

ESTIMACIÓN Y PRONÓSTICO DEL RENDIMIENTO DE CAMPO EN PARCELAS EXPERIMENTALES Y ÁREAS DE PRODUCCIÓN COMERCIAL DE LA CAÑA DE AZÚCAR

ESTIMATE AND FORECAST PERFORMANCE FIELD IN EXPERIMENTAL PLOTS AND AREAS OF PRODUCTION COMMERCIAL SUGAR CANE

Nelson Milanés Ramos¹, Adolfo Castillo Morán², José M. Mesa Lopez¹, Agustín Herrera Solano², Daniel A. Rodríguez Lagunes², Juan J. Vázquez Condado³ y Jesús Tinoco Camarillo⁴

¹ Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, La Habana, Cuba.
milanes141147@gmail.com

² Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Campus Peñuela. Universidad Veracruzana
adcastillo@uv.mx

³ Ingenio Central Progreso, S. A. de C. V., Veracruz, México.

⁴ Ingenio Central Motzorongo, S. A. de C. V., Veracruz, México.

RESUMEN

La estimación y el pronóstico del rendimiento de campo, en experimentos comparativos de cultivares de caña de azúcar y en áreas de producción comercial, han constituido un trabajo difícil y laborioso en todo el proceso que antecede la cosecha de este cultivo, por la necesidad de disponer de métodos rápidos y lo suficientemente precisos que satisfagan los requerimientos de la búsqueda de nuevos genotipos en el primer caso y la proyección y ejecución de zafras eficientes en los ingenios azucareros. Para buscar los métodos anteriormente señalados se consideraron los siguientes estudios: 1) Búsqueda de métodos para la estimación del rendimiento de campo en parcelas experimentales con cultivares de caña de azúcar, 2) Pronóstico del rendimiento de campo sobre la base de variables de manejo, suelo y condiciones climáticas en los Ingenios Central progreso, S. A. de C. V., y Central Motzorongo, S. A. de C. V. en Veracruz, México y 3) Determinación de un método para la estimación del rendimiento de campo en áreas de producción comercial de la caña de azúcar.

Para buscar los objetivos propuestos, en el primer caso, se ensayaron nueve métodos de estimación del rendimiento de campo en tres experimentos comparativos con cultivares de caña de azúcar y se compararon con el pesaje de cada parcela experimental en particular y posteriormente, el mejor método obtenido, se evaluó en mas de 60 experimentos de campo, durante varios años, en Cuba. Para el segundo caso se evaluaron las 27 variables disponibles, que se relacionan con el rendimiento de campo, en ambos ingenios de México y se obtuvieron las ecuaciones teóricas con las principales variables que pueden pronosticar el rendimiento de campo en áreas de producción comercial. Finalmente, para el tercer caso, se determinó un método para estimar el rendimiento de campo en parcelas de producción comercial, sin muestreo destructivo y de fácil aplicación por los productores, con el apoyo del personal técnico de los ingenios, alcanzando un alto grado de precisión y exactitud; el método propuesto se aplicó extensivamente de en toda la superficie de abasto de tres ingenios azucareros de Mayabeque, Cuba, durante tres años.

Palabras claves: Caña de azúcar, estimación del rendimiento de campo, pronóstico de producción agrícola

SUMMARY

The estimation and forecasting field performance in comparative experiments of cultivars of sugarcane and commercial production areas, have been a difficult and laborious work throughout the process that precedes the harvest this crop, the need for fast and accurate enough methods that meet the requirements of the search for new genotypes in the first case and the design and implementation of efficient harvests in sugar mills. 1) Search methods for estimating the performance of field experimental plots with cultivars of sugarcane, 2) Forecast field performance based on management variables, soil: To find the above mentioned methods the following studies were considered and climatic conditions in the sugar mill “Central Progress, S. A, of C. V.”, and sugar mill “Central Motzorongo, S. A, of C. V.”, in Veracruz, Mexico; and 3) Determination of a method for estimating field performance in areas of commercial production of sugar cane.

To search the goals, in the first case, nine methods of yield estimation field tested in three comparative experiments with cultivars of sugarcane and compared with the weighing of each experimental plot in particular and then the best method obtained it was evaluated in more than 60 field experiments for several years in Cuba. For the second case the 27 variables available which relate to the field performance in both mills in Mexico and theoretical equations with the main variables that can predict field performance in commercial production areas were obtained were evaluated. Finally, for the third case, a method for estimating the performance of field plots commercial production, without destructive sampling, and easily applied by producers, supported by the technical staff of the mills was determined, reaching a high degree of accuracy and accuracy; the proposed method is extensively applied to the entire surface of three sugar mills in “Mayabeque” province, Cuba, for three years.

Keywords: Sugarcane, yield estimation field, crop production forecast

INTRODUCCIÓN

El rendimiento de campo en el cultivo de la caña de azúcar, es el indicador que mide la productividad por unidad de superficie, este indicador está influenciado por un sin número de variables que a lo largo del cultivo tienen su efecto en los resultados finales. Para los ingenios que cultivan en condiciones de temporal, los rendimientos dependen completamente de los factores climáticos, de suelo y de manejo del cultivo, ya que las labores más importantes que se realizan están condicionadas por la presencia de humedad, fertilidad de los suelos, así como la época de cosecha, donde se debe tener un clima con pocas lluvias para poder desalojar la superficie sin problemas de rezago e impurezas, (Tinoco, 2010).

La determinación del rendimiento de campo constituye un trabajo difícil y laborioso en todo el proceso que antecede la cosecha de la caña de azúcar, tanto para la búsqueda de nuevos cultivares en parcelas experimentales, como en la producción comercial de este cultivo para la proyección y ejecución eficiente de las zafras en los ingenios azucareros, de ello, la necesidad de disponer de métodos de estimación y pronóstico del rendimiento de campo, rápidos y lo suficientemente precisos, que satisfagan los requerimientos de investigadores, productores y empresarios. Para buscar los métodos anteriormente señalados se consideraron los siguientes estudios:

- 1) Búsqueda de métodos para la estimación del rendimiento de campo en parcelas experimentales con cultivares de caña de azúcar, Central Héctor Molina, Mayabeque, Cuba.
- 2) Pronóstico del rendimiento de campo sobre la base de variables de manejo, suelo y condiciones climáticas en los Ingenios Central progreso, S. A. de C. V., y Central Motzorongo, S. A. de C. V. en Veracruz, México.
- 3) Determinación de un método para la estimación del rendimiento de campo en áreas de producción comercial de la caña de azúcar, Central Héctor Molina, Mayabeque, Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estimación del rendimiento de campo en parcelas experimentales de caña de azúcar.

Con esta finalidad se seleccionaron tres experimentos comparativos de cultivares de caña de azúcar (Central Héctor Molina, Mayabeque, Cuba), en ciclos: planta, soca y resoca, con 14, 12 y 20 cultivares cada uno y edades de 16, 12 y 11 meses de edad respectivamente, con parcelas neta de 4 surcos de 10 metros de longitud; en los tres experimentos existían condiciones adecuadas para realizar las mediciones de las variables evaluadas con exactitud, según los términos propuesto por Milanés, 1978; realizando el conteo de población por surcos en cada parcela y se extrajeron dos muestras de 10 tallos, tomados al azar en toda el área neta de la parcela, las cuales se pesaron; posteriormente se realizó la cosecha por pesaje, tal y como se efectúa normalmente. Sobre la información obtenida se aplicaron los siguientes métodos de estimación: I) Conteo de un surco exterior de la parcela y pesaje de 10 tallos, II) Conteo de un surco interior de la parcela y pesaje de 10 tallos, III) Conteo de un surco exterior de la parcela y pesaje de 20 tallos, IV) Conteo de un surco interior de la parcela y pesaje de 20 tallos, V) Conteo de dos surcos, uno interior y otro exterior de la parcela y pesaje de 10 tallos, VI) Conteo de dos surcos, uno interior y otro exterior de la parcela y pesaje de 20 tallos, VII) Conteo de cuatro surcos y pesaje de 10 tallos, VIII) Conteo de cuatro surcos y pesaje de 20 tallos y IX) Cosecha de la parcela por pesaje. Aplicando cada uno de los métodos se calculó el peso de las parcelas en los tres experimentos, evaluándose en cada uno las diferencias de las medias entre métodos por un análisis de varianza de doble clasificación, con cuatro repeticiones. Además se calcularon los errores típicos y sus variaciones por cada método; con posterioridad se evaluó el comportamiento de la media y el error típico en todos los experimentos de forma general, tratándose cada experimento como una repetición de los métodos, o sea el comportamiento de estos a través de todas las fuentes de variación.

Pronóstico del rendimiento de campo en áreas de producción de caña de azúcar.

Se tomaron los registros históricos de las estaciones meteorológicas ubicados en el área de influencia del ingenio Central Motzorongo, S. A. de C. V., los que indican que aunque el clima es cálido, se presentan tres variantes bien definidas que son: cálido húmedo con más de 2000 mm anuales, cálido de humedad intermedia con una precipitación de 1400 a 1900 mm anuales, y cálido seco de 1100 a 1400 mm., (Pantaleón, 2009). Para determinar la relación de las precipitaciones y las principales variables del suelo con el rendimiento de campo y el contenido del porcentaje de sacarosa, se procedió a construir una matriz de datos con las variables relacionadas en el cuadro 1.

Las variables correspondientes a las precipitaciones se tomaron durante el período del 2002 al 2009, en cada uno de los pluviómetros establecidos en la Red de estaciones pluviométrica en toda la zona de influencia del Ingenio Central Motzorongo, S. A. de C. V. (Tinoco, 2010), y se calcularon los promedios para cada una de las tres zonas en que quedó dividida el área de abasto, en ellas se promediaron los resultados obtenidos en el estudio de suelo (SUCROMER, 2003), y los valores alcanzados en los rendimientos de campo y el porcentaje de sacarosa durante ocho zafras durante el periodo 2002-2009 (CNIAA, 2012). A la matriz de datos iniciales, conformada por 26 variables y 24 individuos, se le aplicaron sucesivos Análisis de Componentes Principales, utilizando el paquete estadístico “Statistica” y las aplicaciones de Excel de office para las regresiones múltiples. Para el caso del Ingenio Central Progreso, S. A. de C. V., se utilizó la misma metodología pero relacionando toda la información a los 10 pluviómetros distribuidos en toda la zona de abasto del ingenio y utilizando 27 variables en total (Vázquez, 2010).

Estimación del rendimiento de campo en áreas de producción de caña de azúcar.

Para el desarrollo del trabajo en áreas de producción se consideraron los resultados obtenidos por Pérez y Milanés 1986, que definen la igualdad entre el promedio del diámetro medido en los tres tercios del tallo de la caña de azúcar y el valor obtenido en el tercio medio y la posibilidad de utilizar para este tipo de trabajo, como un valor general del Peso Específico del tallo de la caña de azúcar de 1.1 g/cm³,

considerando estas premisas se seleccionaron seis campos típicos de ocho hectáreas aproximadamente cada uno.

Cuadro 1. Variables consideradas en la matriz de datos para determinar los efectos de la lluvia y el suelo sobre el rendimiento de campo y el porcentaje de pol en caña.

No,	Variables	Clave
1	1. Lluvia enero	ENE
2	2. Lluvia febrero	FEB
3	3. Lluvia marzo	MAR
4	4. Lluvia abril	ABR
5	5. Lluvia mayo	MAY
6	6. Lluvia junio	JUN
7	7. Lluvia julio	JUL
8	8. Lluvia agosto	AGO
9	9. Lluvia septiembre	SEP
10	10. Lluvia octubre	OCT
11	11. Lluvia noviembre	NOV
12	12. Lluvia diciembre	DIC
13	13. Lluvia total	TOT
14	14. Lluvia diciembre-mayo	DM
15	15. Lluvia junio - noviembre	JN
16	16. Profundidad efectivo	PE
17	17. pH del suelo	PH
18	18. Fósforo	FOS
19	19. Potasio	POS
20	20. Materia orgánica	MO
21	21. Toneladas de caña/ha	TCH
22	22. Sacarosa	SAC
	Variables suplementarias	
23	Número de individuo	NO
24	Año	AÑO
25	Zona climática	ZON
26	Tipo de Suelo	SUE

con diferentes cultivares y ciclos y sobre ellos se aplicaron los siguientes métodos de estimación y pesaje: I) Conteo de dos surcos de 10 metros de longitud y medición del diámetro del tercio medio y altura en 20 tallos, en cinco puntos de la superficie de cada campo típico distribuidos en forma de número cinco del dominó “Sobre cerrado o bandera inglesa”, II) Conteo de un surco de 10 metros de longitud y medición del diámetro del tercio medio y altura en 10 tallos, en cinco puntos III) Conteo de un surco de 10 metros de longitud y medición del diámetro del tercio medio y altura en cinco tallos, en cinco puntos IV) Conteo de un surco de 10 metros de longitud y medición del diámetro del tercio medio y altura en tres tallos, en cinco puntos, V) Conteo de un surco de 10 metros de longitud y medición del diámetro del tercio medio y altura en tres tallos, en tres puntos en diagonal, VI) Conteo de un surco de cinco metros de longitud y medición del diámetro del tercio medio y altura en tres tallos, en tres puntos en diagonal, VII) Conteo de tres surcos de 10 metros de longitud y medición del diámetro del tercio medio y altura en 30 tallos, en cinco puntos, VIII) Peso Real de la cosecha (P. R.) y

IX) Estimación de campo como normalmente realiza en producción a inicios del mes de septiembre (E. S.). Para determinar el mejor método de estimación se utilizó un análisis de varianza, con la consiguiente aplicación de un aprueba Duncan de rango múltiple al 5% de probabilidad y finalmente se realizó un ensayo del método de estimación encontrado para determinar su factibilidad práctica y se extendió su uso en tres ingenio de la región sur de la provincia de Mayabeque, durante tres años.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estimación del rendimiento de campo en parcelas experimentales de caña de azúcar.

Al evaluar el comportamiento de los nueve métodos de estimación del rendimiento de campo en las parcelas experimentales (kg/parcelas), en los tres experimentos y 46 cultivares utilizados en el estudio, se determinó que no se presentaron diferencias significativas entre los métodos de estimación estudiados, pero si entre los experimentos y variedades, lo cual era de esperarse; pero al evaluar el parámetro “error típico”, de cada método de estimación, se obtuvieron diferencias significativas entre los métodos y al aplicar una prueba Duncan al 5%, se concluye que solo forman grupo con la cosecha real (Método IX), los métodos VI, VII y VIII (Figura 1); por lo que se concluye, que el método más factible a utilizar es el número VI, debido a que además de no diferir de la cosecha es el de más fácil utilización, concluyendo que la cosecha por pesaje puede ser sustituida por la estimada, en los experimentos comparativos de cultivares de caña de azúcar, utilizando el método que consiste en contar dos surcos, uno interior y otro exterior y pesaje de una muestra de 20 tallos de toda el área neta de la parcela. Finalmente se encontró una fórmula sencilla que facilita el trabajo de cálculo del método de estimación propuesto:

$$P_P = T_c \times P_m / K$$

- P_P = Peso de la parcela en kg
- T_c = Tallos contados en los dos surcos
- P_m = Peso de la muestra de 20 tallos
- K = Constante igual a 10

Pronóstico del rendimiento de campo en áreas de producción de caña de azúcar.

El presente estudio se realizó en el Ingenio Central Motzorongo, S. A. de C. evaluando una matriz inicial de 26 variables, de ellas cuatro suplementarias, y 24 individuos, se obtuvo que las tres primeras componentes extraen el 71.73% de la variación total, resultaron importantes 21 variables, de ellas dos suplementarias, y solo las lluvias de mayo, junio y noviembre, los años y número de individuos no se presentaron como destacadas, aunque se observa un valor positivo en la lluvia de octubre, contrario a el resto de las lluvias, lo cual ya ha sido reportado por Bernal, 1986, Milanés, et al., 1988a y Milanés, et al., 1988b, como el mes en que las lluvias comienzan a ejercer su efecto sobre la acumulación de sacarosa en los tallos de la caña de azúcar; a partir de los resultados anteriores se confeccionó una nueva matriz con las 21 variables importantes y los mismos 24 individuos y se repitió nuevamente el análisis de componentes principales. Al evaluar nuevamente las variables y los individuos se concluye (Cuadro 2) que los efectos de las lluvias continúan presentándose con signos negativo y las variables relacionadas con las condiciones del suelo presentan un efecto contrario, con signo positivo, similar al comportamiento de la matriz inicial, en este caso resultan destacadas todas las variables, con la solo excepción de las lluvias de abril; mientras las tres primeras componentes llegan a extraer el 83.80 % de la variación total.

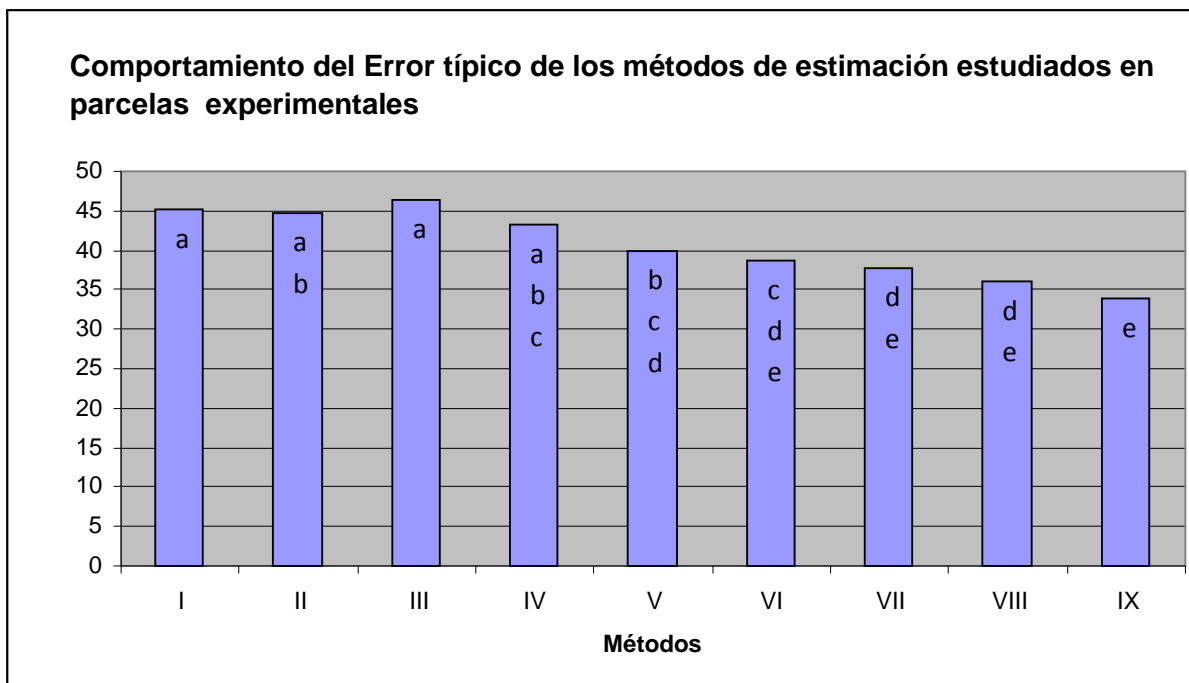


Figura 1. Comportamiento del error típico de cada uno de los métodos de estimación estudiado en parcelas experimentales

En la representación de la primera y segunda componente (Figura 2) en un círculo de correlación se observó que todas las variables relacionadas con la lluvia presentan un efecto negativo sobre el rendimiento de campo, siendo las más importantes: Lluvia total, lluvia del período diciembre – mayo, lluvia del periodo junio – noviembre, mientras las variables: Profundidad efectiva, pH del suelo, Contenido de fósforo, y potasio, materia orgánica también están íntimamente relacionadas con el rendimiento de campo pero sin una oposición totalmente contraria a las de lluvias; finalmente se concluye que estas ocho variables son las mayormente relacionadas con el rendimiento de campo, de forma importante. La sacarosa presentó cierta relación positiva con el pH del suelo y la profundidad efectiva, y un efecto diametralmente opuesto con la zona climática, lo que deja claro que el proceso de maduración es diferente en cada una de las tres zonas, lo cual debe tenerse en cuenta al momento de programar las cosecha. Finalmente, como puede apreciarse en la Figura 3, al representar los individuos en la primera y segunda componente, se agrupan en tres grandes asociaciones que en lo fundamental incluyen a los individuos de los años correspondientes a cada una de las tres zonas climáticas del ingenio; este resultado nos indica que las condiciones de clima y suelo de estos grupos presentan un efecto similar en su accionar sobre los rendimientos de campo, independientemente del año.

De todo lo anterior se destacan como variables que influyen marcadamente sobre el rendimiento de campo en la zona de abasto del Ingenio Central Motzorongo, S. A. de C. V.: Lluvia total, lluvia del período diciembre – mayo, lluvia del periodo junio – noviembre, profundidad efectiva, pH del suelo, contenido de fósforo, potasio y materia orgánica. Con estas variables se realizaron regresiones múltiples generales, que permiten una estimación o predicción de los rendimientos de campo. Al determinar las cuatro ecuaciones múltiples, señaladas como importantes: Una general para toda la zona de influencia del ingenio y una para cada una de las tres zonas climáticas: Húmeda, intermedia y seca, para que sirvan con fines de predicción de los rendimientos de campo, se brindan las herramientas

iniciales para que el personal técnico de campo del ingenio y productores disponga de modelos para el pronóstico de la cantidad de caña de azúcar a cosechar.

1) Ecuación general

$$Y = 63.29764671 - 2.18432449 \text{ TOT} + 2.17549889 \text{ DM} + 2.18210580 \text{ JN} + 0.09712235 \text{ PE} - 0.116443 \text{ FOS}$$

Valor sustituido para TCH = 60.88

2) Ecuación para Zona húmeda

$$Y = 69.7422293 - 3.40262151 \text{ TOT} + 3.39733274 \text{ DM} + 3.39937935 \text{ JN}$$

Valor sustituido para TCH = 61.29

3) Ecuación para zona intermedia

$$Y = 69.3258125 + 0.02911919 \text{ TOT} - 0.03424994 \text{ DM} - 0.03360842 \text{ JN}$$

Valor sustituido para TCH = 61.18

4) Ecuación para zona seca

$$Y = 92.149658 - 8.4655502 \text{ TOT} + 8.45767157 \text{ DM} + 8.44004737 \text{ JN}$$

Valor sustituido para TCH = 60.49

Al evaluar un estudio similar en el Ingenio Central Progreso, S. A. de C. V., pero en este caso disponiendo de un total de 27 variables, los datos de 10 pluviómetros y 80 individuos se observó que todas las variables relacionadas con la lluvia presentan un efecto positivo sobre el rendimiento de campo, siendo las más importantes la lluvia total y la lluvia del período diciembre – mayo, mientras las variables de nitrógeno total, el contenido de potasio y la materia orgánica, esta última de forma mas marcada, afectan el rendimiento de campo pero sin una oposición totalmente contraria y finalmente las variables que más afectan el rendimiento de campo son el Ph, capacidad de intercambio catiónico y las variables suplementarias: Tipo de suelo, pluviómetro y zona climática, destacándose entre ellas el Ph. No hay indicios que las variables estudiadas estén asociadas, de forma importante, con el porcentaje de pol en caña y esta variable en sí, se presenta como poco destacada, por su cercanía al centro del eje de coordenadas. Finalmente se pudo determinar que las áreas asociados a los 10 pluviómetros se agrupan en dos grandes asociaciones que en lo fundamental incluyen, en un grupo los individuos de los pluviómetros: 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 y 10 y en un segundo grupo los pluviómetros 1 y 7; este resultado nos indica que las condiciones de clima y suelo de estos grupos presentan un efecto similar en su accionar sobre los rendimientos de campo. De todo lo anterior se destacan como variables que influyen marcadamente sobre el rendimiento de campo: Lluvia del periodo diciembre – mayo, Lluvia total, Materia orgánica y Ph.

Al determinar las tres ecuaciones múltiples, señaladas como importantes y que sirven para la predicción: la ecuación general y una para cada uno de los dos grupos de pluviómetros señalados anteriormente; se brindan dos alternativas para el pronóstico de los rendimientos en campo de la zona de abasto del ingenio Central Progreso, una general para toda la zona y otra más específica para cada una de las agrupaciones de los pluviómetros.

1) Ecuación general

$$Y = 0.077421407 \text{ DIM} - 0.023011064 \text{ TOT} - 1.117852193 \text{ MO} - 12.20337095 \text{ PH} + 135.5787329$$

Medias generales: DIM = 223.9; TOT = 1304.5; MO = 3.7; Ph = 5.2 y TCH = 55.9

Valor sustituido para TCH = 55.29

2) Ecuación para 8 pluviómetros (2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10)

$$Y = 0.07524354DIM - 0.0225244TOT - 0.93955881MO - 12.7573047PH + 137.364745$$

Medias generales: DIM = 199.5; TOT = 1212.9; MO = 3.8; Ph = 5.2 y TCH = 54.6

Valor sustituido para TCH = 54.62

3) Ecuación para dos pluviómetros (1 y 7)

$$Y = 0.07884617DIM - 0.0240467TOT - 7.32059823PH + 110.923576$$

Medias generales: DIM = 321.6; TOT = 1670.5; MO = 3.3; Ph = 4.8 y TCH = 61.0

Valor sustituido para TCH = 61.01

Cuadro 2. Resultados del análisis de componentes principales y valores y vectores propios para la matriz de 21 variables

Valores propios y variables	Componentes principales		
	1	2	3
Porcentajes	2.573	1.989	1.319
Porcentajes acumulados	13.54	10.47	6.94
Variables	66.39	76.86	83.80
1. Lluvia enero	-0.484	0.045	0.682
2. Lluvia febrero	-0.237	0.306	-0.501
3. Lluvia marzo	-0.519	0.199	-0.256
4. Lluvia abril	-0.225	0.349	-0.267
5. Lluvia julio	-0.474	0.326	0.254
6. Lluvia agosto	-0.705	0.262	-0.383
7. Lluvia septiembre	-0.822	0.112	0.145
8. Lluvia octubre	-0.502	-0.039	-0.029
9. Lluvia diciembre	-0.379	0.031	0.777
10. Lluvia total	-0.941	0.143	0.074
11. Lluvia diciembre – mayo	-0.650	0.431	0.201
12. Lluvia junio – noviembre	-0.881	0.035	0.024
13. Profundidad efectiva	0.936	0.056	-0.003
14. pH del suelo	0.812	0.546	0.075
15. Fósforo	-0.189	-0.911	-0.140
16. Potasio	-0.233	-0.906	-0.138
17. Materia orgánica	-0.847	-0.485	-0.065
18. Toneladas caña por hectárea	-0.056	0.066	-0.728
19. Sacarosa	0.543	-0.260	0.509
Variables suplementarias			
20. Tipos de suelo	-0.936	-0.056	0.003
21. Zona climática			

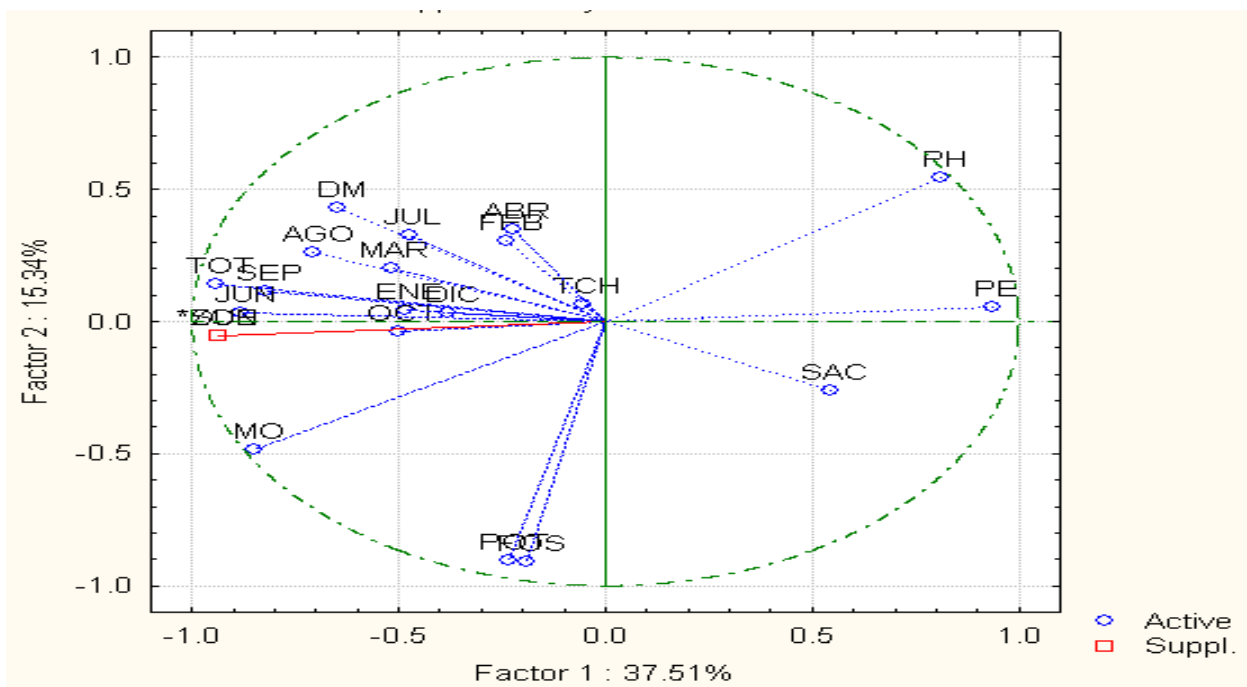


Figura 2. Círculo de correlación de la primera y segunda componente, según importancia y tendencia de las 21 variables importantes

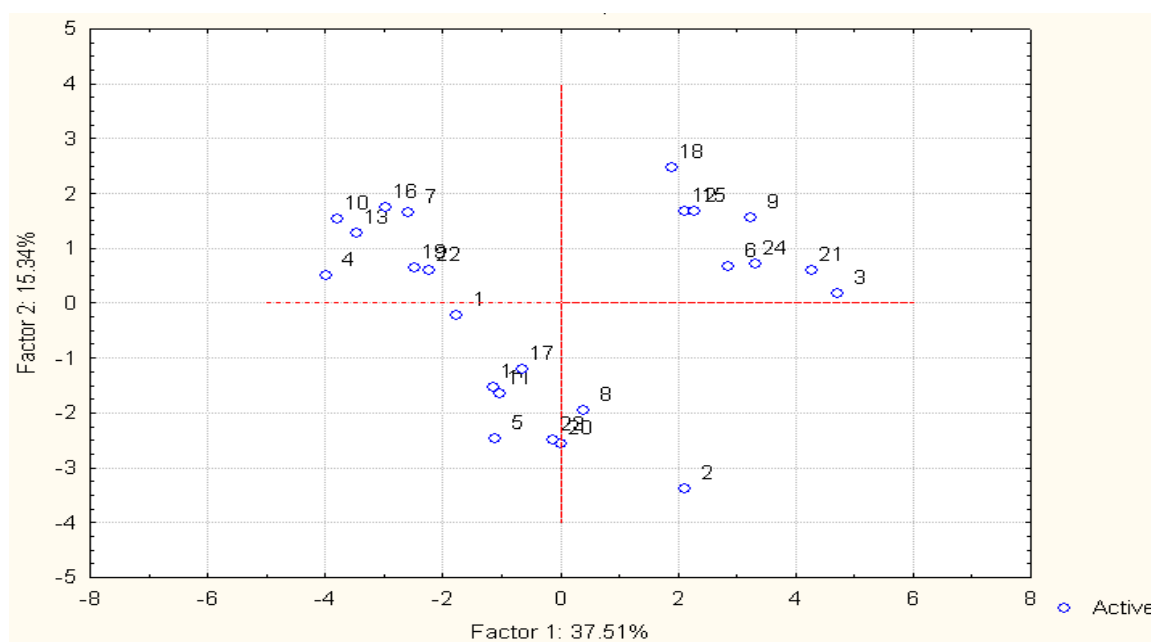


Figura 3. Distribución de los individuos en la primera y segunda componente, según el efecto de las variables en estudio.

Estimación del rendimiento de campo en áreas de producción de caña de azúcar.

Al aplicar un análisis de varianza sobre los resultados obtenidos con la aplicación de los diferentes métodos de estimación del rendimiento de campo estudiados, se determinó que existían diferencias significativas entre los mismos y al aplicar una prueba Duncan al 5% de probabilidad se observa (Figura 4) que los métodos I y VII formaron grupo con el pesaje de toda la superficie de los campos con caña de azúcar, incluidos en el estudio, independientemente del tipo de variedad y de la superficie objeto de estimación. Por lo anterior se recomienda la utilización del método de estimación que consiste en el conteo de tallos en dos surcos de 10 metros de longitud y la determinación de la altura y el diámetro medio en 20 tallos distribuidos al azar en cada sub-estación de muestreo (Dos surcos de 10 metros de longitud), estas mediciones en cinco puntos de la superficie cuyo rendimiento de campo de quiera estimar, distribuidos en forma del número cinco de la ficha del dominó (Sobre cerrado o bandera inglesa), sobre estos resultados calcular el peso general de la superficie a estimar, considerando el peso específico de la caña de azúcar recomendado por Pérez y Milanés, 1984, con un valor de 1.1 g/cm^3 , valor que pudiera variar según las condiciones ambientales específicas de cada lugar, por lo que se pudiera considerar su determinación para aplicaciones, fuera de las condiciones en las que se realizaron los experimentos aquí evaluados.

Al aplicar extensivamente el método de estimación propuesto, se pudo comprobar que tres hombres debidamente entrenados en este tipo de trabajo pueden realizar todas las mediciones que conlleva la aplicación del método en un campo típico de 35-40 minutos.

Para facilitar la aplicación del método de estimación propuesto se puede elaborar para cada región o zona de abasto de cada ingenio en específico, una tabla de triple entrada, que directamente exprese el rendimiento de campo de cada parcela en particular y a su vez este resultado formar parte del sistema georeferenciado de los ingenios que posean esta herramienta tecnológica.

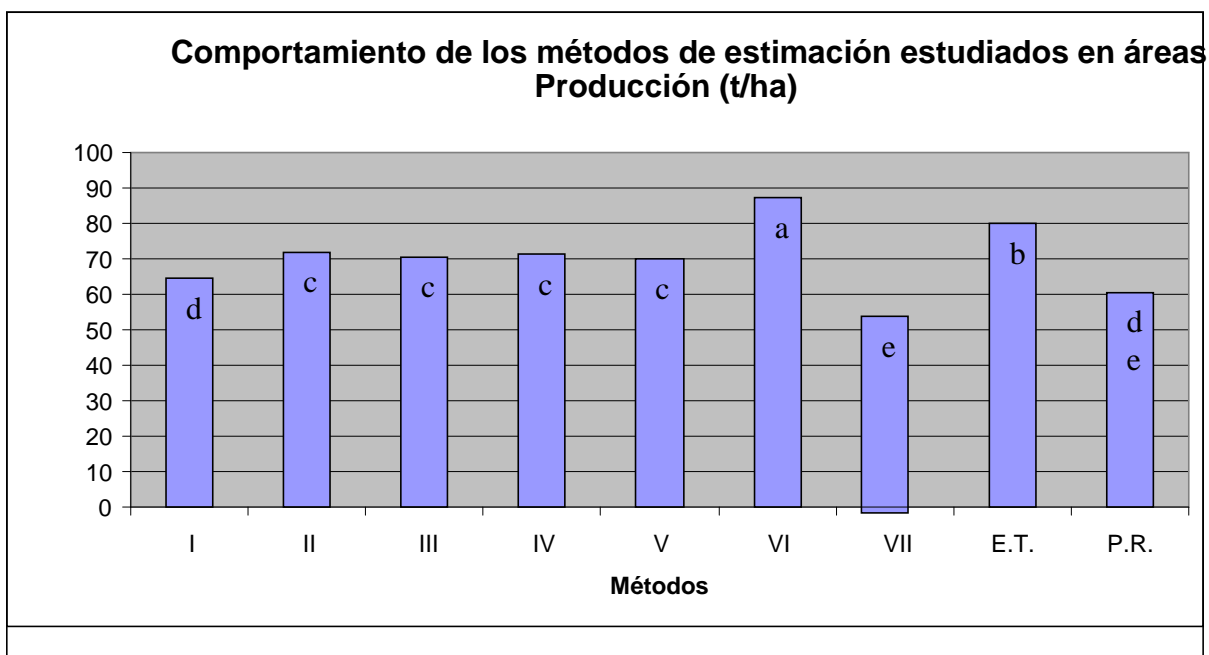


Figura 4. Comparación de los métodos de estimación estudiados con el tradicional y la cosecha por pesaje directo en campos de caña de azúcar

CONCLUSIONES

La cosecha por pesaje puede ser sustituida por la cosecha estimada, en los experimentos comparativos de cultivares de caña de azúcar, utilizando el método que consiste en contar dos surcos, uno interior y otro exterior y pesaje de una muestra de 20 tallos de toda el área neta de la parcela, facilitando el trabajo de cálculo del método de estimación propuesto con la aplicación de la siguiente fórmula:

$$P_p = T_c \times P_m / K$$

- P_p = Peso de la parcela en kg
- T_c = Tallos contados en los dos surcos
- P_m = Peso de la muestra de 20 tallos
- K = Constante igual a 10

Es factible pronosticar el rendimiento de campo en las zonas de abasto de los ingenios Central Motzorongo, S. A. de C. V. y Central Progreso, S. A. de C. V., Veracruz, México, aplicando las ecuaciones múltiples determinadas en el presente trabajo, para cada una de las condiciones específicas utilizadas en cada caso, brindando las herramientas iniciales para que el personal técnico de campo del ingenio y los productores dispongan de modelos para el pronóstico de la cantidad de caña de azúcar a cosechar anterior a cada zafra..

Para el estimado del rendimiento de campo en áreas de producción, puede utilizarse el método de estimación que consiste en el conteo de tallos en dos surcos de 10 metros de longitud y la determinación de la altura y el diámetro medio en 20 tallos distribuidos al azar en cada una de las sub-estaciones de muestreo (Dos surcos de 10 metros de longitud en cinco puntos de la superficie del campo, distribuidos en forma del número cinco de la ficha del dominó), sobre estos resultados calcular el peso general de la superficie a estimar, considerando el peso específico de la caña de azúcar recomendado por Pérez y Milanés, 1984, con un valor de 1.1 g/cm³, este valor pudiera variar según las condiciones ambientales específicas de cada lugar, por lo que se considera su determinación para aplicaciones, fuera de las condiciones en las que se realizaron los experimentos aquí evaluados.

Al aplicar extensivamente el método de estimación propuesto para áreas de producción, se pudo comprobar que tres hombres debidamente entrenados en este tipo de trabajo pueden realizar todas las mediciones que conlleva la aplicación del método en un campo típico entre 35-40 minutos.

Para facilitar la aplicar del método de estimación propuesto para áreas de producción, se puede elaborar para cada región o zona de abasto de cada ingenio en específico, una tabla de triple entrada, que directamente exprese el rendimiento de campo de cada parcela en particular y a su vez este resultado puede formar parte del sistema georeferenciado de los ingenios que posean esta herramienta tecnológica.

REFERENCIAS

CNIAA, 2012. Manual Azucarero Mexicano. 54 ediciones CIA. *Editora del Manual Azucarero edición S.A. de C.V.* 589p.

Bernal, L. N., 1986. Clasificación de ambientes en las provincias de Holguín. Las Tunas y Granma en los estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas INICA.MINAZ-Cuba. 106 p.

Milanés, R. N. 1978. Variabilidad de los criterios del rendimiento de la caña de azúcar (*Saccharum Officinarum*). Informe Científico Técnico No. 49. CDU 519.2:633.61(043.2). Academia de Ciencias de Cuba. La Habana. 10p.

Milanés, R. N., Cabrera, R. J. A., Mesa, L. J. M. 1988A. Interacción genotipo x ambiente y clasificación de ambientes en la tercera etapa de selección de la caña de azúcar en Cuba. II – Influencia de las propiedades físico – químicas del suelo en el efecto ambiental. Rev. INICA No. 1.

Milanés, R. N., Mesa, L. J. M. y Cabrera, R. J. A., 1988B. Interacción genotipo x ambiente y clasificación de ambientes en la tercera etapa de selección de la caña de azúcar en Cuba. I – Influencia del clima y las principales variables del suelo en el efecto ambiental. Rev. INICA No. 2.

Pantaleón, P. G. 2009. Fertilización nitrogenada de la caña de azúcar (*Saccharum spp*) mediante la incorporación del inhibidor de la nitrificación (3,4-dimetilpirazol fosfato) en el fertilizante “entec” en Central Motzorongo, S. A. de C.V. Tesis de Maestro. FCBA-UV. 83p.

Pérez, J. L. y N. Milanés (1986). Estudio de diferentes formas de muestreo para estimar el peso de la caña de azúcar en áreas de producción. Boletín INICA No. 4/86. p 33-59.

SUCROMER, S. A. de C. V. 2003. Actualización de los estudios de suelos y evaluación de sus factores limitantes para el cultivo de la caña de azúcar en el Ingenio "Central Motzorongo", S. A. de C. V. Informe impreso 19 p.

Tinoco, C. J. 2010. Caracterización de las lluvias y los suelos y su relación con el rendimiento de campo y fábrica en el Ingenio Central Motzorongo S. A. de C. V., Veracruz. Tesis de Maestría. FCBA-UV. 67p.

Vásquez, C. J. J. 2010. Caracterización de las lluvias y los suelos y su relación con el rendimiento de campo en el Ingenio Central Progreso, S. A. de C. V. Tesis de Maestría. FCBA-UV. 67p.