

ANÁLISIS DE BRECHA DE RENDIMIENTO DE MAÍZ EN PARCELAS COMERCIALES.

Elena Vera¹, Jesús Viloria², Ricardo Ramírez² y Rosana Figueroa³

¹Decanato de Agronomía; Núcleo Héctor Ochoa Z. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Tarabana, edo. Lara, evera@ucla.edu.ve. ²Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Universidad Central de Venezuela, Maracay, edo. Aragua, jesus.viloria@gmail.com, abisam28@gmail.com, ³Facultad de Agronomía, Instituto de Ingeniería Agrícola, Universidad Central de Venezuela, Maracay, edo. Aragua figueroar@agr.ucv.ve

RESUMEN

Para conocer las causas que limitan el rendimiento de maíz, se propuso un análisis comparativo del rendimiento para identificar y cuantificar factores de suelo y de manejo responsables de la brecha de rendimiento en parcelas comerciales localizadas en la Colonia Agrícola Turén. Se aplicó un análisis de regresión lineal múltiple a pasos y se generó una función cuantitativa que logró explicar el 53 % de la variabilidad del rendimiento. Las variables de suelo que explicaron la brecha fueron: fósforo disponible (63%), potasio disponible (1%) y porcentaje de arcilla (8%). Las variaciones en el contenido de arcilla fueron indicadoras de diferencias en posiciones geomorfológicas y condiciones de drenaje. De las variables de manejo agronómico, las dosis de nitrógeno y de potasio explicaron un 23 % y un 4% respectivamente. Las aplicaciones de nitrógeno aumentaron el rendimiento de maíz, mientras que las altas dosis de potasio parecen reducirlo.

Palabras claves: potasio disponible; regresión múltiple a pasos, limitantes del rendimiento.

INTRODUCCIÓN

Entre los años 1990 y 2007, el rendimiento promedio de maíz aumentó de 1863 kg ha⁻¹ a 3400 kg ha⁻¹ (INN, 2010) el cual varía según la zona productora pero es muy inferior al obtenido en parcelas experimentales (7500 kg ha⁻¹). Esta diferencia indica que existe un aprovechamiento del potencial genético de apenas 53% (Alfaro *et al.*, 2007), que se traduce en un amplio margen de brecha entre los rendimientos comerciales y experimentales.

El presente estudio se orientó a la evaluación comparativa del rendimiento de maíz para identificar cuáles son los factores claves de manejo y de suelo que limitan el rendimiento de maíz, producido como cultivo principal, en parcelas comerciales, ubicadas en la Colonia Agrícola Turén del estado Portuguesa. El análisis de brecha de rendimientos (Driessen, 1997) es usado para identificar y jerarquizar los factores que pueden explicar las diferencias en el rendimiento de un cultivo bajo distintos niveles o tipos de manejos agronómicos y definir cuantitativamente funciones que expliquen los factores responsables de dichas diferencias (De Bie, 2003). Este método puede usarse para comparar situaciones de producción comercial con la producción potencial de un cultivo en un sitio dado (Zinck *et al.*, 2000; De Bie, 2004; Boling *et al.*, 2010).

De Bie (2000) propuso la automatización del análisis de brecha de rendimiento utilizando el análisis de regresión múltiple a pasos (STEPWISE) con la finalidad de identificar las principales limitantes del rendimiento usando criterios estadísticos que permitieran identificar y seleccionar a partir de una base de datos, un conjunto de variables que

explicaran las diferencias en rendimiento. Este método posteriormente fue propuesto por Lecomte (2005) como una herramienta automatizada que podría ser utilizada en los programas locales de mejoramiento genético de plantas y los servicios de extensión agrícola para la toma de decisiones. Ya que permite identificar los factores responsables de las brechas de rendimientos y cuantificar la contribución individual de cada factor a la brecha total (Barbottin *et al.*, 2005).

Whittingham *et al.* (2006) enfatizaron en las limitaciones del *STEPWISE*, un primer problema reportado fue que el resultado dependía del procedimiento usado para la selección de las variables. Otra limitante fue que los modelos estaban restringidos a la base de datos que se tenía. Y por último las funciones de producción identificadas no pueden ser extrapoladas más allá de las situaciones de la producción actual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se partió de la información sobre manejo agronómico, variables de suelo y rendimiento de maíz, de 69 parcelas comerciales localizadas en la Colonia Agrícola de Turén y financiadas por ASOPORTUGUESA (Asociación de Productores Rurales del Estado Portuguesa) correspondiente al período de lluvias del año 2001. A los datos de rendimiento se le realizaron pruebas de normalidad. Todas las variables fueron sometidas a análisis de estadísticos descriptivos. A los fines de cuantificar la relación entre las variables de manejo agronómico y de suelo (variables independientes) y el rendimiento de maíz (variable dependiente) se realizó un análisis de regresión múltiple a pasos para encontrar el (los) modelo(s) que mejor explicaran cuáles variables tenían mayor efecto sobre el rendimiento y cuál era su grado de influencia sobre la brecha rendimiento.

La función de producción empleada, fue la sugerida por De Bie (2000):

$$\text{Rendimientos} = f(XL1, XL2, \dots, XLx; XU1, XU2, \dots, XUx)$$

Donde el rendimiento es la variable dependiente y XLi y XUi , son las variables independientes relacionadas con las variables de suelo y manejo.

La participación de cada factor de riesgo, no solamente está definida por su contribución parcial dentro del coeficiente de determinación (R^2), sino también por el coeficiente que lo acompaña en la ecuación, el cual se denomina factor de ponderación de cada variable (De Bie, 2000). Dicho factor de ponderación, fue utilizado para establecer el aporte individual de cada variable a la brecha total de rendimiento. El procedimiento seguido fue:

- a.- Los valores promedios de cada variable, responsable de las variaciones del rendimiento y los valores de esas mismas variables correspondientes a la parcela con los más altos rendimientos fueron multiplicados por el factor de ponderación.
 - b.- El aporte individual de cada variable a la brecha de rendimiento se obtuvo de la diferencia entre los valores calculados anteriormente.
 - c.- La brecha estimada resultó de la sumatoria de las brechas parciales.
 - d.- El porcentaje de participación de cada variable a la brecha real fue determinado relacionando el aporte individual de cada variable a la brecha estimada con la brecha real.
- Para cada una de las ecuaciones resultantes del análisis de regresión paso a paso, se calculó la brecha de rendimientos y posteriormente se estimó el grado de participación de cada variable en la brecha total.

RESULTADOS

Los datos de rendimiento, en el grupo de parcelas estudiadas, presentaron una distribución normal (*Test Shapiro-Wilk*, $W = 0,96$, $\text{Prob} < 0,2$), con un promedio de 4.344 kg ha^{-1} , una desviación estándar de 1.046 kg ha^{-1} y un coeficiente de variación de 23 %. Los estadísticos descriptivos de las variables estudiadas, son mostrados en el Cuadro 1.

En los suelos estudiados se observó un predominio de la fracción limosa lo que le transmite un carácter de inestabilidad de los agregados de suelo, que tiende a favorecer su destrucción por el uso excesivo de maquinaria pesada y desmejora la relación agua - aire (Lobo *et al.*, 1997; Lozano *et al.*, 1997b, León, 2007).

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de las variables: rendimiento en kg ha^{-1} , % de limo, arcilla y materia orgánica, pH, mg kg^{-1} de fósforo y potasio y dosis de nitrógeno, fósforo y potasio aplicadas al suelo en kg ha^{-1} .

Variables	Valores		
	Promedio	Mínimo	Máximo
Rendimiento (kg ha^{-1})	4.344	1.907	6.194
% de Limo*	43,23	21,30	60,80
% de arcilla*	29,12	11,30	54,80
% de MO*	2,52	1,00	5,00
pH*	6,77	5,10	8,20
Fósforo*(mg kg^{-1})	20,10	2,00	44,00
Potasio*(mg kg^{-1})	74,10	7,10	240,00
Dosis de Nitrógeno	151,58	101,50	216,00
Dosis de Fósforo	55,07	30,00	83,20
Dosis de Potasio	73,78	38,40	123,00

*Profundidad de muestreo: 0 – 20 cm

Los contenidos de materia orgánica, en promedio fueron de medios a bajos. Lozano *et al.* (1997a) reportaron que los bajos contenidos de carbono orgánico son la principal limitante de fertilidad de estos suelos.

La reacción del suelo, varió desde moderadamente ácida hasta moderadamente alcalina. Esta variación en el pH del suelo pudiera estar asociada con el material parental, con la edad relativa de las posiciones fisiográficas presentes en la zona y con las aplicaciones de grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados (Unger, 1991).

Tanto en los contenidos de potasio como los de fósforo disponible, se observó una alta variación, la cual está relacionada con el origen aluvial de estos suelos (Gásperi y Graterol, 1973; Lozano *et al.*, 1997a).

El Cuadro 2, presenta los resultados de una función de producción obtenida por medio del análisis de regresión múltiple paso a paso. El modelo obtenido explicó la variabilidad del rendimiento de maíz a partir de 5 variables independientes, ellas fueron: fósforo y potasio disponible, porcentaje de arcilla y las dosis de nitrógeno y potasio aplicadas al suelo.

Cuadro 2. Parámetros del modelo de regresión múltiple que relaciona el rendimiento de maíz con variables de manejo agronómico y de suelo.

Variable dependiente: Rendimientos: kg ha^{-1}			
N = 69			
Rendimiento Promedio = 4.344 kg ha^{-1}			
Error Estandar = 704 kg ha^{-1}			
Variables	Coefficientes	R ² parcial	R ² Prob

	Intercepto	4.331,8			
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	31,77		0,19	0,19	0,001
Potasio disponible(mg kg ⁻¹)	-6,33		0,19	0,38	0,000
Arcilla (%)	-26,13		0,07	0,46	0,016
Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹)	7,39		0,05	0,51	0,038
Dosis de potasio (kg ha ⁻¹)	-7,01		0,03	0,53	0,112

La función resultante fue:

$$Y = 4331,8 + 31,8P - 6,33K - 26,13ARC + 7,39 DN - 7,01DK$$

Donde:

P = Fósforo disponible (mg kg⁻¹)

K = Potasio disponible (mg kg⁻¹)

ARC = % de arcilla

DN = Dosis de nitrógeno en kg ha⁻¹

DK = Dosis de potasio en kg ha⁻¹

El 53 % de la variabilidad del rendimiento de maíz fue explicada por este modelo, con un error estándar de 704 kg ha⁻¹. De acuerdo a la ecuación, en aquellos suelos con mayores contenidos de fósforo disponible, el rendimiento se vio favorecido. Igualmente el rendimiento disminuyó con el aumento en el contenido de arcilla en el suelo, lo cual puede estar relacionado con una reducción de la disponibilidad de oxígeno de estos suelos en la temporada de lluvias. El modelo indicó un efecto negativo de los contenidos de potasio disponible sobre los rendimientos, este efecto, de acuerdo a Gásperi y Graterol (1973) podría estar asociado al hecho de que los suelos con los valores más altos de potasio disponible deben estar ubicados en posiciones de cubeta de desborde, con altos contenidos de potasio pero con un horizonte B gleizado que disminuye la disponibilidad de oxígeno y limita la disponibilidad de los nutrientes.

Las aplicaciones de nitrógeno al suelo aumentaron el rendimiento de maíz, mientras que las altas dosis de potasio parecen reducirlo.

Esta ecuación se utilizó para cuantificar la contribución de cada variable a la brecha entre los rendimientos. La brecha estimada de rendimientos fue de 1.003 kg ha⁻¹ (Cuadro 3). El porcentaje de participación del fósforo disponible fue de 63%, el del potasio disponible fue 1%, el porcentaje de arcilla (muy relacionado con la posición geomorfológica) fue del 8%. Asimismo, la aplicación de nitrógeno contribuyó en un 23 % y la de potasio en un 4 % (Figura 1).

Cuadro 3. Estimación de la brecha de rendimiento en parcelas comerciales de maíz.

Variables	Coeficientes (a)	Valores Medidos (b)		a * b		Brechas
		Promedio	Mejor	Promedio	Mejor	
Constante	4.331,8					
Fósforo disponible (mg kg ⁻¹)	31,77	20,10	40	638,50	1270,7	632,15
Potasio disponible (mg kg ⁻¹)	-6,33	74,10	76	-468,85	-480,87	12,02
% de arcilla	-26,13	29,12	26	-760,87	-679,75	81,52
Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹)	7,39	151,58	120	1120,2	886,82	233,38
Dosis de potasio (kg ha ⁻¹)	-7,01	73,78	80	-517,27	-560,88	43,61
	Rendimiento Actual en kg ha⁻¹			4.344	6.400	

Brecha de rendimiento estimada en kg ha⁻¹	1.003
Rendimiento experimental en kg ha⁻¹	7.231

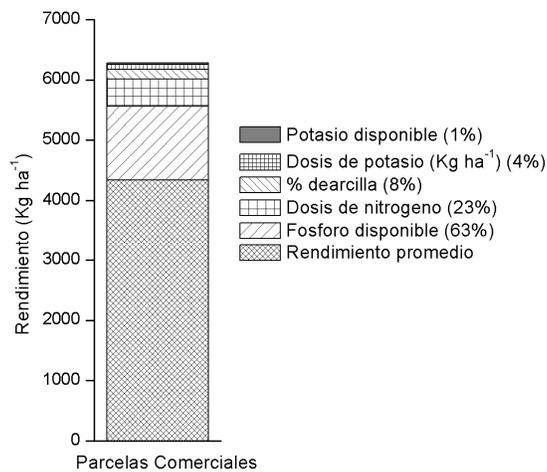


Figura 1. Brecha de rendimiento de maíz en parcelas comerciales. Colonia Agrícola Turén, estado Portuguesa.

Estos resultados confirmaron que la variabilidad espacial del suelo, producto de su origen aluvial y de las diferentes posiciones geomorfológicas existentes en la zona de estudio, influyeron sobre el rendimiento de maíz. Las parcelas con suelos más arcillosos tienen menores rendimientos de maíz, no tanto por el mayor contenido de arcilla sino porque tienden a ocupar posiciones relativas más bajas en el paisaje, con mayores restricciones de drenaje. De esta manera, existe una limitación natural de los suelos ubicados en posiciones de napa baja y cubeta a la producción de maíz en esta zona.

Se observó también una alta relación entre el fósforo disponible y el rendimiento de maíz, pero se debe estudiar el origen de los altos contenidos de este elemento, si están asociados al material parental o si es un efecto residual de fertilizaciones previas. El potasio pareciera ser el elemento más crítico en su relación con el rendimiento de maíz en Turén. Asimismo, se confirmó la importancia de garantizar una buena suplencia de nitrógeno al suelo para obtener altos rendimientos de este cultivo.

CONCLUSIONES

La brecha de rendimiento fue explicada por la disponibilidad de fósforo y potasio y el contenido de arcilla en el suelo y por las dosis de nitrógeno y potasio aplicadas. Las variaciones en el contenido de arcilla fueron indicadoras de diferencias en posiciones geomorfológicas y condiciones de drenaje del suelo.

BIBLIOGRAFIA

- Alfaro, Y.; H. Fernández; V. Segovia. 2007. Perspectivas de la producción de maíz ante la coyuntura de su uso como biocombustible. En: Memorias de XIII Curso sobre producción de Maíz. INIA - ASOPORTUGUESA. Araure, Portuguesa.
- Barbottin, A.; C. Lecomte; C. Bouchard; M. Jeuffroy. 2005. Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental effects. *Crop Sci.* 45:1141-1150.

- Boling, A.; T. Tuong; H. Keulen; B. Bouman; H. Suganda; J. Spiertz. 2010. Yield gap of rainfed rice in farmers' fields in Central Java, Indonesia. *Agricultural Systems* 103: 307-315.
- De Bie, C. 2000. Comparative Performance Análisis of Agro-Ecosystems. PhD Thesis. Wageningen University. The Netherlands. 232p In: <http://www.ITC.NL/education/larus/landuse>. Obtenido el 15 de mayo de 2004 .
- De Bie, C. 2003. Yield Gap studies through comparative performance evaluation. Commission VII, Working Group VII/2.1 on Sustainable Agriculture, Pre-Symposium Tutorial. ITC, Enschede, The Netherlands. 11p.
- De Bie, C. 2004. The yield gap of mango in Phrao, Thailand, as investigated through comparative performance evaluation. *Sci. Hortic.* 102: 37-52.
- Driessen, P. M., 1997. Biophysical sustainability of land use systems. *ITC Journal*, Enschede, the Netherlands. pp. 243-247.
- Gásperi, R.; L. Graterol. 1973. Estudio de Suelos semidetallado. Unidad Agrícola de Turén. Primer avance. MOP. Dirección General de Recursos Hidráulicos. 54 p.
- Instituto Nacional de Nutrición (INN). Hojas de balance de alimentos 2002 – 2009. [Versión electrónica]. Vol 015, N° 015. <http://www.inn.gob.ve/pdf/sisvan/hba2005.pdf>. Obtenido el 11 de marzo de 2010.
- Lecomte, C. 2005. L'évaluation expérimentale des innovations variétales. Proposition d'outils d'analyse de l'interaction génotype-milieu adaptés à la diversité des besoins et des contraintes des acteurs de la filière semences. Doctoral dissertation. Agro Paris Tech, Paris, France. 19 p.
- León, M. 2007. Condición física y productividad del suelo en sistemas de maíz en Turén: diseño del manejo sostenible de la tierra mediante simulación agroambiental. Tesis doctoral. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. 175 p.
- Lobo, D.; Z. Lozano; I. Pla. 1997. Limitaciones físicas para la penetración de raíces de maíz (*Zea mays* L) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.) en cuatro suelos de Venezuela. *Venesuelos* 4:19-24.
- Lozano, Z.; Cabrera, S.; Peña, J.; Adams, M. 1997a. Efecto de los sistemas de labranza sobre dos inceptisoles de los llanos occidentales de Venezuela. I. Propiedades químicas de los suelos. *Venesuelos* 5: 14-24.
- Lozano, Z.; Cabrera, S.; Peña, J.; Adams, M. 1997b. Efecto de los sistemas de labranza sobre dos inceptisoles de los llanos occidentales de Venezuela. II. Propiedades físicas de los suelos. *Venesuelos* 5: 25-33.
- Unger, P. 1991. Organic Matter, Nutrient, and pH Distribution in No- and Conventional-Tillage Semiarid Soils. *Agron. J.* 83:186-189
- Whittingham, M.; P. Stephens; R. Bradbury; R. Freckleton. 2006. Why do we still use stepwise modelling in ecology and behaviour? *J. Anim. Ecol.* 75: 1182-1189.
- Zinck, J.; J. Berroteran; A. Farshad; A. Moameni; S. Wokabi; E. Van Ranst. 2000. Approaches to assessing sustainable agriculture. In Proceedings International Symposium "Geography for the Third Millenium". UNAM, México. 22 p.