

Aplicación de un índice de productividad en dos unidades de suelo y su relación con el cultivo de sorgo. Baja Guajira, municipio Páez, estado Zulia, Venezuela

Application of a productivity index in two soils units and its relation with sorghum crop, Low Guajira, Zulia State, Venezuela

Jesús DÍAZ, José MORENO, Miguel LARREAL, Luis. MÁRMOL, Raquel RODRÍGUEZ e Iván CHIRINOS ✉

Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. Apartado 15205. ZU4005. Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.
E-mail: jediaz@luz.edu.ve y ichirinos3@gmail.com ✉ Autor para correspondencia

Recibido: 15/04/2009 Fin de primer arbitraje: 10/06/2009 Primera revisión recibida: 28/07/2009
Fin de segundo arbitraje: 23/08/2009 Segunda revisión recibida: 11/09/2009 Aceptado: 21/09/2009

RESUMEN

El estudio se realizó en la zona El Tigre, Baja Guajira, municipio Páez, estado Zulia, Venezuela, ubicada entre las coordenadas geográficas 11°07'50"-11°09'57" Latitud Norte y 72°02'07"-72°04'17" Longitud Oeste. Se evaluaron algunas variables químicas y físicas del suelo en dos unidades cartográficas (A.gc.5.fn-so y A.er.4.fp) ambas seleccionadas bajo el criterio de homogeneidad climática y con la aplicación de sistemas de manejo similares en la producción del cultivo. Se determinó el índice de productividad del suelo (IP) y el rendimiento del cultivo del sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.) en ambas unidades cartográficas, a fin de evaluar sus potencialidades y limitaciones comparando el rendimiento obtenido con el rendimiento estimado utilizando la ecuación general de regresión que relaciona el rendimiento del cultivo con el IP. Se utilizó el Sistema de Análisis Estadístico (SAS), bajo un modelo completamente aleatorizado, donde se encontraron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) del IP y del rendimiento del cultivo entre ambas unidades. Estas diferencias evidencian que las variables edáficas seleccionadas inciden notablemente en la determinación del IP y consecuentemente en los rendimientos del cultivo y que en la unidad cartográfica A.gc.5.fn-so las propiedades del suelo evaluadas son mejores que en la unidad A.er.4.fp

Palabras clave: propiedades químicas del suelo, propiedades físicas del suelo, rendimiento, glaxis de explayamiento

ABSTRACT

The study was carried at the Venezuelan low Guajira, Zulia state, Venezuela, located at 11°09'50"-11°09'57", north latitude and 72°02'07"- 72°04'17", west longitude. Some chemical and physical soil properties were evaluated in two cartographic units (A.gc.5.fn-so and A.er.4.fp) selected under the approach of climatic homogeneity and the application of a similar management for crop production. It determined the soil productivity index (IP) and the yield of sorghum (*Sorghum vulgare* Pers.) were determined in both cartographic units, in order to evaluate their potentialities and limitations comparing yield obtained with the predicted yield using the general equation of regression that relates the crop yield with the IP. Statistical Analysis System (SAS) was used, in a totally randomized model. Highly significant differences were detected ($P < 0.01$) for the IP and the crop yield among both units. These differences evidence that soil variables have notable effects in the determination and consequently in the crop yield and that the properties of cartographic unit A.gc.5. fn-so are better than those in the unit A.er.4.fp.

Key words: Soil chemical properties, soil physical properties, yield, glaxis to dwell.

INTRODUCCIÓN

Una adecuada evaluación de la vocación de uso de las tierras agrícolas garantiza el éxito en su manejo conservacionista. En este sentido se han desarrollado modelos matemáticos de complejidad variable, con los cuales se estima la productividad a partir de las condiciones de suelo y cultivo bajo situaciones ambientales y de manejo definidas. El término productividad, cuando se refiere al suelo, se

expresa comúnmente en términos de rendimiento del cultivo en unidades de masa por unidad de superficie (NSE/SPRPC, 1981) y se define como la capacidad del suelo, en su ambiente normal, para producir un tipo particular de cultivo o secuencia de cultivos bajo un específico sistema de manejo (SCSA, 1982). Los modelos han sido usados desde fines de los años 60, como indicadores de tendencias y formas de predicción de comportamiento de fenómenos físicos, químicos, biológicos, económicos (López, 1991; De

Coursey, 1985). Así, se han realizado trabajos que van desde la evaluación de modelos de capacidad de retención de agua en los suelos, (Artigao *et al.*, 1998), modelos para predecir y estimar la pérdida de suelo por procesos de erosión hídrica (Kuznesov *et al.*, 1998), modelos para cuantificar los cambios químicos en los suelos (Ludwig *et al.*, 1998) hasta modelos destinados a desarrollos urbanísticos, y que al aplicarles las técnicas de modelación reflejan sus altos potenciales agrícolas. (Petersen *et al.*, 1998)

Kiniry *et al.*, (1983) desarrollaron un modelo de índice de productividad del suelo al que Pierre *et al.*, (1983) y Delgado (1997) hicieron algunas modificaciones. Este modelo evalúa el potencial de productividad del suelo en términos del ambiente que brinda el suelo para el crecimiento radical, basándose en sus atributos químicos, físicos y biológicos como humedad disponible, profundidad, resistencia al desarrollo radical, materia orgánica, reacción del suelo, aluminio intercambiable entre otros. Dada su importancia, este modelo fue el que se aplicó en esta investigación.

En la zona de la Baja Guajira, específicamente en el área de influencia del caserío el Tigre, municipio Páez del estado Zulia, se encuentra un desarrollo agrícola caracterizado por un sistema de producción de cultivos de ciclo corto, tales como: frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), melón (*Cucumis Melo* L.) y sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.). Los productores establecidos en el área de estudio han observado como áreas de siembra, sometidas a las mismas prácticas culturales, difieren notablemente en los rendimientos obtenidos por hectárea. Esto ha sido motivo de discusión ya que se desconocen las causas que ocasionan tales diferencias en la productividad.

Por lo antes planteado, se asumió la presente investigación con el objetivo de determinar si las diferencias observadas en los rendimientos son atribuibles a las variables del suelo y por consiguiente a su índice de productividad (IP), y así proponer el uso más conveniente para los suelos de esta zona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

La zona se encuentra entre las coordenadas geográficas 11°07'50"-11°09'57" Latitud Norte y 72°02'07"-72°04'17" de Longitud Oeste, correspondiente a la Baja Guajira, municipio Páez, estado Zulia, Venezuela.

Condiciones agroecológicas

La distribución de la lluvia es irregular en forma bimodal, definiéndose dos períodos, el primero de abril a junio y el segundo de agosto a noviembre con una media anual de 783,7mm. La lluvia es superada por la evaporación, la cual alcanza un promedio anual de 2.038mm con un promedio anual de temperatura de 28,4°C, correspondiendo a un clima sub-ecuatorial continental, bosque seco tropical y bosque muy seco tropical (Ewel y Madriz, 1976).

Geomorfología y suelos

Se seleccionaron dos unidades cartográficas, designadas como: A.gc.5.fn-so y A.er.4.fp. La unidad cartográfica A.gc.5. fn-so se originó de aportes coluviales y fluvicoluviales de la formación La Villa en posición de glaciares de explayamiento con una clasificación taxonómica de Ultic Paleustalfs, Francosa Fina, fase normal suavemente ondulada (Alvillar y Fernández, 1982). La unidad cartográfica A.er.4.fp, se originó de depósitos antiguos del caño Majayura en posición geomorfológico de explayamiento de ruptura, con una clasificación taxonómica de Ultic Haplustalfs, Francosa Gruesa (Fernández, 1980; Alvillar *et al.*, 1985). El régimen de humedad del suelo es Ustic marginal hacia Aridic con un régimen de temperatura isohipertérmica (Alvillar *et al.*, 1985).

Selección de sitios de muestreo

En ambas unidades cartográficas se ubicaron dos lugares de muestreo destinados al cultivo del sorgo. Esto se hizo sobre la base de estudios realizados en la zona (COPLANARH, 1974; Fernández, 1980; Alvillar *et al.*, 1985) y reconocimiento de campo. Se realizaron transectas en los lugares de muestreo, demarcadas con ayuda de brújula, ángulos de coordenadas, elementos del paisaje y construcciones. En cada transecta se ubicaron seis puntos de muestreo a 40 metros de separación y se recolectaron las muestras a cuatro profundidades (0-25 cm; 5-50 cm; 50-75 cm y 75-100 cm). A efectos de determinar el rendimiento del sorgo se utilizaron parcelas de cuatro hileras de cinco metros de largo y se cosecharon cuatro metros de los hilos centrales. La distancia entre hileras era de 0,5 metros y 15 plantas por metro en la hilera. Las parcelas estaban ubicadas en los lugares de muestreo.

VARIABLES DEL SUELO ESTUDIADAS

Para la obtención del IP, se tomaron muestras disturbadas y no disturbadas. En las primeras se utilizó un colector de muestra tipo Barreno (FAO, 1977) y se determinó: textura, pH del extracto de saturación (1:1), materia orgánica, contenido de humedad del suelo, capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, sodio, potasio y aluminio (A.O.A.C., 1955; Blake, 1965; Forsythe, 1975; Allison, 1965; Chapman, 1965; Bower y Wicox, 1965; Coleman *et al.*, 1959; Peech, 1965). En la toma de muestras no disturbadas se utilizó un muestreador tipo Uhland y se determinó la densidad aparente y las curvas de retención de humedad del suelo (Richards, 1965).

Modelo Índice de Productividad

Se aplicó la metodología desarrollada por Delgado (1997) para la determinación del IP. Este toma en consideración la capacidad de almacenamiento de agua útil, estructura, textura, densidad aparente y porcentaje de esqueleto grueso como las variables físicas del suelo más influyentes en la productividad; y la reacción del suelo, aluminio intercambiable y contenido de materia orgánica como las variables químicas que más influyen en la productividad. A continuación se describe la metodología:

El modelo presume que bajo similares condiciones de clima, cultivo y manejo, el rendimiento depende de las condiciones edáficas que propician un ambiente adecuado para el buen crecimiento radical y tiene la forma general siguiente:

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

Donde:

IP es el índice de productividad del suelo y tiene un valor entre 0 y 1, correspondiendo el valor 1 al suelo que presenta las mejores condiciones para el enraizamiento.

A_i evalúa las relaciones agua-aire del horizonte i a partir de la condición más limitante entre la capacidad de almacenamiento de agua útil (A_1) y la aireación del suelo (A_2).

B_i evalúa las condiciones mecánicas que favorecen la exploración radical del cultivo en el horizonte i a partir de la condición más limitante entre la compactación del suelo (B_1) y el contenido volumétrico de fragmentos gruesos (B_2).

C_i evalúa la fertilidad potencial del horizonte i a partir de la condición más limitante entre la reacción del suelo (C_1) y el aluminio intercambiable (C_2)

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

Todos estos parámetros se evalúan en cada profundidad hasta los 100 cm y en la escala 0 a 1, correspondiendo el valor 1 a la condición del parámetro que más favorezca el crecimiento radical del cultivo. Como se observa, cada uno de los parámetros, A_i , B_i y C_i esta compuesto a su vez por dos sub parámetros. Para calcular el IP se toma en consideración solamente el subparámetro respectivo más limitante, es decir, el parámetro adquiere el valor del subparámetro que tenga el menor valor en la escala 0 a 1.

Cada subparámetro se calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

Parámetro A: Relaciones agua-aire del horizonte i .

Subparámetro A_1 : capacidad de almacenamiento de agua útil (agua retenida con una succión entre -33 y -1500 KPa):

$$A_1 = 0,5 W \text{ para el rango } 0 \leq W \leq 20$$

$$A_1 = 1 \text{ si } W > 20$$

Donde:

A_1 = Valor del parámetro capacidad de almacenamiento de agua útil-

W = Contenido gravimétrico de agua útil

Subparámetro A_2 : condiciones de aireación del suelo

1. Suelo con estructura débil:

$$A_2 = 1,0 - 0,01 (\text{arc}) \text{ si } \text{arc} \leq 20\%$$

$$A_2 = 1,2 - 0,02 (\text{arc}) \text{ si } \text{arc} > 20\%$$

2. Suelo con estructura moderada:

$$A_2 = 1,0 - 0,0066 (\text{arc}) \text{ si } \text{arc} \leq 30\%$$

$$A_2 = 1,3 - 0,0160 (\text{arc}) \text{ si } \text{arc} > 30\%$$

3. suelo con estructura fuerte:

$$A_2 = 1,0 - 0,005 (\text{arc}) \text{ si } \text{arc} \leq 40\%$$

$$A_2 = 1,3 - 0,0133 (\text{arc}) \text{ si } \text{arc} > 40\%$$

Donde:

A_2 = Valor del subparámetro aireación del suelo.

arc = contenido de arcilla (%)

Parámetro B: Condiciones mecánicas que favorecen la exploración radical del horizonte i.

Subparámetro B_1 : compactación del suelo

1. Texturas finas (arcillosas, limosas finas):

$$B_1 = 3,6 - 2 (\text{Da}) \text{ si } 1,30 \leq \text{Da} \leq 1,40$$

$$B_1 = 9,6 - 6 (\text{Da}) \text{ si } 1,40 < \text{Da} \leq 1,60$$

2. Texturas medias (francas, limosas gruesas):

$$B_1 = 1,87 - 0,67 (\text{Da}) \text{ si } 1,30 \leq \text{Da} \leq 1,55$$

$$B_1 = 6,00 - 3,33 (\text{Da}) \text{ si } 1,55 < \text{Da} \leq 1,80.$$

3. Texturas gruesas (francas gruesas, arenosas):

$$B_1 = 1,52 - 0,40 (\text{Da}) \text{ si } 1,30 \leq \text{Da} \leq 1,80$$

$$B_1 = 8,00 - 4,00 (\text{Da}) \text{ si } 1,80 < \text{Da} \leq 2,00$$

$B_1 = 1$ si $\text{Da} < 1,30$ (para cualquier tipo de textura)

Donde:

B_1 = valor del subparámetro compactación del suelo.

Da = densidad aparente (Mg.m^{-3} ó g.cm^{-3})

Subparámetro B_2 : contenido volumétrico de fragmentos gruesos (diámetro equivalente o mayor de 2 mm).

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

Donde:

B_2 = valor del subparámetro contenido de fragmentos gruesos

G = fracción decimal de fragmentos gruesos (volumen)

r = coeficiente de la capacidad explorativa de las raíces.

Los valores del coeficiente r se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores del coeficiente r para el cálculo del subparámetro B_2 .

r	Capacidad explorativa	Tipo de cultivo
1,2	baja	hortalizas, raíces, tubérculos
0,8	moderada	cereales, oleaginosas leguminosas
0,6	alta	pastos
0,4	muy alta	árboles

Fuente: Delgado, 1997

Parámetro C: Fertilidad potencial del horizonte i

Subparámetro C_1 : reacción del suelo

$$C_1 = 0 \text{ si } \text{pH} < 2,8$$

$$C_1 = 0,5 (\text{pH}) - 1,35 \text{ si } 2,8 \leq \text{pH} \leq 4,5$$

$$C_1 = 0,45 + 0,1 (\text{pH}) \text{ si } 4,5 < \text{pH} \leq 5,5$$

$$C_1 = 1 \text{ si } 5,5 < \text{pH} \leq 7,0$$

$$C_1 = 1,905 - 0,130 (\text{pH}) \text{ si } 7,0 < \text{pH} \leq 8,5$$

$$C_1 = 4,2 - 0,4 (\text{pH}) \text{ si } 8,5 < \text{pH} \leq 10,5$$

$$C_1 = 0 \text{ si } \text{pH} > 10,5.$$

Donde:

C_1 = valor del subparámetro reacción del suelo.

pH = pH en el extracto de suelo - agua (relación 1:1).

Subparámetro C_2 : Saturación con aluminio intercambiable.

Si la materia orgánica es mayor o igual a 4 %

$$C_2 = 1 \text{ si } \text{SA} \leq 40 \%$$

$$C_2 = 1,666 - 0,01666 (\text{SA}) \text{ si } \text{SA} > 40 \%$$

Si la materia orgánica está entre 2,5 y 4 %

$$C_2 = 1,0033 - 0,000666 (SA) \text{ si } SA \leq 35 \%$$

$$C_2 = 1,55 - 0,01625 (SA) \text{ si } SA > 35 \%$$

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

$$C_2 = 1 - 0,001 (SA) \text{ si } SA \leq 30 \%$$

$$C_2 = 1,429 - 0,0157 (SA) \text{ si } SA > 30 \%$$

Cuando la materia orgánica es menor que 1%

$$C_2 = 1 - 0,002 (SA) \text{ si } SA \leq 25 \%$$

$$C_2 = 1,3 - 0,015 (SA) \text{ si } SA > 25 \%$$

$$C_2 = 1 \text{ si } SA = 0$$

Donde:

C_2 = valor del parámetro saturación con aluminio.

SA = saturación con aluminio intercambiable (%).

Cuando se conocen los valores de saturación con aluminio intercambiable y el pH del suelo es menor de 5,5 el subparámetro C_2 puede evaluarse a partir de los valores de materia orgánica y contenido de arcilla del horizonte respectivo. En este caso el subparámetro C_2 puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$C_2' = 1 - e^{-ax}$$

Donde:

C_2' = valor del subparámetro contenido de materia orgánica.

X = contenido de materia orgánica (%).

a = coeficiente de arcilla (Cuadro 2)

Cuadro 2. Valores del coeficiente de arcilla para el cálculo de subparámetro C_2 .

a	arcilla (%)
1,0	> 20
0,8	15 - 20
0,6	10 - 14
0,4	5 - 9
0,2	< 5

Fuente: Delgado, 1997

Parámetro K: Factor de ponderación de horizonte i.

Evalúa la importancia relativa del horizonte i del suelo para el cultivo y se calcula con la siguiente fórmula:

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

Donde:

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

X = Profundidad máxima del horizonte i (cm). Para el horizonte i considerado: $K_i = K_{acumulado}(i) - K_{acumulado}(i-1)$

Estimación del rendimiento del cultivo

El rendimiento se estimó a partir de la ecuación de tipo logarítmico que relaciona el IP y el rendimiento del cultivo mediante la siguiente fórmula:

$$Y = a + b \ln (IP)$$

Donde:

Y = rendimiento del cultivo ($kg\ ha^{-1}$).

IP = Índice de Productividad.

a y b = son coeficientes de ajuste, en este caso a = 4588,2 y b = 1427,2 para un nivel de manejo del cultivo del sorgo alto.

Análisis estadístico

En el análisis estadístico se empleó el Sistema de Análisis Estadístico (SAS), bajo un modelo completamente al azar con 2 tratamientos y 24 repeticiones. Los tratamientos correspondieron a las dos unidades cartográficas (A.gc.5.fn-so y A.er.4.fp). Se efectuaron GLM (Modelo Lineal Aditivo) para el análisis de varianza, y LSMEAN (Mínima Diferencia Significativa) en la separación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de productividad del suelo

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre los valores medios obtenidos del IP para ambas unidades cartográficas.

La unidad cartográfica A.gc.5.fn-so, presentó el mayor valor de IP (0,46); en contraste con la unidad cartográfica A.er.4.fp con un valor de IP igual a 0,35. Estas diferencias son atribuibles a las variables del suelo utilizadas en la obtención de los subparámetros y parámetros para la aplicación del modelo de IP.

En efecto, de acuerdo con el Cuadro 3, se aprecia que hubo diferencias altamente significativas entre la mayoría de los subparámetros y parámetros utilizados ($p < 0,01$), notándose que las mejores condiciones de las variables tanto físicas como químicas se presentaron en la unidad cartográfica A.gc.5.fn-so, lo cual explica su mayor IP. Los resultados indican que las variables del suelo empleadas en el modelo inciden directamente en el rendimiento del sorgo y que por lo tanto las propiedades edáficas de la unidad cartográfica A.gc.5.fn-so son mejores que las de la unidad A.er.4.fp, las cuales marcan las diferencias encontradas del IP entre ambas unidades cartográficas.

En este sentido, la clasificación de la productividad de los suelos, de acuerdo al IP presentada por Delgado (1997), es alta para las dos unidades cartográficas (Cuadro 4). Bajo estas condiciones sería recomendable una agricultura semi-intensiva, con amplia gama de cultivos, hasta dos cosechas de cultivo de ciclo corto al año, con prácticas moderadas de manejo de suelos. La relación de cultivos de ciclo corto por cada año de barbecho o descanso del suelo debe ser de 6:1 a 10:1.

En contraste, utilizando el sistema de evaluación de Tierras de la FAO (1990), de acuerdo con los datos del IP obtenido en ambas unidades cartográficas, el grado de aptitud para las dos

unidades cartográficas es moderadamente apto, donde se espera un rendimiento relativo entre 50 y 75 por ciento respecto al mejor suelo (Cuadro 5).

Rendimiento del cultivo

La evaluación de la productividad señala diferencias significativas ($P < 0,01$) entre el valor

Cuadro 5. Grados de actitud de la productividad del suelo (IP) como una cualidad de la tierra del sistema FAO para su aplicación en tierras montañosas

IP	Grado de aptitud	Rendimiento esperado respecto al mejor suelo (%)
< 0,50	muy apto a ₁	75-100
0,30-0,50	moderadamente apto a ₂	50-75
0,10-0,30	marginalmente apto a ₃	25-50
> 0,10	no apto n	>25

Fuente: FAO, 1990

Cuadro 4. Calificación de la productividad de los suelos de acuerdo al IP

IP	Productividad
> 0,10	baja
0,10 – 0,30	moderada
0,30 – 0,50	alta
<0,50	Muy alta

Fuente: Delgado, 1997

Cuadro 3. Valores medios de los subparámetros, parámetros e IP encontrados por unidad cartográfica (UC), según la profundidad (Prof.) de muestreo.

UC	Prof. (cm)	A1	A2	A	B1	B2	B	C1	C2	C	K	IP
A.er.4.fp	0 - 25	0,24 a	0,93 a	0,24 a	0,87 a	1	0,87 a	1	1	1	0,34	0,07
A.gc.5.fn-so	0 - 25	0,83 b	0,82 b	0,82 b	0,94 b	1	0,94 b	1	1	1	0,34	0,26
A.er.4.fp	25-50	0,40 a	0,93 a	0,40 a	0,84 a	1	0,84 a	0,94	1	0,94	0,25	0,08
A.gc.5.fn-so	25-50	0,92 b	0,58 b	0,58 b	0,06 b	1	0,06 b	1	1	1	0,25	0,01
A.er.4.fp	50 -75	0,66 a	0,78 a	0,66 a	0,72 a	1	0,72 a	1	1	1	0,24	0,11
A.gc.5.fn-so	50--75	0,84 b	0,86 b	0,84 b	0,36 b	1	0,36 b	1	1	1	0,24	0,07
A.er.4.fp	75-100	0,67 a	0,78 a	0,67 a	0,61 a	1	0,61 a	1	1	1	0,23	0,09
A.gc.5.fn-so	75-100	1,00 b	0,83 b	0,83 b	0,67 a	1	0,67 b	1	1	1	0,23	0,12

Valores con letras distintas en columnas difieren significativamente ($P < 0,01$)

promedio de rendimiento obtenido en ambas unidades cartográficas. El rendimiento fue mayor en la unidad cartográfica A.gc.5.fn-so que en la A.er.4.fp. Como es de esperarse el rendimiento del cultivo aumentó donde se encontró el mayor valor de IP (Cuadro 6).

Al comparar el rendimiento obtenido con el rendimiento estimado utilizando la ecuación general que relaciona el rendimiento y el IP, se observa que en la unidad cartográfica A.gc.5.fn-so el rendimiento obtenido es mayor (4150 kg ha⁻¹) que el rendimiento estimado (3480 kg ha⁻¹); mientras que en la unidad cartográfica A.er.4.fp, el rendimiento obtenido (3000 kg ha⁻¹) es menor que el rendimiento estimado (3090 kg ha⁻¹). No obstante, el modelo se ajusta a los datos reales obtenidos en campo y por lo tanto se puede validar en una primera aproximación. También se aprecia que el rendimiento estimado es mayor donde el IP es más elevado, lo cual refuerza dicha validación (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores promedios de IP y rendimiento del cultivo de las unidades cartográficas(UC)

UC	IP	Rendimiento obtenido (kg ha ⁻¹)	Rendimiento estimado (kg ha ⁻¹)
A.er.4.fp	0,35 a	3000 a	3090 a
A.gc.5.fn-so	0,46 b	4150 b	3480 b

Valores con letras distintas en columnas difieren significativamente (p < 0,01)

La diferencia en el rendimiento obtenido entre las unidades cartográficas es atribuible a los valores de los subparámetros correspondientes a la capacidad de almacenamiento de agua útil (A₁) y compactación del suelo (B₁). A través del perfil del suelo estudiado ambos subparámetros difieren estadísticamente entre las unidades cartográficas (Cuadro 3).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las variables de suelo evaluadas son responsables de las diferencias obtenidas en el rendimiento del cultivo del sorgo. No obstante, se debe realizar pruebas del crecimiento radical del cultivo y correlacionarlo con las variables edáficas empleadas en el modelo de IP, a fin de determinar las condiciones óptimas de estas variables para el buen crecimiento y desarrollo radical del cultivo.

Los valores del IP en ambas unidades cartográficas reflejan que los suelos presentan buenas condiciones físicas y químicas para el desarrollo del cultivo, siendo mejores en la unidad cartográfica A.gc.fn-so. La capacidad de almacenamiento de agua útil y la compactación del suelo fueron los parámetros de mayor peso sobre las diferencias encontradas en el IP.

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. 1955. Official Methods of Analysis. 8th ed. Washington. D.C. H. A. Lepper. 597 p.
- Alvillar, S. E. y L. W. Fernández. 1982. Estudio de Suelos semidetallado Baja Guajira. Sector Guana – Rancho Grande – Camama. Dtto, Páez Edo Zulia. MARNR. Serie de Informes Científicos, zona 5/IC/18. p. 5-16, 58, 64, 89- 91, 110, 114, 122, 132-138
- Alvillar, E.; L. Labarca y A. Vargas. 1985. Estudio semidetallado de suelos del polígono siderúrgico. MARNR. Zona 5. Maracaibo
- Allison, L. E. 1965. Organic Carbon *In*: C.A.Black Ed. Methods of Soils Analysis. Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy, p. 1367-1378
- Artigao, A.; J. F. Ortega, R. Guardado y J. I. Tebar. 1998. Evaluación de diversos modelos de retención de agua en suelos de Castilla–La Mancha España. *In*: 16th World Congress of Soil Science. Montpellier-Francia. Scientific registration N° 977
- Blake, C. R. 1965. Bulk density. *In*: Black, C. A. ed. Methods of Soil Analysis. I, physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison. Wisconsin. American Society of Agronomy Journal, 9: 374-390
- Bower, C. and L. Wilcox. 1965. Soluble Salt. *In*: C: A. Black; Evans, D: D; White, J. L.; Ensminger, L. E; Clark, F. E. (EDS); Methods of soil analysis. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin, p. 914-926
- Chapman, H. 1965. Cation Exchange Capacity. *In*: C. A. Black; Evans, D. D; White; J. L; Ensminger, L. E; Clark, F. E. (EDS); Methods of soil analysis. American Society of Agronomy Journal. Madison, Wisconsin, p. 891-901

- Coleman, N. T.; S. B. Weed and R. J. McCracken. 1959. Cation-exchange capacity and exchangeable cations in Piedmont soils of North Carolina: Soil Sei. Soc. Amer. Prec., 23: 146-149.
- Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH). 1974. Inventario Nacional de Tierras. Región del Lago de Maracaibo, Publicación N° 34. Caracas,
- De Coursey, D. C. 1985. Mathematical models for non point water pollution control. Journal of Soil and Water Conservation 40: 408-413.
- Delgado, F. 1997. Sistema para la evaluación y clasificación de tierras agrícolas y prioridades de conservación de suelos en áreas montañosas tropicales. Series Suelos y Clima, Publicación SC-73. CIDIAT, Mérida
- Ewel L. y J. Madriz, 1976. Zonas de vida de Venezuela. Ministerio del Agricultura y Cría. Editorial Sucre. Caracas. Venezuela
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1977. Guía para la descripción de perfiles de suelos. Servicio de fomento y conservación del recurso suelo. Segunda Edición: Roma, 70 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1990. Directivas de evaluación de tierras para la agricultura en secano. Boletín de suelos N° 52. Roma.
- Fernández, L. W. 1980. Estudio de Suelos Semidetallado Baja Guajira, sector Carrasqueño-Copetamama-Los melones, Dtto Páez, Edo. Zulia. MARNR. Serie Informes Científicos, zona 5/IC/10, p. 6-10.
- Forsythe, W. 1975. Física de Suelos. Manual del Laboratorio. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica.
- Kiniry, L, C. Scrimner and M. Keener. 1983. A soil productivity index based upon predicted water depletion and root growth. Research Bulletin 1051. University of Missouri. Columbia.
- Kusnetsov, M.; V. Gendugov and A. Fless. 1998. Modeling of water erosion. *In*: 16th World Congress of Soil Science. Montpellier-Francia. Scientific registration. N° 1270.
- López, R. 1991. Erosión y Productividad del Suelo. Serie suelos y clima Publicación. SC-66 CIDIAT, Mérida.
- Ludwig, B; J. Prenzel and P. Khanna. 1998. Modeling of cation in some acid subsoil from different acid input areas. *In*: 16th World Congress of Soil Science. Montpellier-Francia. Scientific registration N° 1122.
- National Soil Erosion-Soil Productivity Research Planning Committee (NSE/SPRPC). 1981. Soil erosion effects on soil productivity: A research perspective. Journal of Soil and Water Conservation. 36: 82-90.
- Peech, N. 1965. Hydrogen ion activity. *In*: C. A. Black; Evans, D. D; White, J. L; Clark, F. E. (EDS); Methods of soil analysis. American Society of Agronomy Madison. Wisconsin, p. 914-926.
- Petersen, G. W.; E. Nizeyimana, M. L. Imhoff and W. T. Lawrence. 1998. Assessing soil productivity losses due to urbanization using remote sensing and soil productivity models. *In*: 16th World Congress of Soil Science. Montpellier-Francia. Scientific registration N° 252.
- Pierre, F.; W. Larson, R. Dowdy and W. Graham. 1983. Productivity of soils. Assessing Long-Term changes due to erosion. Journal of Soil and Water Conservation. 38: 39-44.
- Richards, L. 1965. Physical condition of water in soil. *In*: C. A. Black; Evans, D. D; White, J. L; Ensminger, L. E; Clark, F. E. (EDS); Methods of soil analysis. American society of agronomy. Madison. Wisconsin, p. 128-152.
- Soil Conservation Society of American (SCSA). 1982. Resource conservation glossary. Ankey, Iowa, USA.