).

-Sub-factor A_2 : consider the soil aeration estimated from the clay content and development degree of soil structure.

It is opportune to detach that for selecting determinat sub-factor, between A_1 and A_2 , to be used in SPI estimation is necessary to consider the soil-climate relationship, therefore, Delgado (2003) suggest the use of climatic types as a funtion of the relationship between rainfall (P) and evapotranspiration (ETP). The study area is characterized shows a sub-moisture climate which was selected like factor A the lower number value between A_1 and A_2 to estimate SPI.

Factor B: mechanical conditions that favor the root exploration in horizon.

-Sub-factor B_1 : evaluate the effect of soil compacting, from bulk density being related with soil texture.

-Sub-factor B_2 : evaluate the resistance that the coarse fragments offer (>25 mm diameter) in soil on roots growth.

To choose determinant sub-factor, between B_1 and B_2 , that is used like factor B to obtain the SPI, according to Delgado (2003) the following was taking into account:

· If the volumetric content of coarse fragments in soil horizon is $\leq 30\%$, then:

$B = B_1$ (bulk density).

· If the volumetric content coarse fragments in soil horyzon is $> 30\%$, then:

$B = B_2$ (coarse fragments).

Factor C: potential fertility of horizon i .

-Subfactor B_1 : evalúa el efecto de la compactación del suelo, a partir de la densidad aparente relacionándola con la textura del suelo.

-Subfactor B_2 : evalúa la resistencia que ofrecen los fragmentos gruesos (>25 mm de diámetro) en el suelo, sobre el crecimiento de las raíces.

Para elegir el subfactor determinante, entre B_1 y B_2 , que es utilizado como el factor B para obtener el IP se tomó en cuenta lo siguiente, de acuerdo a Delgado (2003):

·Si el contenido volumétrico de fragmentos gruesos en el horizonte del suelo es $\leq 30\%$, entonces:

$$B = B_1 \text{ (densidad aparente).}$$

·Si el contenido volumétrico de fragmentos gruesos en el horizonte del suelo es $> 30\%$, entonces:

$$B = B_2 \text{ (fragmentos gruesos).}$$

Factor C: fertilidad potencial del horizonte i.

-Subfactor C_1 : evalúa la relación del suelo, se estima a partir del pH del suelo obtenido en relación 1:1.

-Subfactor C_2 : evalúa el contenido de materia orgánica en el suelo, relacionando la materia orgánica con el contenido de arcilla del horizonte superficial.

Para seleccionar cual de los dos subfactores (C_1 y C_2) es el determinante para calcular el IP también se considera la interacción suelo-clima, de acuerdo a la metodología de Delgado (2003). En este sentido, el área de estudio presenta un clima subhúmedo por lo que se seleccionó como factor C el menor valor numérico entre C_1 y C_2 para estimar el IP.

Factor K: evalúa la profundidad efectiva del suelo y la importancia del horizonte relativa del horizonte en el

-Sub-factor C_1 : evaluate soil reaction, is estimated from soil pH obtained in a relation 1:1.

-Sub-factor C_2 : evaluate the organic matter content in soil, relating the organic matter with clay content of superficial horyzon.

To select what of two sub-factors (C_1 and C_2) is determinant to calculate SPI is also considered the soil-climate interaction, according to Delgado (2003) methodology. The study area shows a sub-humid climate, that is why factor C was selected like the lower number value between C_1 and C_2 to estimate SPI.

Factor K: evaluate the soil effective depth and the relative importance of horyzon in the profile, from the crop rooting depth and epipeдон depth.

To qualify the SPI obtained for the 18 plots, the classification proposed by Delgado (2003) was considered (table 2).

Estimation of erosion risk index (ERI)

The model proposed to quantify the land quality is based on the Delgado (1997) research that takes into account three fundamental parts to estimate the soil sensitivity to the hydric erosion: the soil hydrological characteristics that favor its run-off capacity, the rainfall aggressiveness and land slope. For the quantification of erosion risk, the following formula was used:

$$IRE = \frac{\eta}{10(1-\alpha)}$$

where:

ERI=Erosion risk index and have a value between 0 and 1, corresponding

perfil, a partir de la profundidad de enraizamiento del cultivo y la profundidad del epipedón.

Para calificar los IP obtenidos para las 18 parcelas se consideró la clasificación propuesta por Delgado (2003), que se muestra en el cuadro 2.

Estimación del Índice de Riesgo de Erosión (IRE)

El modelo propuesto para cuantificar esta cualidad de la tierra se basa en el trabajo de Delgado (1997) que toma en consideración tres factores fundamentales para estimar la susceptibilidad de un suelo a la erosión hídrica: las características hidrológicas del suelo que favorecen su capacidad de escorrentía, la agresividad de las lluvias y la pendiente del terreno. Para la cuantificación del riesgo de erosión se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{IRE} = \frac{\eta}{10(1 - \alpha)}$$

donde:

IRE = Índice de Riesgo de Erosión y tiene un valor entre 0 y 1, correspondiendo el valor 1 a un suelo que presenta condiciones potenciales más favorables para que se desarrollen, eventualmente, severos procesos erosivos.

α = evalúa el potencial de escorrentía del suelo.

η = evalúa el impacto de la agresividad de las lluvias en relación con la pendiente del terreno.

El Índice de Riesgo de Erosión se determinó para el epipedón de cada uno de los 18 perfiles estudiados, tomando en cuenta los siguientes parámetros:

1 to an soil that shows more favorable potential that eventually develop severe erosive processes.

α = evaluate the soil run-off potential.

η = evaluate the impact of rainfall aggressiveness relation with the land slope.

The ERI was determined for the epipedon of each 18 profiles studied, taking into account the following parameters:

Factor " α ": evaluate the soil run-off potential, from granulometry and the soil structure development degree.

Factor " η ": evaluate the interaction between the climatic aggressiveness and topography and its incidente on erodin risk. To estimate the estimation of this factor, the annual mean rainfall value and the monthly mean rainfall value were used (October with 104.4 mm) of "Timotes" station, and the medium land slope.

To qualify the ERI obtained for each of 18 plots, the classification proposed by Delgado (2003), shown in table 3.

Classification of agricultural lands placed in tropical mountain areas

It was posible to obtain the agricultural classification of 18 plots from the combination between SPI and ERI, by using matrix showed in table 4. Finally, the digital representation cartographic of results obtained for SPI, ERI and for lands classification of 18 plots studied, by using the AutoCAD 2006 program (Autodesk, 2006).

Cuadro 2. Calificación de la productividad del suelo de acuerdo al Índice de Productividad (IP).

Table 2. Soil productivity qualification according to the productivity index (SPI).

IP	Productividad del suelo
≤0,15	Baja
0,16- 0,35	Moderada
0,36-0,50	Alta
≥0,51	Muy alta

Fuente: Delgado (2003).

Factor α : evalúa el potencial de escorrentía del suelo, a partir de la granulometría y el grado de desarrollo de la estructura del suelo.

Factor η : evalúa la interacción entre la agresividad climática y la topografía, y su incidencia sobre el riesgo de erosión. Para el cálculo de este factor se utilizó el valor de precipitación media anual y el valor de la precipitación media mensual del mes más lluvioso (octubre con 104,4 mm) de la estación Timotes, y la pendiente media del terreno.

Para calificar el IRE obtenido para cada una de las 18 parcelas se utilizó la clasificación propuesta por Delgado (2003), indicada en el cuadro 3.

Clasificación de las tierras agrícolas ubicadas en áreas montañosas tropicales

A partir de la combinación entre los IP e IRE obtenidos para cada parcela se logró obtener la clasificación agrícola de las 18 parcelas, utilizando la matriz mostrada en el cuadro 4. Finalmente, se realizó la representación cartográfica digital de los resultados obtenidos para los IP, IRE y para la clasificación de tierras de las

Results and discussion

Soils productivity index (SPI) estimated for the studied plots

Table 5 shows the SPI obtained for each of studied plots, being observed that values oscillate from 0.00 until 0.59; thus, the soil productivity is variable from low to very high. Figure 1 shows the spatial distribution of studied plots in "El Gavilán 2" farm and the qualification obtained for SPI, being observed that more of 50% of total surface studied shows a low productivity (≤ 0.15); followed by 27.61% with high productivity (0.36-0.50); a 12.68% qualifies with a moderate productivity (0.16-0.35) and only the 8.59% of the studied plots shows a very high productivity (≥ 0.51).

In plots showing a low to moderate soil productivity it was determined that "B" (mechanical conditions favoring the root exploration in horyzon) and "K" (soil effective depth) factors that limits soil productivity, by showing the lower values. According to results obtained, it is observed that values of "B" factor

Cuadro 3. Calificación de los riesgos de erosión, en función de los valores del Índice de Riesgo de Erosión (IRE).

Table 3. Erosion risks qualification, as a function of the erosion risk index (ERI) values.

IRE	Riesgo de erosión
≤0,10	Bajo
0,11- 0,30	Moderado
0,31-0,60	Alto
≥0,61	Muy alto

Fuente: Delgado (2003).

18 parcelas estudiadas, utilizando el programa AutoCAD 2006 (Autodesk, 2006).

Resultados y discusión

Índices de Productividad (IP) del suelo estimados para las parcelas estudiadas.

En el cuadro 5 se indican los Índices de Productividad (IP) obtenidos para cada una de las parcelas estudiadas, observándose que los valores oscilan desde 0,00 hasta 0,59; es decir la productividad del suelo es variable desde baja a muy alta. En la figura 1 se aprecia la distribución espacial de las parcelas estudiadas en la Finca "El Gavilán 2" junto con la calificación obtenida para el Índice de Productividad del suelo, observándose que más del 50% de la superficie total estudiada presenta una productividad baja ($\leq 0,15$); seguida de un 27,61% con productividad alta (0,36-0,50); un 12,68% califica con una productividad moderada (0,16-0,35) y apenas el 8,59% de las parcelas estudiadas presentan una muy alta productividad ($\geq 0,51$).

of plots 01-C, 02-C, 04-C, 05-C, 06-C, 07-C, 09-C, 13-C and 18-C oscillate between 0,01 and 0.55 (table 5) which is translate according to Delgado (2003), in a limiting degree from very severe to moderate, by showing a high percentage of coarse fragment, that influence on explorative roots capacity (sub-factor B_2). The values of "K" factor of plots 04-C, 05-C, 12-C, 17-C and 18-C from 0.35 to 0.58, shows a limiting degree severe to moderate (Delgado, 2003) because the effective depth of soils in these plots (lower to 30 cm).

It is important to detach that factors "A" (horizon water-air relations) and "C" (horyzon potentail fertility) also influences, but in a low proportion, on the low and moderate soil productivity. In case of "A" factor, limitation obeys to a low moisture retaining capacity (plots 06-C and 10-C) because the high sand percentages thar soils shows ("A" sub-factor). On the other hand, limitation of "C" factor of plots 06-C, 07-C and 17-C is attributable to soil reaction because the pH of these soils are excessively acid (4.1 to 4.3) ("C₁" sub-factor).

Cuadro 4. Clasificación de tierras agrícolas en áreas montañosas tropicales.

Table 4. Agricultural lands classification in tropical mountain areas.

Índice de Riesgo de Erosión (IRE)						
Índice de productividad del suelo (IP)	<table border="1"> <tr> <td>≤0,10 (bajo)</td> <td>0,11 - 0,30 (moderado)</td> <td>0,31 - 0,60 (alto)</td> <td>>0,60 (muy alto)</td> <td>Uso de la Tierra</td> </tr> </table>	≤0,10 (bajo)	0,11 - 0,30 (moderado)	0,31 - 0,60 (alto)	>0,60 (muy alto)	Uso de la Tierra
≤0,10 (bajo)	0,11 - 0,30 (moderado)	0,31 - 0,60 (alto)	>0,60 (muy alto)	Uso de la Tierra		
≤0,15 (bajo)	Tierras en reserva (R)	Tierras en condición crítica (C)	Vegetación permanente.			
0,15- 0,35 (moderado)	(4ª prioridad de tratamiento conservacionista)	(2ª prioridad de tratamiento conservacionista)	Cultivos especiales Agroforestería			
0,36 - 0,50 (alto)	Tierras en condición sub-crítica (S)	Tierras en condición super-crítica (P)	Agricultura semi-intensiva			
>0,50 (muy alto)	(3ª prioridad de tratamiento conservacionista)	(1ª prioridad de tratamiento conservacionista)	Agricultura intensiva			
Ligeros	Moderados	Altos	Muy altos			
Requerimiento de conservación de suelos						

Fuente: Delgado (2003).

Cuadro 5. Índices de productividad (IP) del suelo obtenidos para las 18 parcelas.

Table 5. Productivity index (SPI) obtained for the 18 plots.

Perfil	Horizonte	Profundidad (cm)	A	B	C	K	IP	Calificación
01-C	Ap	0-33	0,70	0,45	0,97	0,64	0,20	Moderada
02-C	Ap	0-39	0,65	0,55	0,67	0,73	0,17	Moderada
03-C	Ap	0-40	0,74	1,00	0,87	0,74	0,48	Alta
04-C	Ap	0-15	0,68	0,41	1,00	0,35	0,10	Baja
05-C	Ap-A2	0-27	0,73	0,34	0,90	0,55	0,12	Baja
06-C	Ap	0-60	0,24	0,45	0,57	1,00	0,06	Baja
07-C	Ap	0-30	0,93	0,32	0,53	0,60	0,09	Baja
08-C	Ap	0-31	0,65	0,99	1,00	0,61	0,39	Alta
09-C	Ap	0-30	0,71	0,45	0,73	0,60	0,14	Baja
10-C	Ap	0-30	0,59	0,97	1,00	0,60	0,34	Moderada
11-C	Ap	0-60	0,65	0,94	0,96	1,00	0,59	Muy alta
12-C	Ap	0-29	0,70	0,97	0,70	0,58	0,28	Moderada
13-C	Ap	0-34	0,70	0,35	0,77	0,66	0,12	Baja
14-C	Ap	0-28	0,78	0,91	1,00	0,57	0,40	Alta
15-C	Ap	0-38	0,70	1,00	0,80	0,71	0,40	Alta
16-C	Ap	0-35	0,79	0,84	0,90	0,67	0,40	Alta
17-C	Ap	0-20	0,81	1,00	0,60	0,44	0,21	Moderada
18-C	Ap	0-20	0,60	0,01	1,00	0,44	0,00	Baja

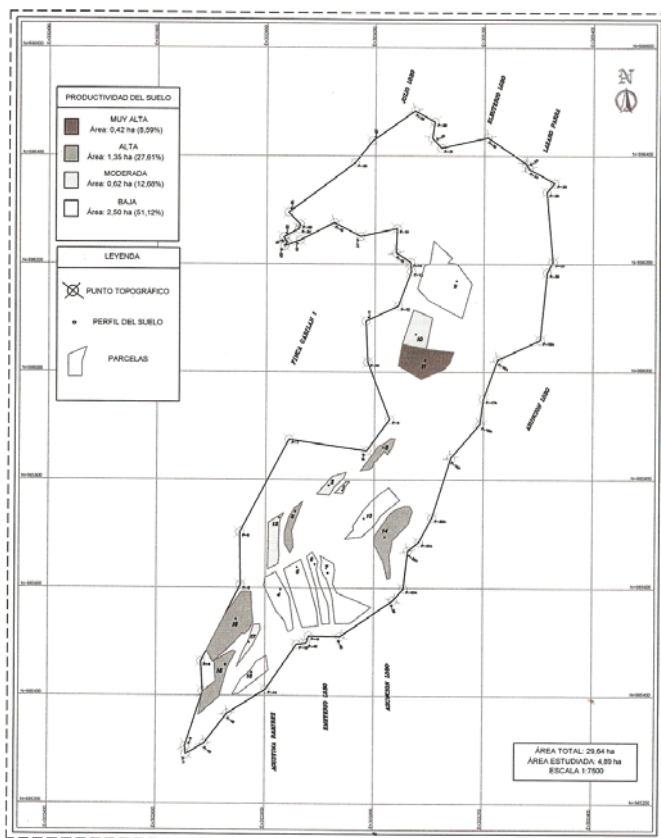


Figura 1. Mapa de productividad del suelo para las 18 parcelas.

Figure 1. Map of soil productivity for 18 plots.

En las parcelas que presentan una baja a moderada productividad de los suelos se determinó que los factores B (condiciones mecánicas que favorecen la exploración radical en el horizonte) y K (profundidad efectiva del suelo) son los que más contribuyen a limitar la productividad del suelo, por presentar los más bajos valores. De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que los valores del factor B de las parcelas 01-C, 02-C, 04-C, 05-C, 06-C, 07-C, 09-C,

Erosion risk indexes (ERI) estimated for the studied plots

The results obtained for the land quality and erosion risks are shown in table 6; where values oscillate from 0.17 until 0.28, being obtained that 100% of studied plots are below the classification rank 0.11 – 0.30, showing a moderate erosion risk according to Delgado (2003), which is translate in requirements of moderate conservation; thus, requires of

13-C y 18-C oscilan entre 0,01 y 0,55 (cuadro 5) lo que se traduce, según Delgado (2003), en un grado de limitación de muy severo a moderado, por presentar un alto porcentaje de fragmento grueso, que incide en la capacidad explorativa de las raíces (subfactor B₂). Por su parte, los valores del factor K de las parcelas 04-C, 05-C, 12-C, 17-C y 18-C que van de 0,35 a 0,58, inciden en un grado de limitación severo a moderado (Delgado, 2003) debido a la poca profundidad efectiva de los suelos en dichas parcelas (menores a 30 cm).

Es importante destacar que los factores A (relaciones agua-aire del horizonte) y C (fertilidad potencial del horizonte) también influyen, pero en menor proporción, en la baja y moderada productividad del suelo. Para el caso del factor A, la limitación obedece a la baja capacidad de retención de humedad (parcelas 06-C y 10-C) debido a los altos porcentajes de arena que presentan los suelos (subfactor A₁). Por su parte, la limitación del factor C de las parcelas 06-C, 07-C y 17-C es atribuible a la reacción del suelo debido a que los pH de estos suelos son excesivamente ácidos (4,1 a 4,3) (subfactor C₁).

Índices de Riesgo de Erosión (IRE) estimados para las parcelas estudiadas.

Los resultados obtenidos para la cualidad de la tierra riesgo de erosión se presentan en el cuadro 6; donde se observa que los valores oscilan desde 0,17 hasta 0,28, obteniéndose que el 100% de las parcelas estudiadas se encuentran dentro del rango de clasificación de 0,11 - 0,30, presentando así un riesgo de erosión moderado de acuerdo a Delgado (2003), lo que se

implementing of soil conservation practices, by combining intensive practices of soil management (conservationist tillage, green manures), vegetable covering management (cover crops, high density planting and intercropping) and moderate practices for reducing runoff impacts in slopes (contour cropping, strip cropping and hedgerows).

The "η" factor (climatic and topographic aggressiveness) shows values that oscillates from 0.614 to 0.997, in other words, close to 1, therefore, it has high influence on the erosion risk showed in the studied plots which is more attributed to the topographical conditions than climatic ones, since soils are located on pronounced slopes areas (until 50%).

The "α" contribuyes in low proportion, to potenting the soil erosion risk by showing values from 0.455 to 0.673 (longer 1), attributable to the thick textures presence (loamy and sandy loam soils) that offer a low runoff potential, being the soil structure degree (weak and moderate), that make it sensitive to the hydric erosion. Figure 2 shows the spatial distribution of ERI in plots of "El Gavilán 2" farm.

Land agricultural classification of the studied plots according methodology of Delgado (2003).

The values of SPI and ERI of each studied plots were intersected in double entry matrix (table 4) being obtained the agricultural classification lands. Figure 3 shows the spatial distribution of land classes obtained for those plots studied in

Cuadro 6. Índices de Riesgo de Erosión (IRE) obtenidos para las 18 parcelas.**Table 6. Erosion risk index (ERI) obtained for the 18 plots.**

Perfil	Horizonte	Profundidad (cm)	α	η	IRE
			Potencial de escorrentía del suelo	Agresividad climática y topográfica	
01-C	Ap	0-33	0,602	0,972	0,24
02-C	Ap	0-39	0,622	0,972	0,26
03-C	Ap	0-40	0,640	0,986	0,27
04-C	Ap	0-15	0,570	0,994	0,23
05-C	Ap-A2	0-27	0,553	0,997	0,22
06-C	Ap	0-60	0,578	0,851	0,20
07-C	Ap	0-30	0,517	0,984	0,20
08-C	Ap	0-31	0,628	0,935	0,25
09-C	Ap	0-30	0,553	0,927	0,21
10-C	Ap	0-30	0,646	0,614	0,17
11-C	Ap	0-60	0,628	0,907	0,24
12-C	Ap	0-29	0,640	0,883	0,25
13-C	Ap	0-34	0,526	0,972	0,21
14-C	Ap	0-28	0,652	0,907	0,26
15-C	Ap	0-38	0,658	0,832	0,24
16-C	Ap	0-35	0,673	0,918	0,28
17-C	Ap	0-20	0,655	0,955	0,28
18-C	Ap	0-20	0,455	0,935	0,17

traduce en requerimientos de conservación moderados; es decir requieren de la implementación de prácticas de conservación de suelos, combinando prácticas intensivas de manejo del suelo (labranza conservacionista, abonos verdes), manejo de coberturas vegetales (cultivos de cobertura, siembras de alta densidad y cultivos asociados) y prácticas moderadas de control de escurrimiento en laderas (cultivos en contorno, cultivos en fajas y barreras vivas).

El factor η (agresividad climática y topográfica) presenta valores que os-

"Gavilán 2" farm. Thereby, 63.80% (3.12 ha) of plots surface qualifies as reservation lands (R), by having a moderate productivity to low and moderate erosion risks. These lands could be used with limited agricultural uses and crops reduced and also moderate soil conservation practices that could be added to intensive agricultural uses when improving its soils productivity. They are located in the fourth priority level for its conservationist treatment.

36.20% (1.77 ha) of the studied area classified like lands in sub-critical

cilan de 0,614 hasta 0,997, es decir hasta valores cercanos a 1, por lo que se infiere tiene gran influencia en el riesgo de erosión presentado en las parcelas estudiadas, lo cual se atribuye más a los condiciones topográficas que a las condiciones climáticas del área, ya que los suelos están localizados en zonas de pendientes pronunciadas (de hasta 50%).

Por su parte, el factor α contribuye, en menor proporción, a potenciar el riesgo de erosión del suelo por presentar valores que van de 0,455 a 0,673 (más alejados de 1), atribuible a la presencia de texturas gruesas (areno francosas y franco arenosas) que le infieren un bajo potencial de escorrentía, siendo el grado de estructura del suelo (débil y moderado), que lo hace susceptible a la erosión hídrica. La figura 2 muestra la distribución espacial de los Índices de Riesgo de Erosión (IRE) de las parcelas en la Finca "El Gavilán 2".

Clasificación agrícola de las tierras de las parcelas estudiadas según la metodología de Delgado (2003).

Los valores de IP e IRE de cada una de las parcelas estudiadas fueron intersectados en la matriz de doble entrada (cuadro 4) obteniéndose la clasificación de las tierras agrícolas. En la figura 3 se muestra la distribución espacial de las clases de tierra obtenidas para las parcelas estudiadas en la Finca Gavilán 2. Así, se tiene que el 63,80% (3,12 ha) de la superficie de las parcelas califican como tierras en reserva (R), por tener una productividad moderada a baja y moderados riesgos de erosión. Estas tierras pueden ser utilizadas con usos

condition (S) since they have a productivity from high to very high, with moderate erosion risks. They are ideal lands for the continue, intensive and diversified agricultural production, with a lot of crops but with permanent programs of conservationist management, to guarantee the maintenance of soils productive capacity which are placed a third priority level for its conservacionist treatment.

Conclusions

Delgado (2003) methodology was useful to identify the characteristics that limit soil productivity and improves soil erosion of the studied plots. Thereby, the presence of high percentages of coarse fragment and the little soil effective depth determine that SPI be low to moderate; whereas the moderate ERI is related in higher degree with the pronounced slopes of land and in a lower degree the soils runoff potential.

It is important to detach that the lower percentage of surface of plots studied classified like lands in sub-critical conditions (S), suitable for the continue, intensive and diversified agricultural production which is guided; whereas the higher percentage of lots qualified like reservation lands (R), being necessary they get improved with the aim of qualifying like lands in sub-critical conditions since they are being used for the horticultural intensive production with little improvement and soil conservation that could become in a possibility of classifying like critical condition lands (C).

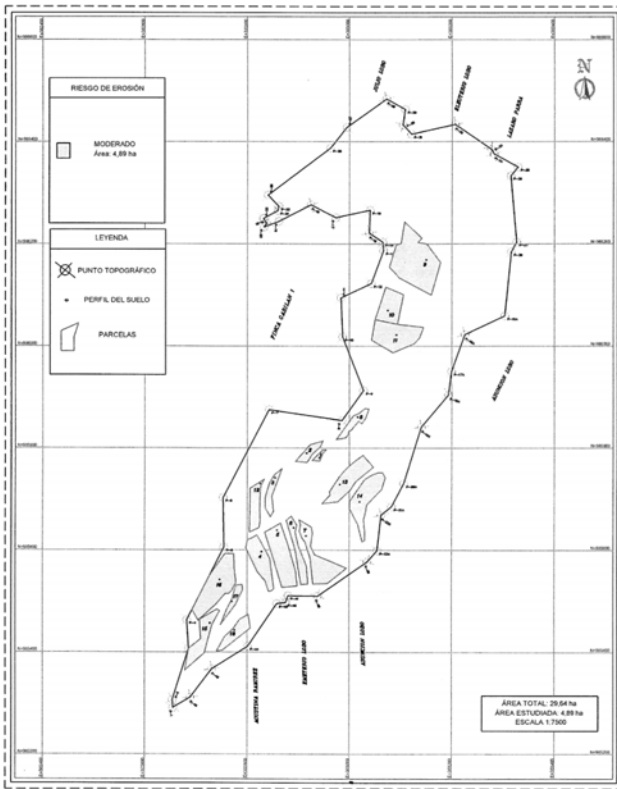


Figura 2. Mapa de riesgo de erosión de las 18 parcelas estudiadas.

Figure 2. Map of erosion risk of 18 studied plots.

agrícolas limitados y reducida gama de cultivos y prácticas moderadas de conservación de suelo. Podrían ser incorporadas a usos agrícolas más intensivos al mejorarse sustancialmente la productividad de sus suelos. Se ubican en el cuarto nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

El restante 36,20% (1,77 ha) del área estudiada clasificó como tierras en condición subcrítica (S) ya que tienen una productividad alta a muy alta, con moderados riesgos de erosión. Son

This suggest that the use of management and soil conservation practices that permit the preservation of its cultivable layer and maintaining and/or improving the crops yield such as: stones removal, green manure application, organic manures, harvest rests, acid soil amendments, cover use, crops rotation, intercropping and contour cropping that have to be combined with some cushion practices of running-off speed mountainside.

It is recommend to apply this methodology in other mountain

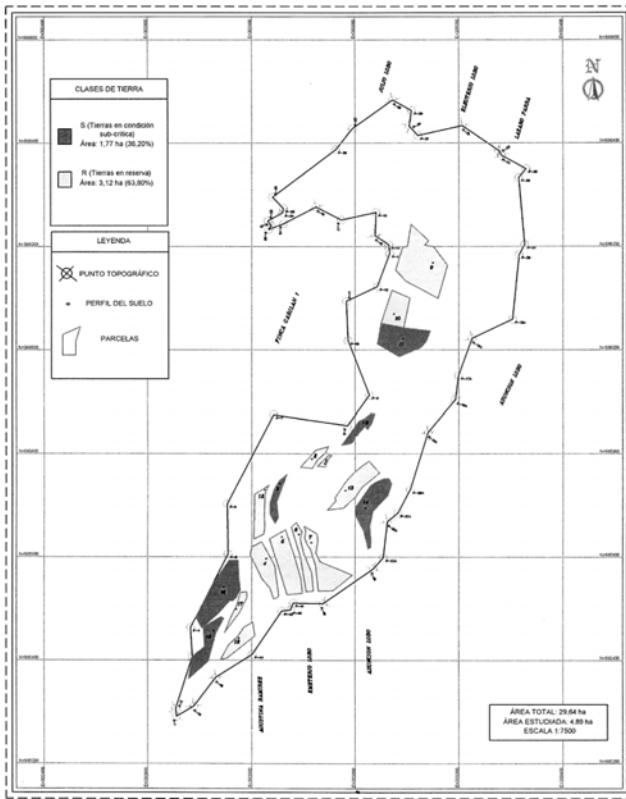


Figura 3. Mapa de clases de tierras agrícolas de la Finca Gavilán 2.

Figure 3. Map of agricultural lands classes of "Gavilán 2" farm.

tierras ideales para la producción agrícola continua, intensiva y diversificada, con amplia gama de cultivos pero con programas permanentes de manejo conservacionista, para garantizar el mantenimiento de la capacidad productiva de los suelos. Se ubican en el tercer nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

Conclusiones

La metodología de Delgado (2003) resultó útil para identificar las carac-

regions taking into account the bioclimatic, lithostratigraphic, topographic differences and land uses with the purpose of improving its predictability under different environmental conditions.

Acknowledgement

Authors want to express their thanks to the Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT)-Universidad de Los Andes (ULA), by the financing of this research

terísticas que limitan la productividad del suelo y que potencian la erosión de los suelos de las parcelas estudiadas. Así, la presencia de altos porcentajes de fragmento grueso y la poca profundidad efectiva del suelo inciden para que el Índice de Productividad sea predominantemente bajo a moderado; mientras que el Índice de Riesgo de Erosión moderado está asociado en mayor grado con las pendientes pronunciadas del terreno y en un menor grado al potencial de escorrentía de los suelos.

Es importante destacar que el menor porcentaje de la superficie de las parcelas estudiadas clasificaron como tierras en condición subcrítica (S), aptas para la producción agrícola continua, intensiva y diversificada a la cual está actualmente destinada; mientras que el mayor porcentaje de superficie de las parcelas calificaron como tierras en reserva (R), siendo necesario que sean mejoradas para que con el tiempo califiquen como tierras en condición subcrítica ya que ellas actualmente están siendo utilizadas para la producción hortícola intensiva con pocas prácticas de mejoramiento y conservación de los suelos que pueden llevarlas, de continuar así, a clasificar en el futuro como tierras en condición crítica (C).

Lo antes expresado sugiere la utilización de prácticas de manejo y conservación del suelo que permitan preservar su capa arable y mantener y/o mejorar los rendimientos de los cultivos, tales como: despiedre del terreno, aplicación de abonos verdes, abonos orgánicos, restos de cosechas, encalado del suelo, uso de coberturas, rotación de cultivos, cultivos asociados

through the project NURR-C-392-05-01-A and to the Dr. Enrique Avila by the english translation of abstract.

End of english version

o intercalados y siembra en contorno, que deben ser combinadas con algunas prácticas amortiguadoras de la velocidad de escurrimiento en ladera.

Se recomienda aplicar esta metodología en otras zonas montañosas tomando en cuenta diferencias bioclimáticas, litoestratigráficas, topográficas y de usos de la tierra a los fines de mejorar la predictibilidad de la misma bajo diferentes condiciones ambientales.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) 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 Avila por la traducción del resumen al idioma inglés.

Literatura citada

- Autodesk, Inc. 2006. AutoCAD 2006. Software. California. USA
- Delgado, F. y R. López. 1995. Validación de un modelo erosión-productividad en suelos de Los Andes Venezolanos. *Venesuelos*. 3(1): 17-24.
- Delgado, F., R. Terrazas y R. López. 1998. Planificación de la conservación de suelos en cuencas altas, utilizando relaciones erosión-productividad. *Agronomía Tropical*. 48(4): 395-411.

- Delgado, F. 1997. Sistema para la clasificación de tierras agrícolas y prioridades de conservación de suelos en áreas montañosas tropicales. Suelos y clima SC73 CIDIAT. Mérida, Venezuela. 26 p.
- Delgado, F. 2003. Un protocolo para apoyar la selección de prácticas de conservación de suelos en tierras montañosas tropicales. I Seminario Internacional Agricultura de Conservación en Tierras de Laderas. Manizales, Colombia. 27 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. 270 p.
- Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (FONAIAP). 1990. Manual de métodos y procedimientos de referencia. Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. Brito J., I. López y R. Pérez (Comps.). Maracay, Venezuela. 190 p.
- Jaimes, E. 1994. Términos de referencia para la realización de estudios de suelo. (Trabajo de ascenso). Universidad de Los Andes. Núcleo Universitario "Rafael Rangel". Departamento de Ciencias Agrarias. Trujillo. 257 p. y anexos.
- Mejía, J. y M. Vera. 2002. Evaluación de la productividad y el riesgo de erosión como base para el manejo sostenible de los suelos del río Zarzales, estado Mérida-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana. 43(2): 237-254.
- 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.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Revista Alcance N° 32. 94 p.