
VALIDACIÓN DE UN MODELO EROSIÓN-PRODUCTIVIDAD EN SUELOS DE LOS ANDES VENEZOLANOS

Validation of an erosion-productivity model in Venezuelan Andean soils

Fernando Delgado y Roberto López*

* Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Parque La Isla, Apartado 219, Mérida, Edo. Mérida, Venezuela.

Resumen

En áreas de montaña, la erosión de los suelos constituye, generalmente, el principal proceso de degradación de tierras. La naturaleza y dinámica del fenómeno erosivo están sustancialmente estudiadas, no así lo referente a las relaciones entre la erosión y la productividad del suelo. Con el propósito de analizar tales relaciones, se desarrolló un modelo (Índice de Productividad) que intenta establecer valores de productividad del suelo en función de las siguientes variables edáficas, estrechamente vinculadas al crecimiento y desarrollo de cultivos en condiciones de montañas tropicales: capacidad de retención de agua aprovechable, contenido de arcilla, densidad aparente, contenido de fragmentos gruesos, pH, contenido de materia orgánica y porcentaje de saturación con aluminio. Una de las aplicaciones más importantes del modelo radica en su capacidad para predecir el efecto de la erosión sobre la productividad del suelo. Simulando el proceso erosivo a partir de remociones sucesivas de suelo superficial, el modelo genera valores de productividad para diferentes niveles de remoción. Para validar es-

ta aplicación del modelo, se compararon los resultados obtenidos por simulación con valores de productividad real, obtenidos en campo para diferentes niveles de remoción artificial de un suelo Typic Humitropept de los Andes Venezolanos. Los resultados obtenidos permiten 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.

Palabras claves: Productividad del suelo, erosión, modelos de simulación, *Phaseolus vulgaris* L., Andes venezolanos, Mérida.

Abstract

In mountainous areas, soil erosion by water is one of the most important land degradation processes. The nature and dynamics of the erosion phenomenon have been substantially studied, but there is much to inquire about relationships between soil properties, as affected by erosion, and soil productivity. With the purpose of analyzing such relationships a model (Productivity Index) was developed to try to establish soil productivity values

as a function of the following edaphic variables, closely related to growth and development of crops in tropical mountainous regions: available water capacity, clay content, bulk density, coarse fragment content, pH, organic matter content and aluminium saturation. One of the models most important applications is its capacity to predict the erosion effect on soil productivity. By simulation of the erosion process throughout successive removal of topsoil layers, the model generates productivity values for different removal levels. In order to validate this application of the model, the results obtained by simulation were compared with the field productivity values corres-

ponding to different artificial removal levels of a Typic Humitropept topsoil in the Venezuelan Andes. The results of this research allow to conclude that the model can be used for preliminary evaluation of the erosion impact on these soils of mountainous regions, particularly when there is no field research information available to evaluate the soil erosion-productivity relationship.

Key words: Soil productivity, erosion, soil properties, *Phaseolus vulgaris* L., Venezuelan Andes, Mérida.

INTRODUCCIÓN

La erosión es el principal proceso de degradación de suelos en las tierras cultivadas de los Andes venezolanos. El impacto del proceso sobre la productividad de estas tierras no ha sido suficientemente evaluado. Sólo en años recientes ha comenzado a reconocerse la importancia de los efectos perjudiciales de la erosión en la productividad del suelo, aún cuando todavía existe muy poca información que permita cuantificar tales relaciones.

Actualmente existen diversos métodos orientados a la evaluación de los efectos de la erosión sobre las propiedades del suelo y el rendimiento de cultivos en las tierras agrícolas. Al respecto, Olson *et al.* (1994) destacan la debilidad y/o fortaleza comparativa de unos métodos con respecto a otros, y los riesgos del uso inadecuado de los mismos. Stocking y Peake (1985) y Lal (1988) establecen, en general, tres categorías de métodos para estimar el impacto de la erosión en la productividad del suelo: métodos agronómicos directos, evaluación de las propiedades del suelo y modelos e índices de productividad. Dentro de la primera categoría se encuentra la técnica de la remoción artificial de suelo superficial, que asume que tal manipulación simula la remoción natural por erosión. Por otro lado, el uso de modelos matemáticos se ha convertido en una herramienta útil para estudiar y predecir las relaciones erosión-productividad. El objetivo de este trabajo ha sido el de combinar ambas metodologías aplicando la técnica de la remoción de suelo superficial para validar un modelo o índice de productividad en condiciones de alta montaña.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Modelo

El modelo utilizado es una modificación del Índice de Productividad (IP) desarrollado por Kiniry *et al.*, (1983) y adaptado por Delgado (1989) a la región de los Llanos Occidentales de Venezuela. Para validarlo en suelos de la región de los Andes, se tomaron en consideración las siguientes variables edáficas, estrechamente vinculadas al crecimiento y desarrollo de cultivos en condiciones de montañas tropicales: capacidad de retención de agua aprovechable, contenido de arcilla, densidad aparente, contenido volumétrico de fragmentos gruesos, pH, materia orgánica y saturación con aluminio.

El modelo asume que, bajo determinadas condiciones de clima, manejo y cultivo, el rendimiento depende de las condiciones edáficas que propician un ambiente adecuado para el buen crecimiento radical (Figura 1). Se obtuvieron ecuaciones empíricas que permiten establecer relaciones entre el rendimiento y cada una de las variables edáficas consideradas. Las interacciones entre variables y su efecto sobre el rendimiento a partir de la expresión siguiente:

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

donde:

- IP = Índice de Productividad del suelo (0 - 1)
- A_i = Suficiencia de capacidad de almacenamiento de agua del horizonte i (0 - 1)
- B_i = Suficiencia de facilidad para la exploración radical del horizonte i (0 - 1)
- C_i = Suficiencia de fertilidad potencial del horizonte i (0 - 1)
- K_i = Factor de ponderación del horizonte i (importancia relativa para la planta) (0 - 1)
- n = Número de horizontes en el perfil del suelo, hasta 100 cm.

Cada uno de los parámetros A, B y C se evalúa a su vez con dos subparámetros:

Parámetro A:

- A₁ = Evalúa la capacidad de almacenamiento de agua útil
- A₂ = Evalúa el contenido de arcilla en función de la estructura del suelo

Parámetro B:

- B₁ = Evalúa la densidad aparente del suelo en función del tipo de textura
- B₂ = Evalúa el contenido de fragmentos gruesos

Parámetro C:

- C₁ = Evalúa el pH del suelo
- C₂ = Evalúa la saturación, con aluminio, en función del contenido de materia orgánica.

Para calcular el IP se toma en consideración solamente el *subparámetro más limitante*.

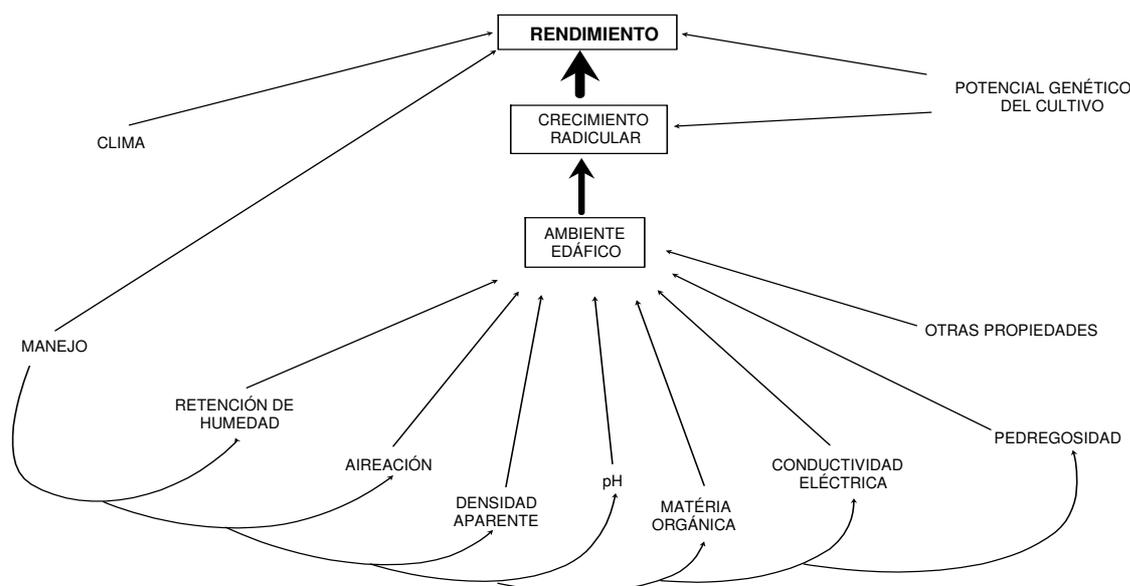


Figura 1. Concepto del Índice de Productividad del suelo (Kiniry *et al.*, 1983)

Cada parámetro se evalúa en función del subparámetro respectivo más limitante, es decir, el parámetro adquiere el valor del subparámetro que tenga el menor valor de suficiencia en la escala 0 - 1. El valor de suficiencia para cada subparámetro se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones:

Parámetro A: Subparámetro A₁: Capacidad de almacenamiento de agua útil (agua retenida con una succión entre -33 y -1500 Kpa).

$$A_1 = 0,05 W; 0 \leq W \leq 20 \quad (W = 20 \text{ si } W > 20)$$

donde:

A₁ = Suficiencia de almacenamiento de agua útil (0 - 1)

W = Contenido gravimétrico (%) de agua útil.

Subparámetro A₂: Contenido de arcilla en función de la estructura del suelo

1. Para suelos con estructura débil:
Si arcilla ≤ 20% A₂ = 1,0 - 0,01 (arc)
Si arcilla > 20% A₂ = 1,2 - 0,02 (arc)
2. Para suelos con estructura moderada:
Si arcilla ≤ 30% A₂ = 1,0 - 0,0066 (arc)
Si arcilla > 30% A₂ = 1,3 - 0,016 (arc)
3. Para suelos con estructura fuerte:
Si arcilla ≤ 40% A₂ = 1,0 - 0,005 (arc)
Si arcilla > 40% A₂ = 1,3 - 0,0133 (arc)

donde:

A₂ = Suficiencia de contenido de arcilla en función de la estructura del suelo (0 - 1)

arc = Contenido de arcilla (%)

Parámetro B: Subparámetro B₁: Densidad aparente del suelo en función del tipo de textura.

1. Para texturas finas (arcillosas, limosas finas):

$$B_1 = 3,6 - 2 (DA) \quad 1,30 \leq DA \leq 1,40$$

$$B_1 = 9,6 - 6 (DA) \quad 1,40 < DA \leq 1,60$$

2. Para texturas medias (francas, limosas gruesas):

$$B_1 = 1,87 - 0,67 (DA) \quad 1,30 \leq DA \leq 1,55$$

$$B_1 = 6,00 - 3,33 (DA) \quad 1,55 < DA \leq 1,80$$

3. Para texturas gruesas (francas gruesas, arenosas):

$$B_1 = 1,52 - 0,4 (DA) \quad 1,30 \leq DA \leq 1,80$$

$$B_1 = 8,00 - 4,0 (DA) \quad 1,80 < DA \leq 2,00$$

donde:

B₁ = Suficiencia de Densidad Aparente (0 - 1)

DA = Densidad Aparente del suelo (Mg/m³)

Subparámetro B₂: Contenido volumétrico de fragmentos gruesos (fragmentos con diámetro equivalente mayor de 2 mm).

$$B_2 = (1 - f)^r$$

donde:

B = Suficiencia de contenido de fragmentos gruesos (0 - 1)

f = Fracción de fragmentos gruesos (volúmen)

r = Coeficiente de capacidad explorativa de las raíces

r = 1,20 --- capacidad explorativa baja

r = 0,80 --- capacidad explorativa moderada

r = 0,60 --- capacidad explorativa alta

$r = 0,40$ --- capacidad explorativa muy alta
 Parámetro C: Subparámetro C_1 : pH del suelo.

$C_1 = 0$	si	$pH < 2,8$
$C_1 = 0,50$ (pH) - 1,35	si	$2,8 \leq pH \leq 4,5$
$C_1 = 0,45 + 0,1$ (pH)	si	$4,5 < pH \leq 5,5$
$C_1 = 1$	si	$5,5 < pH \leq 7,0$
$C_1 = 1,905 - 0,13$ (pH)	si	$7,0 < pH \leq 8,5$
$C_1 = 4,2 - 0,4$ (pH)	si	$8,5 < pH \leq 10,5$
$C_1 = 0$	si	$pH > 10,5$

donde:

C_1 = Suficiencia de pH del suelo (0 - 1)
 pH = pH en el extracto suelo-agua, relación 1:1.

Subparámetro C_2 : Porcentaje de saturación con aluminio.

1. Cuando la materia orgánica es mayor o igual a 4%:

Si $SA \leq 40\%$ $C_2 = 1$
 Si $SA > 40\%$ $C_2 = 1,666 - 0,01666 (SA)$

2. Cuando la materia orgánica está entre 2,5 y 4%:

Si $SA \leq 35\%$ $C_2 = 1,0033 - 0,000666 (SA)$
 Si $SA > 35\%$ $C_2 = 1,55 - 0,01625 (SA)$

3. Cuando la materia orgánica está entre 1,0 y 2,5%:

Si $SA \leq 30\%$ $C_2 = 1 - 0,001 (SA)$
 Si $SA > 30\%$ $C_2 = 1,429 - 0,0157 (SA)$

4. Cuando la materia orgánica es menor que 1,0%:

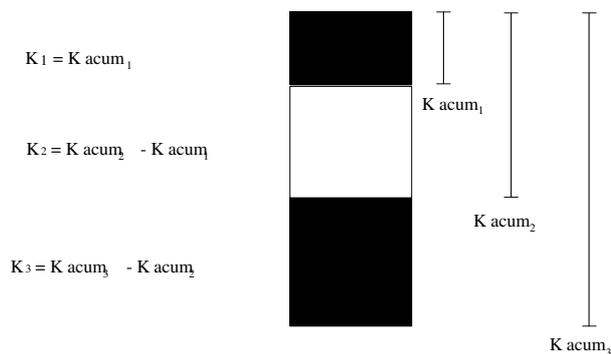
Si $SA \leq 25\%$ $C_2 = 1 - 0,002 (SA)$
 Si $SA > 25\%$ $C_2 = 1,3 - 0,015 (SA)$

donde:

C_2 = Suficiencia de saturación con aluminio en función de la materia orgánica (0 - 1)

SA = Saturación con aluminio (%).

Factor de Ponderación: K: Evalúa la importancia relativa del



horizonte del suelo para la planta (Figura 2).

$$K_{acum.} = 0,024 X^{0,82}$$

donde:

K_{acum} = Factor de ponderación acumulado hasta el horizonte i

X = Profundidad máxima del horizonte i (cm). Para el horizonte i considerado:

$$K_i = K_{acum.}(i) - K_{acum.}(i - 1)$$

Para la valoración del IP actual del suelo se utilizó la clasificación que aparece en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación tentativa de los suelos por su índice de productividad actual

Índice de Productividad	Productividad
< 0,10	Muy baja
0,10 - 0,20	Baja
0,20 - 0,40	Moderada
0,40 - 0,60	Alta
> 0,60	Muy alta

Experimentos en Campo y Validación del Modelo IP

Los experimentos se realizaron sobre un suelo Typic Humitropept localizado en la Estación Experimental Santa Rosa (IIAP-ULA) en Mérida, estado Mérida. Se utilizó caraota (*Phaseolus vulgaris L.*) como cultivo indicador. Se estableció el experimento en diseño de bloques al azar con 3 bloques y 12 tratamientos, consistentes en 3 niveles de denudación del suelo (0, 50 y 100 % de remoción del suelo superficial) en interacción con la aplicación de fertilizante (15-15-15, 300 kg ha⁻¹) y/o abono orgánico (estiércol de bovino, 25 Mg.ha⁻¹) incluyendo los testigos. Previo a la aplicación de los tratamientos se incorporó cal (CaCO₃) en cada parcela a razón de 3000 kg.ha⁻¹. De lo planteado se deduce que para cada uno de los 3 estados o condiciones de pérdida de suelo "establecidas" se tienen 4 tipos diferentes de manejo del suelo, en cuanto a la aplicación de abonos y fertilizantes: (1) con fertilizante, (2) con abono orgánico, (3) con fertilizante y abono orgánico y (4) testigos sin aplicaciones de fertilizante ni abono orgánico. Todas las parcelas fueron muestreadas en presiembra, antes de la aplicación de tratamientos y en postcosecha. Se realizaron análisis de suelo para conocer: textura, pedregosidad, almacenamiento de humedad, pH, carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno total, fósforo aprovechable y bases cambiables. Asimismo, a través del ciclo del cultivo se evaluaron determinados parámetros: cobertura del suelo, altura de plantas, número de vainas por planta, número de granos por vainas y rendimiento en granos (López, 1994; Fumero y López, 1991).

Para la validación del modelo en este suelo se consideraron dos niveles de manejo. El tratamiento testigo, condición en la cual se cultivó sin aplicación de fertilizantes, se designa como nivel de manejo 1; el nivel de manejo 2 corresponde a los diferentes tratamientos de remoción de suelo más la aplicación de fertilizante en la dosis señalada. Es de recordar que ambas condiciones de manejo incluyen la aplicación de cal. La validación propiamente dicha se hizo correlacionando los valores observados en campo, versus los valores de productividad relativa

(IP) simuladas por el modelo. Experiencias similares, validando el IP mediante la utilización de datos obtenidos a través de erosión simulada, son reportadas en la literatura especializada (Rijsberman y Wolman, 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo bajo estudio, cuyas características del perfil modal se presentan en el Cuadro 2, muestra variaciones importantes en la zona de enraizamiento, por efecto de la remoción del material superficial. El efecto de tal alteración se manifiesta en una significativa reducción del rendimiento del cultivo indicador en la medida en que el suelo superficial es removido (Figura 2). El rango de valores para las propiedades del suelo involucradas en la determinación del IP se presenta en el Cuadro 3.

En cuanto a los resultados de la aplicación del modelo se observa en primer lugar que la productividad inicial de este suelo es alta (Cuadros 1, 4 y 5), y que a medida que se remueve suelo superficial, los valores de productividad se mantienen entre altos y moderados. Esto es indicación de que el suelo no presenta una alta vulnerabilidad.

El análisis de regresión realizado muestra que existe una aceptable correlación (r) entre las variables IP y rendimiento de caraota ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para todos los modelos de regresión ajustados. Para ambos casos: nivel de manejo 1 (Cuadro 6) y nivel de manejo 2 (Cuadro 7) los modelos de regresión explican más del 60% (manejo 1) y más del 70% (manejo 2) de las variaciones observadas (r^2).

Aunque todos los modelos estadísticos de regresión considerados muestran valores aceptables de r , los modelos cua-

drático y logarítmico (Figuras 3 y 4) explican mejor el fenómeno estudiado, por cuanto el rendimiento crece a medida que el suelo ofrece mejores condiciones (alto IP) al cultivo; pero tiende a una asíntota, dada por los otros factores que controlan el rendimiento del cultivo: potencial genético y clima. Es de señalar, además, que se dió un mejor ajuste en el caso del suelo fertilizado, evidenciado por los valores más altos de r que se obtuvieron (Cuadros 6 y 7). A través de esta experiencia se comprobó, en una primera aproximación, que las variables consideradas en el modelo IP tienen una real importancia para definir la productividad de los suelos en estas condiciones de montaña.

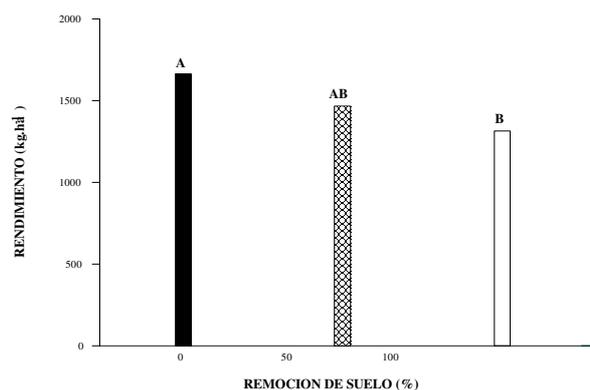


Figura 2. Rendimiento de caraota (*Phaseolus vulgaris* L., var. criolla San Juan), en producción de granos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Valores promedios agrupados de acuerdo al efecto de remoción de suelo superficial. Valores con la misma letra no difieren significativamente por la prueba de Duncan.

Cuadro 2. Características del suelo estudiado (Romero, 1983).

Horizonte (m)	Granulometría				Almacenamiento de Humedad		Densidad aparente ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	pH		Carbono orgánico ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
	Arena ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Limo ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Arcilla ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Clase textural	0,033MPa	1,5MPa		H ₂ O	KCl	
Ah (0,00-0,26)	422	370	208	F	325	220	1,07	5,90	4,80	81,4
C1 (0,26-0,60)	556	344	100	Fa	230	120	1,39	5,30	4,30	15,0
C2 (0,60-1,10)	635	314	51	Fa	185	80	1,58	5,60	4,40	6,5

Horizonte (m)	Nitrógeno total ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Relación C:N	Fósforo soluble ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	C.I.C. AcNH ₄	Bases cambiables				Saturación Bases (%)
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	
Ah (0,00-0,26)	3,60	22,67	6,65	16,00	9,00	0,16	0,18	0,07	58,81
C1 (0,26-0,60)	0,90	16,48	6,30	6,00	0,35	0,10	0,06	0,05	9,67
C2 (0,60-1,10)	0,30	19,11	6,60	4,00	0,70	0,35	0,03	0,06	28,50

Cuadro 3. Rango de valores para las propiedades de los suelos utilizadas en el cálculo del Índice de Productividad

Prof. (cm)	Agua Dispon. (%)	Arcilla (%)	Clase Textural	Estructura	DA (Mg.m ⁻³)	Fragm. Grueso (vol)	pH	M.O (%)	Alum. Sat. (%)
0-26	10-12	4-12	F-Fa (gruesa)	Blocosa, subang. (mod.)	1,10-1,20	0,08-0,15	5,20-5,75	7,7-9,8	0
26-60	9-11	2-14	Fa (gruesa)	Blocosa, subang. (débil)	1,29-1,35	0,15-0,20	5,10-5,30	3,0-3,2	0-15
60-110	9-10	2-13	Fa (gruesa)	Blocosa, subang. (debil)	1,45-1,58	0,25-0,38	5,50-5,60	1,0-1,2	0

Cuadro 4. Índices de productividad y rendimientos respectivos con nivel de manejo 1.

Réplica N ^o	Nivel de Remoción (%)	Índice de Productividad	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)
1e+07	0	4,2703960e+30	1373
1	50	3,9603980e+26	736
122333	100	3,9804210e+22	625
22333	0	4,2103990e+18	1206
2333	50	3,9904230e+14	1086
33	0	42304100415	1722
3	50/100	4100415	1201
3	100	0,415	941

Cuadro 5. Índices de productividad y rendimientos respectivos con nivel de manejo 2.

Réplica N ^o	Nivel de Remoción (%)	Índice de Productividad	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)
1	0	0,397	1549
1	50	0,372	782
1	100	0,362	560
2	0	0,398	736
2	50	0,386	910
2	100	0,376	681
3	0	0,437	1571
3	50	0,417	1562
3	100	0,356	435

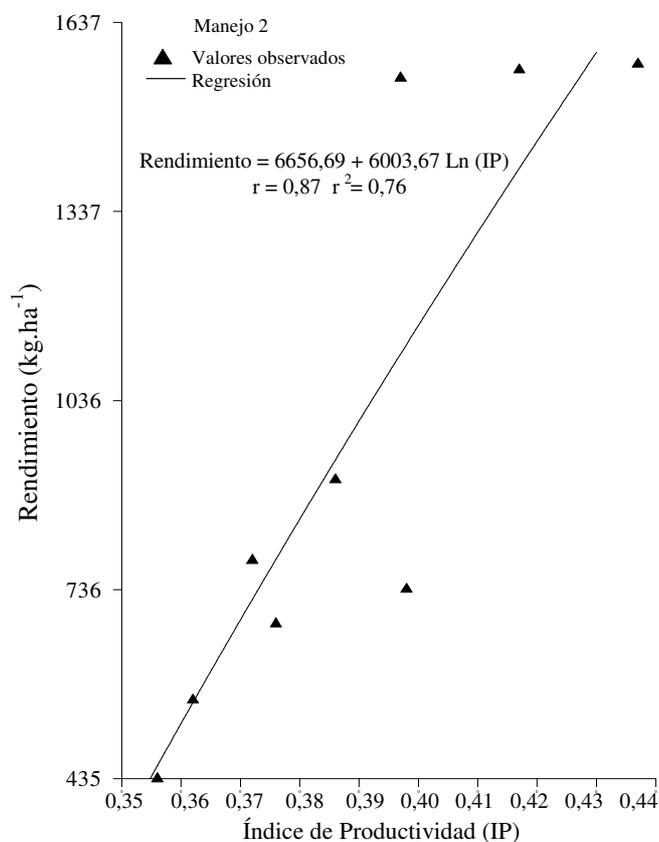
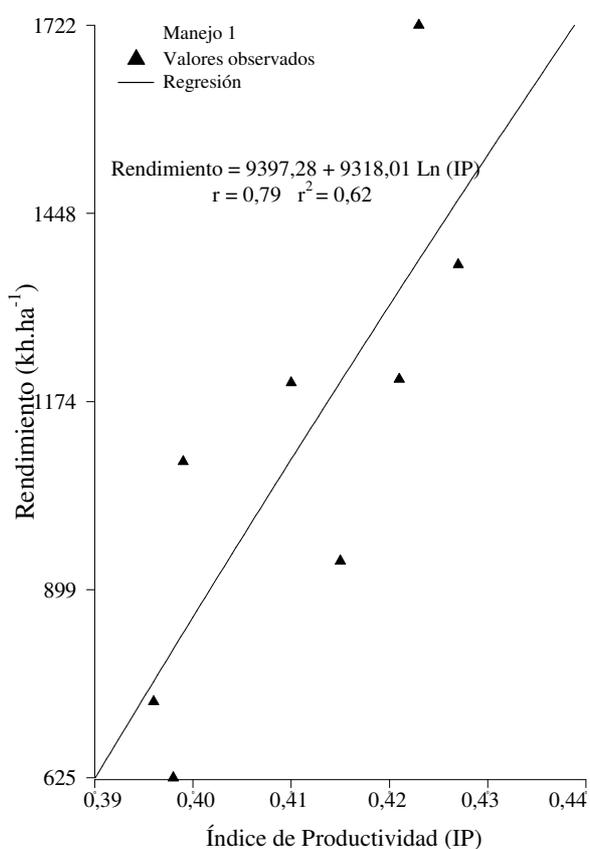


Figura 3. Curvas de regresión logarítmica, para el Índice de Productividad y Rendimiento de la caraota. Manejo 1 y Manejo 2.

Cuadro 6. Coeficientes de ajuste, correlación y determinación para los valores de Índice de Productividad y rendimiento con nivel de manejo 1.

Tipo Ecuación	a	b	c	r	r ²
$Y = a + bx$	$-0,82 \cdot 10^4$	$0,23 \cdot 10^5$	-	0,8	0,62
$Y = a x^b$	$0,27 \cdot 10^7$	8,8	-	0,8	0,64
$Y = a e^{bx}$	0,152	21,5	-	0,8	0,64
$Y = a + b \ln x$	$0,94 \cdot 10^4$	$0,93 \cdot 10^4$	-	0,8	0,62
$Y = \frac{x}{a + bx}$	$0,36 \cdot 10^2$	$-0,79 \cdot 10^2$	-	0,8	0,64
$Y = a + bx + cx^2$	$-0,23 \cdot 10^5$	$0,94 \cdot 10^5$	$-0,87 \cdot 10^5$	0,8	0,62

Cuadro 7. Coeficientes de ajuste, correlación y determinación para los valores de Índice de Productividad y rendimiento con nivel de manejo 2.

Tipo Ecuación	a	b	c	r	r ²
$Y = a + bx$	-49,104	15,105	-	0,87	0,76
$Y = a x^b$	34,106	6,29	-	0,86	0,74
$Y = a e^{bx}$	0,185	15,85	-	0,86	0,74
$Y = a + b \ln x$	66,104	60,104	-	0,87	0,76
$Y = \frac{x}{a + bx}$	$0,28 \cdot 10^2$	$0,60 \cdot 10^2$	-	0,84	0,71
$Y = a + bx + cx^2$	-15,105	64,105	63,105	0,88	0,7

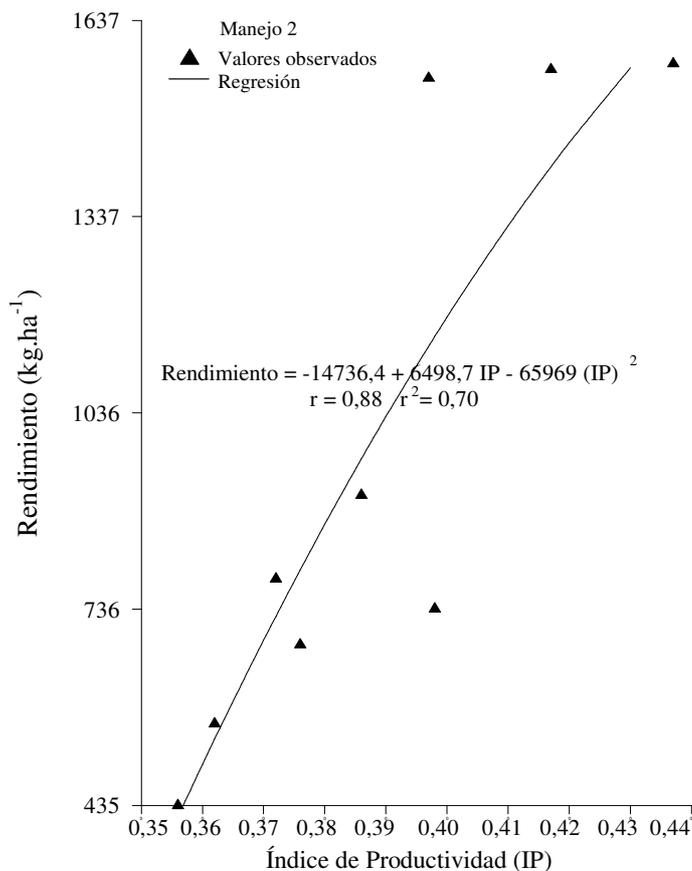
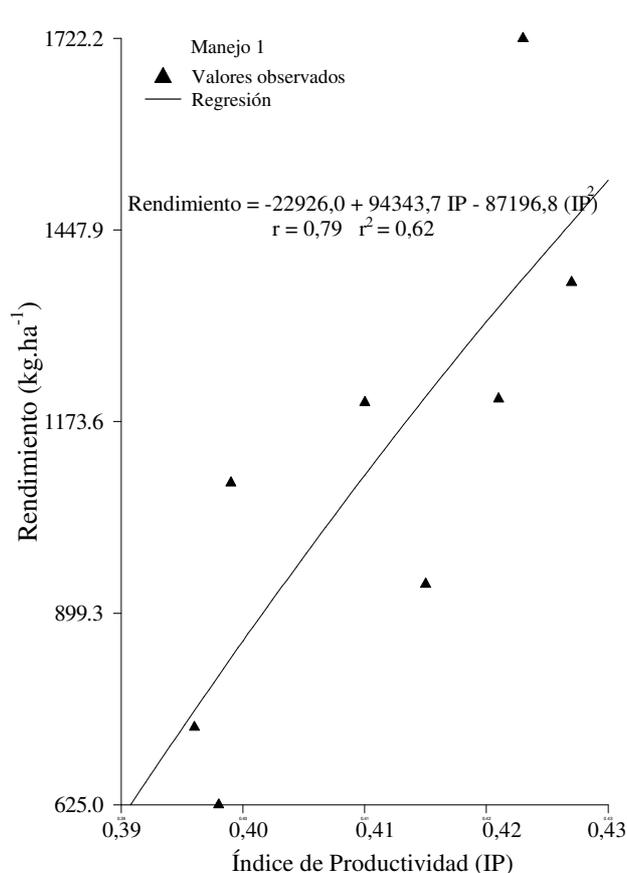


Figura 4. Curvas de regresión cuadrática, para el Índice de Productividad y Rendimiento de la caraota. Manejo 1 y Manejo 2.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos corroboran el hecho, generalmente aceptado, de que la relativa productividad de los suelos y su tasa de cambio, debido a las pérdidas de material del horizonte superficial, dependen de la presencia de características favorables para el desarrollo del sistema de raíces del cultivo en el perfil del suelo. Ello es respaldado por el hecho de haberse observado, a través de estos ensayos, que: a) la productividad decrece con la pérdida de suelo, aun si se aplican

prácticas de manejo para contrarrestar dicho efecto; b) existe una buena correlación entre variables edáficas y productividad del suelo, relación que varía en función del clima, el cultivo y el manejo (Pierce *et al.*, 1983, 1984). Aun cuando es necesaria una más extensiva validación del modelo IP, dada la variedad de condiciones edafoclimáticas y de sistemas agroecológicos que se dan en las zonas montañosas, los resultados obtenidos estimulan la utilización del modelo IP para evaluaciones preliminares del impacto que la pérdida del suelo pudiera ocasionar sobre la productividad de estos suelos de las montañas

andinas, cuando no se dispone de un buen cúmulo de información para evaluar las relaciones erosión-productividad.

LITERATURA CITADA

- DELGADO, F. 1989. A productivity index for rainfed agriculture based upon soil physical properties of the Western plains of Venezuela. Workshop on Soil Physics. ICTP, Trieste, Italia, 23 p.
- FUMERO, S. y R. LÓPEZ. 1991. Efecto de la erosión sobre la productividad de suelos agrícolas en los Andes Venezolanos. I. Influencia de la remoción de suelo superficial y aplicación de abonos. XI Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, Coro, Venezuela, p. 54.
- KINIRY, L., C. SCRIVNER y M. KEENER. 1983. A soil productivity index based upon predicted water depletion and root growth. Research Bulletin 1051. University of Missouri, Columbia, 26 p.
- LAL, R. 1988. Monitoring soil erosion's impact on crop productivity. In: R. Lal (Ed.) Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA, pp. 187-200.
- LÓPEZ, R. 1994. Factores y efectos de la erosión hídrica en suelos de los Andes Venezolanos. CIDIAT, Mérida, Venezuela, 124 p.
- OLSON, K., R. LAL y L. NORTON. 1994. Evaluation of methods to study soil erosion-productivity relationships. J. Soil Water Cons. Vol. 49:586-590.
- PIERCE, F., W. LARSON, R. DOWDY y W. GRAHAM. 1983. Productivity of soils: assessing longterm changes due to erosion. J. Soil Water Cons. Vol. 38:39-44.
- PIERCE, F., W. LARSON y R. DOWDY. 1984. Soil loss tolerance: maintenance of long-term soil productivity. J. Soil Water Cons. Vol. 39:136-138.
- RIJSBERMAN, F. y M. WOLMAN. 1985. Effect of erosion on soil productivity: an international comparison. J. Soil Water Cons. Vol. 40:349-354.
- ROMERO, E. 1983. Efecto de la fertilización nitrogenada (orgánica-inorgánica) sobre la relación suelo planta, usando como cultivo a la papa, var. "alfa" en la región de los Andes. Tesis M.Sc. CIDIAT-ULA, Mérida, Venezuela, 85 p.
- STOCKING, M. y L. PEAKE. 1985. Erosion-induced loss in soil productivity: trends in research and international cooperation. In: I. Pla (Ed.) Soil Conservation and Productivity. Proceedings IV International Conference on Soil Conservation, Maracay, Venezuela. pp. 399-438.