

Planificación del uso de la tierra en cuencas altas con base en el riesgo de erosión y la productividad del suelo

Land use planning in highland watersheds based on soil erosion risk and productivity

Valero Larisa*, Delgado Fernando* y López Roberto*

Recibido: noviembre, 2008 / Aceptado: abril, 2009

Resumen

Se evalúan potencialidades y limitaciones físicas determinantes para la producción agropecuaria en tierras montañosas, con el fin de clasificar las tierras y priorizar el uso agrícola y la selección de prácticas alternativas para la conservación de los suelos en un sector de los Andes venezolanos, sobre la base de índices de productividad y riesgo de erosión. El área de estudio se ubica en el sector el Royal, municipio Rangel, del estado Mérida. Los resultados muestran el predominio de una alta productividad de los suelos en combinación con un alto riesgo de erosión. Se realizó la selección de prácticas de manejo y conservación de suelos en función de los factores limitantes correspondientes a los citados índices. Las prácticas seleccionadas pueden ser implementadas en las condiciones particulares del área de estudio, presentando limitaciones menores para su ejecución y pudiendo ser fácilmente adoptadas por los agricultores locales.

Palabras clave: Planificación rural; uso de la tierra; conservación del suelo; productividad del suelo; riesgo de erosión; Andes venezolanos.

Abstract

Potentialities and relevant physical limitations for agricultural production in highlands are evaluated, with the purpose of classifying and prioritizing agricultural use and selection of alternative practices for soil conservation in Venezuelan Andes, based on their qualification, according to the following two indexes: *soil productivity* and *soil erosion risk*. The study area is located in the 'El Royal' sector, Rangel Municipality, Merida State, Venezuela. The results show prevalence of high productivity soils in combination with high erosion risk. Soil conservation practices were selected analyzing the most restrictive factors of these two indexes. The selected practices can be implemented according to the particular conditions of the study area, having few limitations for their carrying out and being able to be easily adopted by local farmers.

Key words: land use planning; soil conservation; soil productivity; soil erosion risk; Venezuelan Andes.

* Universidad de Los Andes, Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Mérida-Venezuela. Correo electrónico: delgado@ula.ve; rlopez@ula.ve; larivale@gmail.com

1. Introducción

Las cuencas altas tropicales, por lo general, presentan una grave problemática ambiental, como resultado de la combinación de un conjunto de características físico naturales y socioeconómicas que magnifican los riesgos de degradación de estas tierras ante la creciente intervención antrópica a que son sometidas (Hernández, 1987). La problemática ambiental, singularmente compleja en las cuencas altas tropicales, hace necesario estimular la investigación aplicada en la que se combinen distintos procedimientos metodológicos, que ayuden a entender y evaluar eficazmente los impactos derivados del manejo inadecuado de sus recursos (Mejía, 2000).

Uno de los principales problemas ambientales en las cuencas altas tropicales es la degradación de los suelos bajo usos agrícolas y las altas tasas de producción de sedimentos asociados a este uso. Éstos se originan principalmente por la erosión hídrica, la cual es favorecida por las altas intensidades de las lluvias tropicales, presencia de suelos muy susceptibles a la erosión y sistemas de producción basados en el uso intensivo de monocultivos de ciclo corto y excesiva mecanización de la tierra (Páez, 1994).

Es un hecho demostrado que la erosión reduce la productividad de los suelos, alterándose las propiedades físicas y químicas. La productividad del suelo se va reduciendo lentamente por acción de la erosión, muchas veces imperceptible, de manera que no es detectada hasta que las tierras dejan de ser económicamen-

te productivas para el aprovechamiento agrícola. Por otro lado, las tecnologías de manejo de suelos frecuentemente enmascaran la disminución de la productividad debida a la erosión, evitando que el fenómeno pueda ser detectado oportunamente (Langdale y Shrader, 1982; López, 2002). Diferentes métodos y técnicas han sido sugeridas para el estudio de la relación erosión-productividad de suelo. Una clasificación y descripción general de estos métodos es presentada por Páez (1991) y Delgado (1991).

El principio fundamental de cualquier sistema de planificación conservacionista del uso de la tierra es el de utilizar cada unidad de acuerdo a sus potencialidades y limitaciones físicas. En las cuencas altas tropicales se ha determinado que la productividad de los suelos y las condiciones que propician su afectación por la erosión (riesgo) son dos cualidades básicas de la tierra para definir sus potencialidades y limitaciones con fines agrícolas. Para que la planificación conservacionista sea exitosa es importante tomar en cuenta tales cualidades para asignarle, posteriormente, a cada unidad el uso y tratamiento más adecuado. Además, es importante establecer prioridades de tratamiento, para iniciar las actividades conservacionistas en aquellas tierras que por sus condiciones actuales y riesgos ameriten ser tratadas de manera prioritaria.

Existen diversas metodologías para la clasificación, evaluación y ordenación de tierras de montaña. La mayoría de los métodos tienen el objetivo de evaluar las potencialidades y limitaciones más determinantes para la producción agrícola, la

capacidad productiva de los suelos (potencialidad) y el riesgo de erosión (limitaciones). Tales métodos buscan establecer, en primer lugar, una clasificación de las tierras basada en las potencialidades y limitaciones para, posteriormente, definir y seleccionar el uso más conveniente o las prácticas de manejo y conservación de suelos más adecuadas para cada caso (Delgado, 1997).

En este estudio nos planteamos como objetivo general aplicar y validar una metodología de apoyo a la toma de decisiones para la conservación de suelos en tierras montañosas tropicales. Siendo los objetivos específicos: (i) Evaluar la productividad de los suelos y su distribución espacial, en una localidad de los Andes venezolanos a partir del modelo *Índice de Productividad* (IP) del suelo; (ii) Evaluar el riesgo de erosión y su distribución espacial en el área de estudio, basándonos en el modelo *Índice de Riesgo de Erosión* (IRE); (iii) Clasificar las tierras de acuerdo a la metodología planteada y proponer alternativas de uso y manejo conservacionista del suelo en función de los resultados del análisis correspondiente; (iv) Confrontar los resultados con los usos y prácticas comunes ejecutadas por los agricultores de la zona.

2. Materiales y métodos

2.1 Características del área de estudio

El área de estudio, con una superficie aproximada de 705 ha, se corresponde

con el cono de deyección de la microcuenca el Royal, y se ubica, cercana a la población de Mucuchíes, vía Apartaderos, en la parroquia capital Rangel, municipio Rangel del estado Mérida, Venezuela. En coordenadas UTM, se localiza entre los 963.800 a 969.400 metros Norte y 291.600 a 292.800 metros Este (Figura 1).

La microcuenca el Royal se ubica en una zona de estrechos valles longitudinales y transversales, con laderas muy inclinadas; dominan pendientes en el rango de 15 a 35 %; con variación altitudinal que va desde los 2.800 hasta los 4.100 msnm; la precipitación media anual es de 639,1 mm; la humedad relativa media anual de 71,3%, con una época lluviosa y fresca que se extiende por ocho meses continuos (abril a octubre) y una acentuada época seca y fría (diciembre a marzo), siendo noviembre un mes de transición. La temperatura media anual es de 11,1 °C; con medias máximas de 18 °C y mínimas de 5 °C. La Evapotranspiración Potencial (ETP), de acuerdo al método de Thornthwaite (1948), es de 1.349,3 mm. La litología que aflora está dominada por materiales de la Asociación Sierra Nevada: principalmente micaesquistos, anfíbolitas, gneises (gneises migmatíticos, gneises graníticos) y cuarcitas. Los suelos presentes son de bajo a mediano desarrollo pedogenético. En el fondo del valle dominan suelos de los órdenes Molisol e Inceptisol, mientras que en las vertientes dominan Entisoles e Inceptisoles; de estos últimos se reportan los subgrupos: Humic Dystrustept y Lithic Dystrustept (González, 1975).

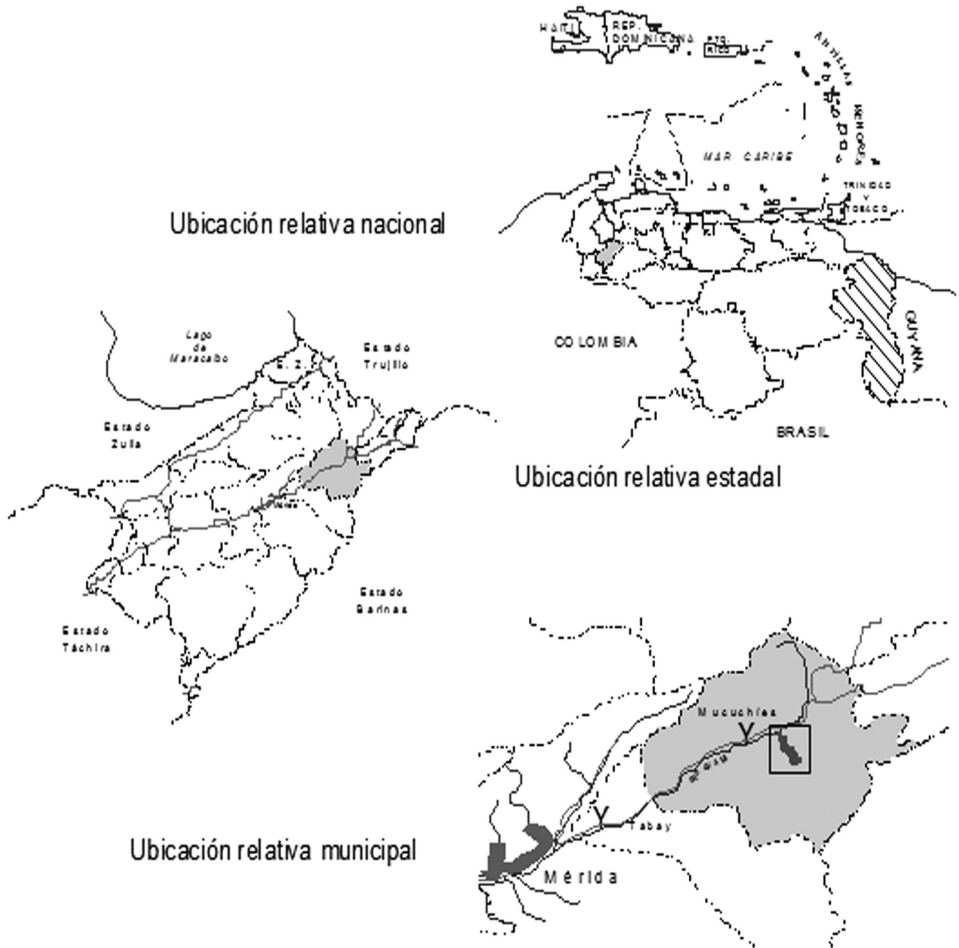


Figura 1. Localización del área de estudio

Las zonas de vida, de acuerdo a Holdridge (Ewel *et al.*, 1968), que se manifiestan en el sector son: Bosque Húmedo Montano, Páramo Subalpino y Tundra Pluvial Alpina. Considerando las Unidades Ecológicas de los Andes de Venezuela (Ataroff y Sarmiento, 1998), con grado importante de intervención, se presentan: Bosque Siempreverde Seco, Páramo Andino y Páramo Altiandino.

2.2 Metodología

La metodología aplicada, desarrollada por Delgado (1997, 2002, 2003a, 2003b), se basa en la cuantificación de dos cualidades de la tierra: *productividad del suelo* y *riesgo de erosión hídrica*. Mediante la aplicación de métodos multifactoriales se obtienen *el índice de productividad del suelo (IP)* y *el índice de riesgo de ero-*

sión hídrica (IRE), cada uno de los cuales evalúa la cualidad de la tierra respectiva, de acuerdo a las siguientes funciones:

$IP = f(\text{características biofísicas del suelo que favorecen el crecimiento de raíces}).$

$IRE = f(\text{características físicas de la tierra que favorecen la erosión hídrica}).$

El valor de ambos índices se introduce en una matriz de doble entrada, en la cual se indican las distintas clases de tierra, en función de la productividad del suelo y el riesgo de erosión. En esta matriz se señalan, además, las prioridades y los requisitos generales de conservación de suelos, así como los usos más prometedores para cada una de las clases de tierra definidas. El método es aplicable a unidades de tierra con información a escala de microcuencas. Las dos cualidades se evalúan de la manera siguiente:

2.2.1 Productividad del suelo

La evaluación de la productividad del suelo se realiza a través del modelo *Índice de Productividad* (IP), validado previamente en suelos de los Llanos Occidentales (Delgado, 1995) y de los Andes de Venezuela (Delgado y López, 1995; Delgado, Terrazas y López, 1998). Se evaluó el IP en el horizonte superficial del suelo, en razón de que los cultivos predominantes en este sector de los Andes son fundamentalmente hortícolas, con una capacidad exploratoria de las raíces relativamente baja, generalmente con profundidad potencial de enraizamiento igual o menor a 35 cm. El

IP se calculó a través del siguiente modelo multifactorial:

$$IP = A \cdot B \cdot C \cdot K \quad (1)$$

En dicho modelo, el factor A evalúa las condiciones que regulan las *relaciones agua-aire* del horizonte superficial (0-1); el factor B evalúa condiciones que determinan las *resistencias mecánicas* (impedancias) a la exploración radical del cultivo en el horizonte superficial (0-1), y el factor C evalúa condiciones que regulan la *fertilidad potencial* del horizonte superficial (0-1); finalmente K es el factor de ponderación con relación al espesor del suelo superficial. El Índice de Productividad (IP) tiene también un valor entre 0 y 1. El valor 1,0 (*condición óptima*) representa, para el factor respectivo, ningún grado de limitación al desarrollo y crecimiento de las raíces del cultivo indicador.

Evaluación de los factores del Índice de Productividad del suelo (IP)

Cada uno de los factores del IP es evaluado en términos del más relevante de los subfactores que lo constituyen. La selección de los subfactores específicos depende de las condiciones locales en general, del clima local, por lo que la interacción entre el suelo y el clima es una cuestión de importante consideración. En este sentido, deben tenerse en cuenta las relaciones que se presentan en el cuadro 1. Las figuras 2, 3 y 4 muestran las relaciones para el cálculo de los factores A, B y C y sus respectivos sub-factores del Índice de Productividad del suelo.

Cuadro 1. Factores y subfactores considerados en la determinación del Índice de Productividad del Suelo (IP)

Factor A	Factor B	Factor C
Evalúa condiciones que regulan las relaciones agua-aire del horizonte i. <ul style="list-style-type: none"> En clima seco ($P/ETP < 0,50$): Factor A = subfactor A_1 En clima húmedo ($P/ETP > 2,00$): Factor A = subfactor A_2 En clima subhúmedo a seco ($0,50 \leq P/ETP \leq 2,00$). Factor A = valor más limitante (el menor valor numérico) entre subfactores A_1 y A_2 	Evalúa condiciones que determinan las resistencias mecánicas (impedancias) a la exploración radical del cultivo en el horizonte i. <ul style="list-style-type: none"> Si el contenido volumétrico de fragmentos de roca en el suelo es $\leq 30\%$, Factor B = subfactor B_1 (densidad aparente). Si el contenido volumétrico de fragmentos gruesos en el suelo es $> 30\%$. Factor B = subfactor B_2 (fragmentos gruesos) 	Evalúa condiciones que regulan la fertilidad potencial del horizonte i <ul style="list-style-type: none"> En clima húmedo ($P/ETP > 2,00$): Factor C = subfactor C_1 En clima seco ($P/ETP < 0,50$): Factor C = subfactor C_2 En clima subhúmedo a seco ($0,50 \leq P/ETP \leq 2,00$). Factor C = valor más limitante (el menor valor numérico) entre subfactores C_1 y C_2

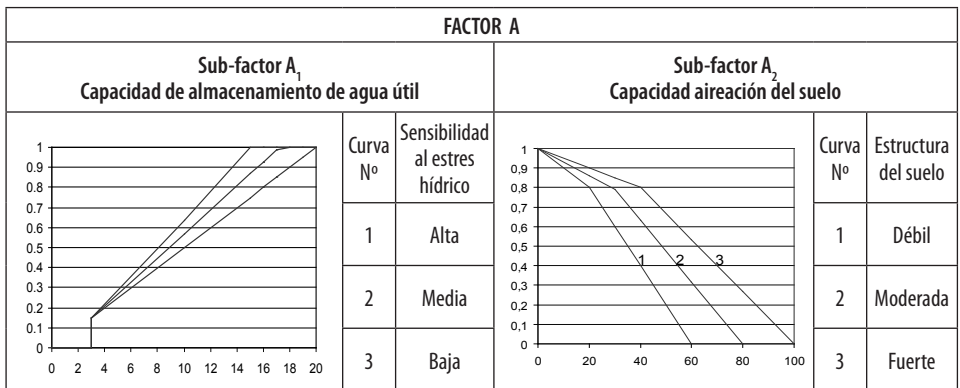


Figura 2. Subfactores para evaluar el factor A del índice de productividad del suelo. Fuente: Delgado 2003b

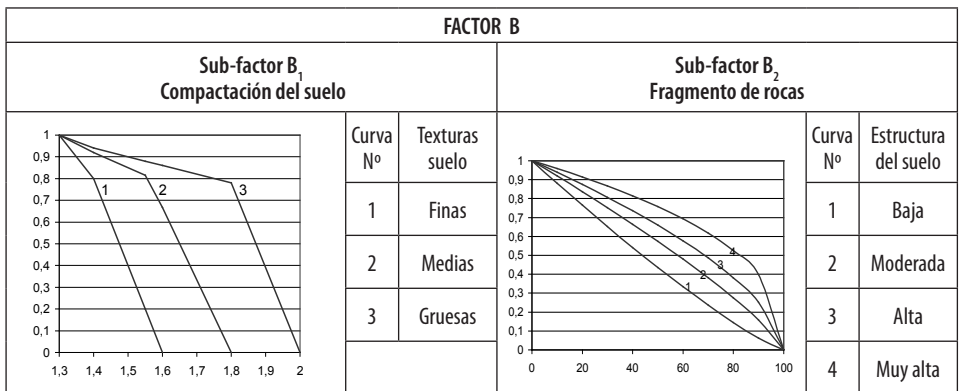


Figura 3. Subfactores para evaluar el factor B del índice de productividad del suelo. Fuente: Delgado 2003b

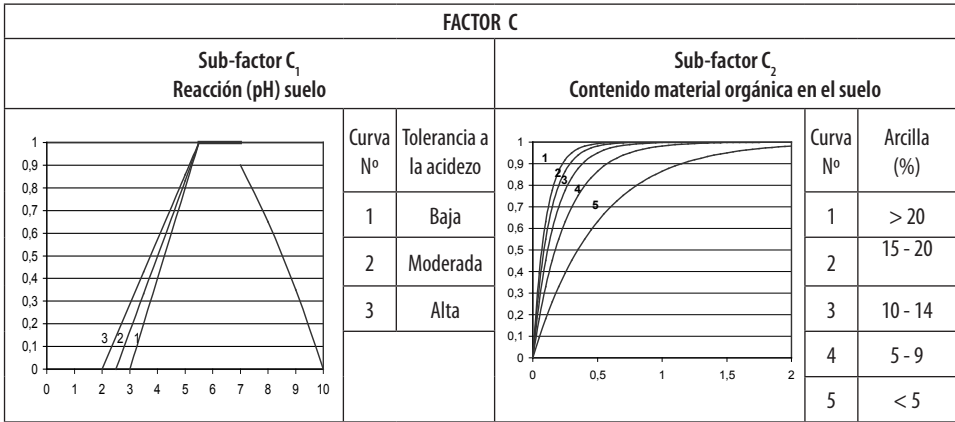


Figura 4. Subfactores para evaluar el factor C del índice de productividad del suelo. Fuente: Delgado 2003b

El factor K evalúa la *profundidad efectiva del suelo* así como la *importancia relativa del horizonte i* en el perfil. Para su cálculo es importante tener en cuenta que el mismo representa el factor de ponderación acumulada del perfil del suelo hasta el límite inferior del horizonte i (Figura 5).

Una vez determinados los factores del Índice de Productividad para cada uno de los horizontes, se procede al cálculo

de dicho índice, tal como se ilustra en la figura 6. Los valores de los factores A, B, C, K se pueden calificar en función del grado en que cada uno de ellos contribuye a limitar la productividad del suelo (Cuadro 2). De igual manera, los valores relativos de productividad del suelo, estimados a través del IP, se pueden calificar de acuerdo a los rangos que se presentan en el cuadro 3.

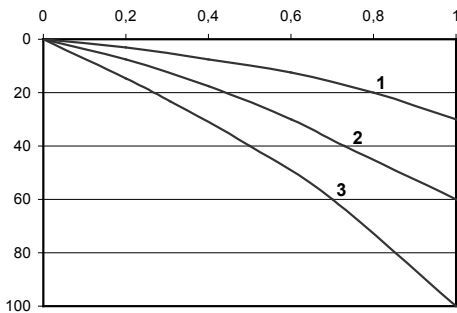


Figura 5. Factor de ponderación K, del índice de productividad del suelo. Fuente: Delgado, 2003b

Cuadro 2. Calificación del grado de limitación, en función del valor de los factores que determinan el índice de productividad del suelo

Grado de limitación	Valor del factor (A, B, C, K)
Muy severa	£ 0,20
Severa	0,20 – 0,40
Moderada	0,40 – 0,60
Ligera	0,60 – 0,80
Muy ligera	³ 80

Fuente: Delgado 2003a

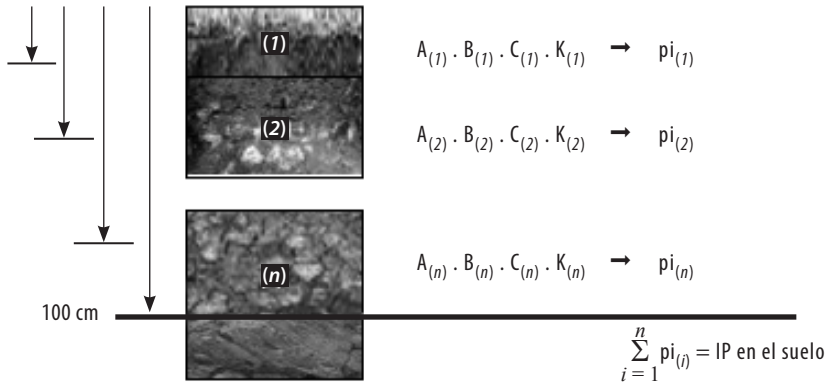


Figura 6. Cálculo del Índice de Productividad (IP). Fuente: Delgado 2003b)

Cuadro 3. Calificación de la productividad del suelo en función de los valores del Índice de Productividad (IP)

IP	Productividad del suelo	Intensidad de uso agrícola de la tierra
£ 0,15	Baja	Se requieren prácticas muy intensivas de manejo de suelos para mejorar significativamente la baja productividad. La relación entre el número de años con cultivos de ciclo corto por cada año de barbecho o descanso del suelo no debe ser mayor de 3:1
0,16- 0,35	Moderada	No más de una (1) cosecha al año de cultivos de ciclo corto y con prácticas intensivas de manejo de suelos para mejorar su productividad. La relación entre el número de años con cultivos de ciclo corto por cada año de barbecho o descanso del suelo puede ser de 3:1 a 6:1
0,36-0,50	Alta	Hasta dos (2) cosechas de cultivos de ciclo corto al año, con prácticas moderadas de manejo de suelos. La relación entre el número de años con cultivos de ciclo corto por cada año de barbecho o descanso del suelo puede ser de 6:1 a 10:1
> 0,51	Muy alta	Es posible realizar hasta tres (3) cosechas de cultivos de ciclo corto al año con prácticas moderadas de manejo de suelos. La relación entre el número de años con cultivos de ciclo corto por cada año descanso del suelo puede ser igual o mayor de 10:1

Fuente: Delgado 2003b

Es importante destacar que para evaluar los diferentes factores del IP se utilizó el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) como indicador de productividad. La selección de dicho cultivo se hizo en razón de ser uno de los más representativos de la producción agrícola en los

Andes venezolanos, así como el de mayor producción y mayor superficie cultivada en el área de estudio (Delgado, 2003b).

2.2.2 Riesgo de erosión hídrica

Se entiende por *riesgo de erosión*, o erosión potencial, la máxima pérdida de

suelo posible *en ausencia de cobertura vegetal y prácticas conservacionistas*; es decir, considerando solamente la interacción de los factores físicos de la tierra: suelo, clima y topografía (Páez, 1994).

El modelo propuesto para cuantificar esta cualidad de la tierra se basa en la metodología propuesta por Delgado (1997, 2003b), que toma en consideración tres factores fundamentales para estimar el riesgo 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. En esta metodología, el riesgo de erosión hídrica se estima a partir del *Índice de Riesgo de Erosión (IRE)*, el cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IRE = \frac{\eta}{10 (1-\alpha)} \quad (2)$$

donde:

IRE = Índice de Riesgo de Erosión (valor entre 0 y 1)

a = Factor que evalúa el potencial de escorrentía del suelo (valor entre 0 y 1).

h = Factor que evalúa el impacto de la agresividad de las lluvias con relación a la pendiente del terreno (valor entre 0 y 1).

El valor 1, para los factores del Índice de Riesgo de Erosión, corresponde a *condiciones potenciales* del suelo más favorables para el eventual desarrollo de severos procesos de erosión hídrica.

Evaluación de los factores del Índice de Riesgo de Erosión del suelo (IRE)

Factor a

Este factor evalúa el *potencial relativo de escorrentía* del suelo, a partir de la *granulometría y el grado de desarrollo de la estructura* del suelo. La granulometría incluye la determinación de la fracción fina del suelo (partículas ≤ 2 mm) y los fragmentos gruesos (partículas > 2 mm). La estructura incluye principalmente la evaluación de su grado de desarrollo (débil, moderada o fuerte).

El valor a se obtiene a partir de las ecuaciones que se indican en la figura 7, considerando solamente el horizonte superficial del suelo.

Factor h

Este factor evalúa la interacción entre la agresividad climática y la topografía, y su incidencia sobre el riesgo de erosión. El valor del factor se determina a partir de la evaluación del Índice de Fournier (1960), que calcula la concentración relativa anual de las lluvias, lo cual permite estimar su grado de erosividad. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$F = p^2 / P \quad (3)$$

donde:

F = Índice de Fournier

p = precipitación media mensual del mes más lluvioso del año (mm)

P = precipitación media anual (mm)

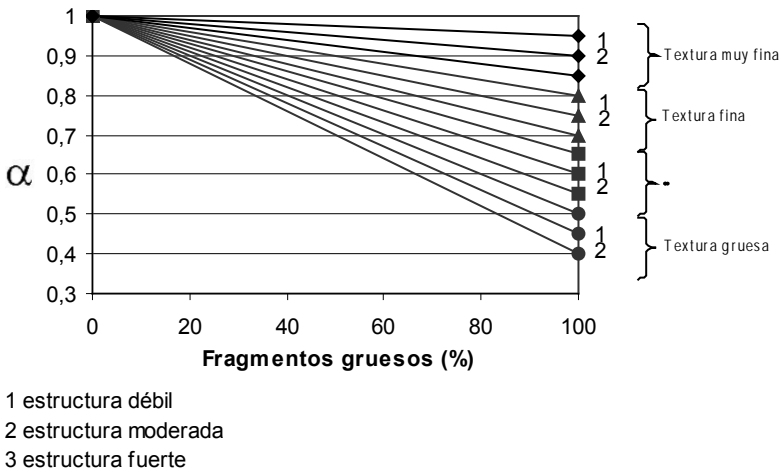


Figura 7. Factor α del índice de riesgo de erosión. Fuente: Delgado, 2003b

Para garantizar un índice consistente es necesario que los datos de precipitación procedan de estaciones pluviométricas con al menos diez años de registro.

El valor h se obtiene a partir de la interacción entre el índice de Fournier (Cuadro 4) y la pendiente media del terreno (Figura 8).

Cuadro 4. Valores de referencia del Índice de Fournier (F), para áreas montañosas tropicales

F	Calificación
< 15	Muy bajo
15 – 30	Bajo
31 – 50	Moderado
51 – 65	Alto
> 65	Muy alto

Fuente: Delgado, 2003b

2.3 Clasificación agrícola de las tierras montañosas

La interacción de los índices de productividad del suelo (IP) y de riesgo de erosión (IRE) permiten, finalmente, establecer un sistema de clasificación de tierras agrícolas para áreas montañosas tropicales (Cuadro 5).

En dicho sistema las tierras se clasifican en cuatro (4) categorías principales, dadas sus condiciones actuales:

2.3.1 Tierras en condición supercrítica (P)

Tierras que presentan suelos con productividad de alta a muy alta, pero con fuertes riesgos de erosión. Si las mismas se encuentran bajo uso agrícola, deben ser incorporadas de inmediato en programas permanentes e intensivos de conservación de suelos. Se ubican en el primer nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

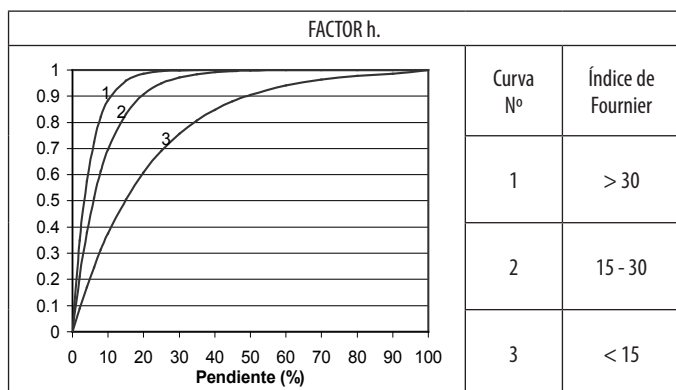


Figura 8. Factor h del Índice de Riesgo de Erosión. Fuente: Delgado, 2003b

2.3.2 Tierras en condición crítica (C)

Tierras con suelos de productividad que va de moderada a baja, pero en condiciones que determinan fuertes riesgos de erosión. Estas tierras podrían ser incorporadas en *programas especiales de agricultura* con cultivos específicos para suelos de baja productividad, o utilizadas con usos no agrícolas pero con un fuerte

componente conservacionista. Se ubican en el segundo nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

2.3.3 Tierras en condición subcrítica (S)

Tierras que tienen suelos con una productividad de alta a muy alta, con ligeros riesgos de erosión. Tales tierras son ideales para la producción agrícola conti-

Cuadro 5. Sistema para la clasificación de tierras y priorización de la conservación de suelos en áreas montañosas tropicales

Índice de Productividad del suelo (IP)	Índice de Riesgo de Erosión (IRE)				Uso general de la tierra
	£ 0,10 (bajo)	0,11-0,30 (moderado)	> 0,31-0,60 (alto)	>0,61 (muy alto)	
£ 0,15 (bajo)	Tierras en reserva (R) (4ª prioridad de tratamiento conservacionista)		Tierras en condición crítica (C) (2ª prioridad de tratamiento conservacionista)		Vegetación permanente
0,16-0,35 (moderado)					Cultivos especiales Agroforestería
0,36-0,50 (alto)	Tierras en condición sub-crítica (S) (3ª prioridad de tratamiento conservacionista)		Tierras en condición super-crítica (P) (1ª prioridad de tratamiento conservacionista)		Agricultura semi-intensiva
>0,51 (muy alto)					Agricultura intensiva
	Ligeros	Moderados	Altos	Muy altos	

Fuente: Delgado 2003b

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

2.3.4 Tierras en reserva (R)

Tierras cuyos suelos se caracterizan por presentar productividades de moderadas a bajas, con ligeros riesgos de erosión. Estas tierras pueden ser utilizadas con usos agrícolas limitados y reducida gama de cultivos, o usadas con propósitos no agrícolas. Se consideran, generalmente, como tierras marginales para programas de conservación de suelos. Podrían ser eventualmente 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.

2.4 Procedimiento para la aplicación de la metodología

Para la selección del área de estudio se tomaron en cuenta criterios como el uso agrícola, la problemática ambiental, la existencia de áreas con suelos contrastantes y la disponibilidad de información básica (topografía, suelos, clima, geología, uso de la tierra). La información cartográfica básica y temática existente en el área se encuentra a escala 1:25.000; ésta fue adoptada como escala general de trabajo para toda el área de la microcuenca. Se abrió una ventana a mayor nivel de

detalle (escala 1:5.000), correspondiente al cono de deyección de la microcuenca, en donde se aplicó la metodología IP-IRE. Se realizó un recorrido general de reconocimiento del área de estudio, a fin de obtener una visión del uso actual de la tierra, además de localizar y establecer la distribución de las parcelas de cultivo, así como su tamaño.

Se efectuó una primera etapa de muestreo, con la finalidad de detectar el patrón o estructura de variación del suelo y determinar la distancia óptima de muestreo de los suelos. La segunda etapa de muestreo se completó siguiendo un diseño sistemático alineado, con la distancia óptima resultante en el análisis de varianza del muestreo anidado. Los puntos se ubicaron tratando de interpolar valores en las zonas del cono carentes de información. Una vez establecidos los puntos de muestreo, se procedió a la apertura de los hoyos para tomar las muestras de suelo hasta la profundidad dada por el espesor del horizonte superficial, información contrastada con la profundidad media de enraizamiento del cultivo de papa, (entre 25 a 30 cm), elementos de importante consideración en la evaluación del IP.

3. Resultados y discusión

En general, al comparar los valores de los cuatro factores A, B, C y K, se observa que es el factor K el que presenta limitación moderada en la mayoría de la superficie del cono a diferencia de los otros factores que presentan limitaciones ligeras a muy

ligeras. Ello podría sugerir que es dicho factor K el que contribuye, en mayor grado, a limitar la productividad del suelo. Sin embargo, debido a que el cultivo indicador, utilizado en esta investigación tiene una capacidad exploratoria de las raíces relativamente baja, el factor K no debería ser limitante en la productividad del suelo. En el cuadro 6 se muestran las propiedades del suelo evaluadas y parámetros estadísticos, resultantes del análisis exploratorio.

3.1 Índice de productividad (IP)

Los resultados muestran que los valores oscilan entre 0,15 y 0,54. Estos valores permitieron clasificar la productividad del suelo en el área de estudio de moderada a muy alta, predominando la pro-

ductividad alta, la cual se distribuye en el 85,26% de la superficie. La productividad moderada se manifiesta en un área equivalente al 14,77 % ubicada en la parte media y alta del cono.

La **productividad alta** se localiza en aquellos sitios cuyos valores de pH son medios (6,6-7,3), correspondiendo a una condición de suelo neutro (Porta *et al.*, 1999), la capacidad de retención de humedad se presenta en un rango de valores medios (8-14%), así como los valores de densidad aparente, de acuerdo con la condición textural del suelo (1,35-1,41 Mg m⁻³). Estos valores del IP nos indican que los suelos de la mayoría de la superficie del cono son aptos para la agricultura semi-intensiva que incluye una amplia gama de cultivos hortícolas, pero se recomienda implementar prácticas mode-

Cuadro 6. Propiedades del suelo evaluadas y parámetros estadísticos

Variables	Media	Desviación Estándar	Valor mínimo	Valor máximo	Coef. de Var. (%)
Arcilla (g kg ⁻¹)	171,7	30,5	80	236,0	17,9
Arena (g kg ⁻¹)	484,0	56,9	350	620,0	11,8
Densidad aparente (Mg m ⁻³)	1,38	0,23	0,81	1,76	16,9
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	62,8	18,5	40	119,0	29,4
pH	6,12	0,74	4,22	7,31	12,1
Almac. de humedad (g kg ⁻¹) límite superior 33 kPa	251,4	62,8	163	419,0	24,9
Almac. de humedad (g kg ⁻¹) límite inferior 1500 kPa	122,0	34,3	73	220,0	28,1
Vol. fragmentos de roca > 2 mm (%)	15,47	7,72	0	33,57	49,4
Vol. fragmentos de roca > 20 mm (%)	7,8	5,77	0	25,0	73,96
Horizonte superficial (m)	0,14	0,04	0,05	0,2	30,6

radas de manejo de suelos con el fin de mantener o incrementar la productividad y hacerla sostenible en el tiempo.

La **productividad media a moderada** se emplaza en aquellos lugares con valores de pH más bajos (4-5), correspondientes a condiciones de suelo de fuertemente ácido a extremadamente ácido (Porta *et al.*, 1999). La capacidad de retención de humedad es baja (6 -10%) y la densidad aparente se ubica en valores medios (1,35-1,41 Mg m⁻³). Las tierras donde se manifiesta productividad moderada están limitadas al aprovechamiento agrícola con una reducida gama de cultivos. Se deberían implementar prácticas intensivas de manejo de suelos como son las prácticas de mejoramiento del suelo y uso de coberturas, para así incrementar la productividad del mismo (Cuadro 7).

3.2 Clasificación de las tierras agrícolas en el área de estudio

En el área de estudio, se identificaron los siguientes tipos de tierras agrícolas (Figura 9): tierras en condición supercrítica (P), tierras en condición crítica (C), tierras en condición subcrítica (S) y tierras en reserva (R).

Las *tierras en condición supercrítica* abarcan el 30,65% de la superficie. Actualmente son suelos con una productividad alta, pero con altos riesgos de erosión. Debido a que están bajo uso agrícola intensivo, deben ser incorporadas a programas permanentes de conservación de suelos. Se ubican en el primer nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista, ya que se localizan en

la parte alta y media del cono, lugares cuya pendiente es fuerte.

El 19,88% de la superficie corresponde a *tierras de condición crítica*, las cuales actualmente tienen suelos con una productividad moderada, con altos riesgos de erosión. Dado que estas tierras se encuentran actualmente bajo uso agrícola intensivo, se deben implementar medidas de conservación permanentes, combinando prácticas de manejo del suelo (mejorando la productividad) con prácticas intensivas de conservación de suelos. Estas tierras se encuentran en la parte media del cono. Se ubican en el segundo nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

Las tierras que predominan son las de *condición subcrítica* abarcando 35,74% de la superficie del cono; estas tierras tienen suelos con una productividad actual alta y riesgo de erosión moderado a bajo. Tierras aptas para la producción agrícola continua, intensiva y con una variedad de cultivos hortícolas, pero se deben implementar prácticas conservacionistas con el fin de garantizar el mantenimiento de la capacidad productiva de estos suelos. Esta condición se localiza en su mayoría en la parte baja del cono aunque aparecen algunos sectores en la parte alta del mismo. Se ubican en el tercer nivel de prioridad para su tratamiento conservacionista.

Por último, se tienen las *tierras en reserva* abarcando un 13,74% de la superficie del cono; estas tierras actualmente tienen suelos con una productividad moderada con riesgos de erosión moderados. Se encuentran bajo un uso

Cuadro 7. Matriz de prácticas de conservación de suelos, vinculación con los factores y parámetros de los índices de Productividad y Riesgo de Erosión

Prácticas Conservacionistas	Factores					
	Índice de Productividad				Riesgo de Erosión	
	A ₁	B ₁	C ₁	K	a	h
Uso de Abonos Orgánicos	X	X	X	X	X	
Uso de Abonos Verdes	X	X	X	X	X	
Manejo de Restos de Cosecha como cobertura		X	X		X	
Incorporación de Fertilizantes			X			
Enmiendas para Suelos ácidos			X			
Rotación de Cultivos y Asociación de Cultivos			X			
Cultivos Tolerantes			X	X		
Zanjas de Absorción	X					
Terrazas de Bordos Anchos (Absorción)	X					
Siembra en Contorno					X	
Barreras Vivas					X	
Surcos en Contornos					X	
Drenaje Superficial					X	
Barreras de Piedra						X
Riego por Aspersión	X					X
Labranza Conservacionista	X	X			X	

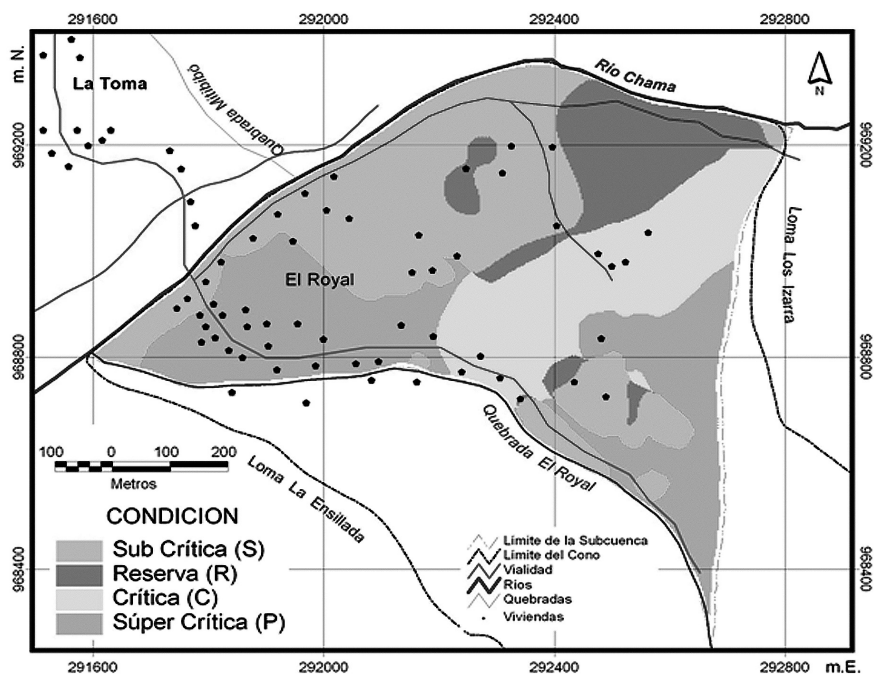


Figura 9. Clasificación de las tierras agrícolas en el sector el Royal, estado Mérida

agrícola intensivo, ya que se distribuyen principalmente en la parte baja del cono por lo que es recomendable implementar prácticas de manejo del suelo que mejoren sustancialmente la productividad del mismo. Para su tratamiento conservacionista están en el cuarto nivel de prioridad, aunque como estas tierras están siendo ya utilizadas igual que las tierras en condición subcríticas, por su adyacencia, se recomienda ubicarlas en un tercer nivel de prioridad. De acuerdo con estos resultados se puede establecer que los requerimientos de conservación van a estar comprendidos por las tres primeras categorías, es decir, de ligeros a altos.

3.3 Identificación de las prácticas alternativas para el área de estudio

Una vez obtenida la clasificación de las tierras y establecidos los requerimientos conservacionistas, la selección de las prácticas se realizó en función del (los) subfactor(es) limitante(s), tanto para el Índice de Productividad como para el Índice Riesgo de Erosión. Las prácticas seleccionadas son aquellas que pueden ser implementadas según las condiciones particulares del área de estudio, y que además tienen pocas limitaciones para su ejecución y son fácilmente adoptadas por los agricultores. Tomando en cuenta el subfactor determinante para cada factor, en el cuadro 6, se presentan las prácticas más adecuadas.

Validación final

A manera de validación, al comparar los resultados de la clasificación de tierras con el uso actual observado, se aprecia que el uso dado a estas tierras ha sido intensivo por muchos años, lo cual indica que, o bien la productividad se ha mantenido alta gracias a las condiciones naturales iniciales (suelos muy productivos) o bien que ello ha sido posible gracias al manejo que ha hecho el agricultor, utilizando diferentes técnicas para aumentar o mantener esta productividad, con el uso reiterado de abonos, fertilizantes, riego, etc. Esto coincide, a manera general, con los resultados de este trabajo, los cuales nos llevan a la conclusión de que una importante proporción de las tierras del cono son de productividad moderada a alta. La comparación del mapa de uso actual de las tierras en el cono con el mapa de productividad del suelo destaca la similitud entre ambos, ya que el sector de más alta productividad coincide con el uso actual de cultivos hortícolas intensivos. Asimismo, los sectores con productividad moderada, presentan un uso fundamentalmente de pastizales y/o de protección.

Se observó que los agricultores aplican, actualmente, algunas de las prácticas conservacionistas propuestas por la metodología utilizada en este estudio (Delgado, 2003b), tales como las prácticas de mejoramiento del suelo (incorporación de abonos orgánicos y fertilizantes, rotaciones de cultivos y algunas técnicas de labranza conservacionista), así como determinadas prácticas para control de escurrimientos, básicamente

la siembra en contorno. Sin embargo, es preciso destacar que existe una falta de asesoramiento por parte del estado para crear mayores incentivos a los agricultores, para que apliquen una mayor diversidad de prácticas conservacionistas disponibles a bajos costos, o para que lo hagan de una forma más intensiva en toda la microcuenca. También es importante reforzar el conocimiento autóctono, ya que algunas de estas prácticas han pasado de generación en generación sin que se hayan hecho esfuerzos para mantener o extender estas experiencias, enfatizando las ventajas que ello representa para el mejoramiento general de la agricultura de la zona, y de la calidad de vida de la población.

4. Conclusiones y recomendaciones

En general, los suelos del área de estudio presentan una moderada capacidad de retención de humedad, densidad aparente variable, pH con valores de extremadamente bajos a medios y contenidos de materia orgánica altos. Se observó, para el Índice de Productividad (IP), valores que oscilan entre 0,15 y 0,54, predominando los valores en el rango alto, distribuidos en el 85,26 % de la superficie del cono. Estos valores predominantes del IP suelo indican que la mayoría de las tierras son aptas para uso agrícola semi-intensivo, con implementación de prácticas moderadas de manejo de suelo. Para el Índice Riesgo de Erosión (IRE), los valores oscilan entre 0 y 0,45, predominando el riesgo de erosión alto (mayor de 0,30),

condición característica del 54,21 % de la superficie del cono; ello en coincidencia con las bajas tasas de infiltración, alta escorrentía y predominio de pendientes de medias a fuertes.

Las tierras del área de estudio fueron clasificadas como tierras en condición supercrítica (P): 30,65 %; tierras en condición crítica (C): 19,88 %; tierras en condición subcrítica (S): 35,74 % y tierras en reserva (R), ocupando el 13,74 % de la superficie. Según estos resultados, se puede concluir que alrededor del 65 % del área corresponde a tierras con una productividad alta y un 50 % del área posee condiciones de riesgo de erosión alto. Toda el área tiene aptitudes suficientes para una producción agrícola semi-intensiva, siempre y cuando se realicen prácticas de conservación de suelos.

El sistema de clasificación de tierras aplicado permite el ordenamiento y descripción de un conjunto amplio de prácticas, las cuales tienen como función crear condiciones que mejoren significativamente la productividad del suelo y, a la vez, fortalezcan la estructura del mismo, mitigando el impacto de los agentes de la erosión. Aunado a esto, se considera el hecho de que dichas prácticas puedan ser adoptadas con facilidad por los agricultores, ya que son de bajo costo y de fácil implementación pudiéndose incorporar a las prácticas cotidianas de manejo.

La metodología aplicada es específica y detallada, ya que toma en cuenta como son los aspectos climáticos y las características intrínsecas del suelo; es por eso que los resultados obtenidos con esta metodología proporcionan información

en cuanto a los valores de las propiedades físicas y químicas del suelo, concluyendo con la productividad del mismo. A su vez, se obtiene información con relación al potencial de los suelos a los procesos de erosión, lo cual es fundamental en la planificación conservacionista del uso de la tierra, ya que permite proponer los usos y las prácticas conservacionistas apropiadas según el caso. Esta metodología sería por lo tanto más apropiada en áreas pequeñas (microcuencas) o sectores de tratamiento, cuya escala de trabajo es menor a 1:10.000.

La selección de las prácticas permitió, de una manera más expedita, identificar las principales causas que están limitando la productividad del suelo y las que potencian el riesgo de erosión. Así se tiene que las prácticas de mejoramiento del suelo (abonos verdes, abonos orgánicos, manejo de restos de cosechas, uso de enmiendas para suelos ácidos, labranza conservacionista, entre otras) y uso de coberturas (rotación de cultivos, cultivos tolerantes, entre otras), combinadas con algunas prácticas amortiguadoras de la velocidad de escurrimiento en ladera (surcos en contorno, zanjas de absorción, drenaje superficial), haría posible continuar, de una manera sostenible, con el aprovechamiento agrícola de las tierras en el sector.

5. Referencias citadas

- ATAROFF, M. y L. SARMIENTO. 1998. Las unidades ecológicas de los Andes de Venezuela. En: E. La Marca y P. Soriano (eds.) **Reptiles de los Andes de Venezuela**. Mérida-Venezuela.
- DELGADO, F. 1991. Impacto de la erosión en la productividad del suelo. 137-153. En: R. López y M. Páez (eds.). **Metodología de evaluación e investigación de la erosión del suelo y su impacto en la productividad y en el ambiente**. CIDIAT. Mérida-Venezuela. 137 p.
- DELGADO, F. 1995. *Un índice de productividad para la evaluación de los suelos agrícolas en la región de pie de monte y llanos occidentales de Venezuela*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Trabajo de ascenso a profesor Asociado. Mérida-Venezuela.
- DELGADO, F. 1997. *Sistema para la evaluación y clasificación de tierras agrícolas y prioridades de conservación de suelos en áreas montañosas tropicales*. Serie SC N° 73. CIDIAT. Mérida-Venezuela.
- DELGADO, F. 2002. *Agricultura sostenible y mejoramiento de los suelos de ladera*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Trabajo de ascenso a profesor Titular. Mérida-Venezuela.
- DELGADO, F. 2003a. Soil physical properties on Venezuelan steepplands: applications to soil conservation planning. Ponencia presentada en el 20º Aniversario "College on Soil Physics", ICTP. Trieste-Italia.
- DELGADO, F. 2003b. 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.
- DELGADO, F. y R. LÓPEZ. 1995. *Validación de un modelo erosión-productividad en suelos de Los Andes venezolanos*. **Venesuelos** 3: 17-24.
- DELGADO, F.; TERRAZAS, R. y R. LÓPEZ. 1998. *Planificación de la conservación de suelos en cuencas altas, utilizando relaciones erosión-productividad*. **Agronomía Tropical** 48(4): 395-411.
- EWEL, J. J.; MADRIZ, A. y J. A. TOSI. 1968. **Zonas de vida de Venezuela; Memoria explicativa sobre el mapa ecológico**. (2da. Edición). Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas-Venezuela.
- FOURNIER, F. 1960. **Climat et érosion**. Presses universitaires de France. Paris. 201 p.
- GONZÁLEZ, R. 1975. *Algunos factores físicos y socio-económicos y el riego por aspersión en las regiones altas andinas. El caso Misteque, Mucuchíes. Estado Mérida*. Escuela de Geografía. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. Trabajo de ascenso a profesor Agregado. Mérida-Venezuela.
- HERNÁNDEZ, E. 1987. **Manejo de cuencas. Fundamentos**. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela.
- LANGDALE, G. W. y W. G. SHRADER. 1982. Erosion effects on soil productivity of cultivated croplands. 41-51. En B. L. Schmidt *et al.* (ed.). **Determinants of soil loss tolerance**. Special Publication N° 45. Am. Soc. Agron., Madiso., Wisconsin-USA.
- LÓPEZ, R. 2002. *Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación*. Serie SC N° 75. CIDIAT. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela.
- MEJÍA, J. 2000. *Un modelo suelo paisaje para la evaluación automatizada de tierras con fines conservacionistas en cuencas altas: microcuenca del río Zarzales. Estado Mérida*. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela. Tesis M.Sc.
- PÁEZ, M. 1991. Propuesta para la evaluación de la relación productividad-erosión en Venezuela. 162-169. En: R. López y M. Páez (eds.) **Metodología de evaluación e investigación de la erosión del suelo y su impacto en la productividad y en el ambiente**. CIDIAT. Mérida-Venezuela.
- PÁEZ, M. 1994. *Clasificación de los suelos por riesgo de erosión hídrica con fines de planificación agrícola*. **Rev. Fac. Agron.** (Maracay) 20: 83-100.
- PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M. y C. ROQUE-RO. 1999. **Edafología, para la agricultura y el medio ambiente**. 2da. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-España.