

Contribuciones al mejoramiento del estimado de los rendimientos de la caña de azúcar

Martha González-Marrero*, Alberto N. González-Marrero, Héctor Jorge-Suárez, Antonio Vera-Méndez, Guillermo Gálvez-Rodríguez, Maira Ferrer-Reyes, Sergio Guillén-Sosa
Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA).
Carretera CUJAE km 1½, Boyeros, La Habana, Cuba.
*marta.gonzalez@inica.azcuba.cu

RESUMEN

El trabajo presenta un grupo de ecuaciones de regresión múltiple, destinadas a realizar pronósticos de los rendimientos agrícolas y azucareros de la caña de azúcar en Cuba, con sus respectivos coeficientes de regresión y determinación, que permitieron seleccionar, para ambos rendimientos, los modelos de mejor ajuste. Se comparan los reales de las zafra azucareras con los de las estimaciones realizadas en ingenios que estuvieron activos desde 1978 hasta 2013. Se demuestra que existe una ecuación que permite pronosticar el Rendimiento Azucarero Base 96 %, teniendo en cuenta la Pol en caña y las pérdidas totales reales del proceso de fabricación de azúcar y tres ecuaciones que permiten pronosticar el rendimiento agrícola, si se parte de la composición de cepas de la agricultura cañera que participan en la cosecha. Se recomienda el uso de modelos estadístico-matemáticos como herramienta de trabajo del sistema de AZCUBA, destinados a modelar y estimar los rendimientos agroazucareros.

Palabras clave: modelos, pronósticos, rendimientos agrícolas, rendimientos azucareros.

ABSTRACT

At work shows up a group of equations multiple regressions, destined to accomplish forecasts of the agricultural and sugar performances of the sugar cane in Cuba, with your respective regression coefficients and determination, which allowed selecting for both performances the models of better adjustment. The real ones belonging to the sugar cane harvests compare with the ones of the estimates accomplished in ingenuities that were active since 1978 to 2013. It is proven that there is an equation that allows forecasting the sugar host performance 96 %, in line with the Pol in cane and the real total losses of the manufacturing process of sugar and three equations that allow forecasting the agricultural performance, in line with the composition of stocks of the cane agriculture that they participate in the harvest. The statistical use of models is recommended mathematical like tools of work of the system of AZCUBA, destined to model and to value agro-sugar performances.

Key words: models, forecasts, performances, agricultural, sugar.

INTRODUCCIÓN

La modelación del rendimiento agrícola de la caña de azúcar es una tarea compleja, por la influencia de parámetros deterministas y estocásticos. Los primeros asociados a la edad, la variedad y la temporada y, los segundos, incluyen las condiciones climáticas, el tipo de suelo, las prácticas de cultivo y otros (1).

La caña de azúcar se estima en las unidades productoras y sobre esta base se calculan las toneladas de que dispone la zafra para moler en una contienda que debe durar entre 120 y 150 días,

en correspondencia con la aparición de las lluvias, de forma temprana o tardía, en cada región productora (2).

Las instituciones de investigación y las organizaciones asociadas, así como la producción agrícola, se han favorecido con el desarrollo de las modernas tecnologías que posibilitan trabajar con grandes bases de datos, que ofrecen muchas posibilidades para modelar y estimar los rendimientos y mejorar las fases de organización y operación de los cultivos y fábricas (3).

La moderna y eficiente estimación de los rendimientos agrícolas puede incluir modelos empíricos, basados en información de campo, como enlace del comportamiento de las cosechas con el medioambiente y su manejo; modelos mecanicistas, sustentados por el comportamiento de las plantas, que integran bases de datos de cultivos, agua, suelo y clima (3); y otras tecnologías de punta de gran precisión y aplicación en la agricultura (4).

En Cuba se han realizado múltiples intentos para modelar los rendimientos del cultivo de la caña de azúcar, con aciertos y deficiencias pero, hasta el presente, no se dispone de una técnica efectiva para ello y se sigue estimando y pronosticando por métodos convencionales y, hasta empíricos (2, 5, 6, 7, 8).

Existen antecedentes en el uso de regresiones lineales múltiples para la estimación de rendimientos agrícolas e industriales en el país: fueron estimados los rendimientos agrícolas de los ingenios Abraham Lincoln y Héctor Molina, mediante la combinación de cuatro factores: variedades, duración de la zafra, porcentaje de mecanización de la cosecha y lluvia caída en el período de julio a septiembre (9); se propusieron dos modelos para estimar el rendimiento en azúcar por área, con las variables número de hojas activas, brix medio, pol en caña y azúcares reductores (5), y se obtuvieron varias ecuaciones para estimar los rendimientos cañeros y azucareros (10), que han sido desarrolladas y aplicadas en la agricultura cañera cubana (2, 7, 8).

Estos modelos, conocidos también por econométricos de producción, han sido utilizados en el pronóstico de los rendimientos del cultivo en algunos países cañeros como: Australia (11), Ecuador (12) y Sudáfrica (13). Hasta el presente no hay evidencias sobre el uso oficial, como sistema de trabajo en AZCUBA, de estos modelos para estimar los rendimientos de la caña de azúcar.

El trabajo tiene como objetivo mejorar la estimación de los rendimientos de la caña de azúcar, con la utilización de modelos estadístico-matemáticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recopilaron los resultados entregados al proyecto de investigaciones científicas Bases metodológicas para la modelación y pronóstico de los rendimientos agrícolas e industriales de la caña de azúcar en Cuba, desarrollado por el INICA (14) y presentados en el informe técnico *Estudio de la potencialidad productiva de las localidades cañeras de Cuba. Modelos para pronósticos del rendimiento azucarero* (15), expuesto a la Dirección del Grupo Azucarero AZCUBA, por parte del INICA, en noviembre de 2013.

Pronóstico del rendimiento azucarero

Se evaluaron cuatro modelos de regresión múltiple, informados por la literatura cañera especializada (7, 8, 10), para estimar el rendimiento industrial del proceso de producción de azúcar, a partir de la Pol en caña que entra al ingenio, las pérdidas totales del proceso de fabricación y la lluvia caída durante el período de zafra.

Estas ecuaciones matemáticas fueron obtenidas mediante análisis de regresión múltiple con variables de producción agroindustrial y análisis de correlación múltiple para escoger la ecuación de mejor ajuste (10).

Para pronosticar el rendimiento azucarero y cumplir con el objetivo que propone este trabajo se escogieron, por criterio de los expertos y por sus parámetros estadístico-matemáticos, los modelos 2 y 4, como ejemplos para procesar la información disponible (tabla 1).

En la Sala de Análisis Nacional del Grupo Azucarero AZCUBA, se obtuvo la información del comportamiento de la variable Rendimiento Industrial Base 96 %, de 13 zafras, correspondiente al periodo 2001-2013, que fue comparado con el rendimiento calculado por el modelo de estimación seleccionado.

La efectividad de las estimaciones fue comparada con el coeficiente de determinación R^2 , y se realizó una representación gráfica de los rendimientos reales de cada uno de los años del período analizado, contra los estimados obtenidos por los modelos usados en el estudio. Fue utilizado el programa Statistic. (Versión 6.0).

Pronóstico del rendimiento agrícola

Se evaluaron cuatro modelos de regresión múltiple, informados por la literatura cañera especializada (2, 8, 10), para estimar el rendimiento agrícola total, a partir de los rendimientos de la composición de cepas que se cosechan en el proceso comercial de la caña de azúcar en Cuba.

Se trabajó en un escenario real de producción, que abarcó 54 UEB cañeras que participaron en la zafra 2013; se aplicaron los cuatro modelos de regresión y se obtuvieron sus parámetros estadístico-matemáticos, para proceder a la elección de un buen estimador.

Se realizó una base de datos agrícolas en Excel y se incluyeron los rendimientos históricos por cepas y el rendimiento total del período correspondiente entre 1978 y 2012 (34 cosechas) y, a partir de ella, se trabajaron los modelos de referencia y se realizaron las estimaciones y comparaciones que fueron necesarias, para cumplir el objetivo propuesto.

Los valores de rendimientos estimados calculados con el tabulador Excel, se compararon con el real, obtenido por año e ingenio, de forma independiente y total, mediante un análisis de regresión múltiple. También se realizó un ANOVA de clasificación simple entre los rendimientos estimados y reales, de la zafra 2013, en 13 empresas azucareras del país, para el 1 % y el 5 % de significación (16). Fue utilizado el programa Statistic (Versión 6.0).

La efectividad de las estimaciones fue comparada con el coeficiente de determinación R^2 y se realizó una representación gráfica de los rendimientos reales obtenidos en cada una de las 54 UEB cañeras en el período señalado, contra los estimados obtenidos por los modelos usados en el estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pronóstico del rendimiento azucarero

En la tabla 1 se presentan las ecuaciones de regresión que fueron usadas como modelos de predicción (10), para estimar el comportamiento del rendimiento azucarero como variable dependiente.

Tabla 1. Ecuaciones de regresión múltiple usadas para pronósticos del Rendimiento Base 96 %

No.	Ecuación de Regresión	Coeficiente r	Coeficiente R^2
1	$y=0.6972+0.9434(\text{PCI})$	0.9528 **	0.9097
2	$y=2.2528+0.8628(\text{PCI})-0.1252(\text{PPT})$	0.9989 **	0.9979
3	$y=2.1302+0.8626(\text{PCI})-0.1246(\text{PPT})+0.0001(\text{PTZ})$	0.9991 **	0.9981
4	$y=3.0582+0.8630(\text{PCI})-0.2232(\text{PPT})+0.0026(\text{PPT})^2$	0.9992 **	0.9983

PCI = Porcentaje de Pol en caña que entra al ingenio, PPT = Porcentaje de pérdidas totales de la industria, PTZ= Precipitaciones totales del período de zafra, ** - Significación al 0.01

Se observa que en los rendimientos estimados con la utilización de las cuatro ecuaciones, se alcanzó un buen ajuste con las tres últimas, demostrado por los coeficientes de determinación calculados para cada caso (ecuación 2, $R^2 = 0.9979$, ecuación 3, $R^2 = 0.9981$ y ecuación 4, $R^2 = 0.9983$). Ellas explican más del 99 % de las variaciones del Rendimiento Base 96 %, en las condiciones donde fueron obtenidos.

De los rendimientos estimados por las cuatro ecuaciones, se demostró por Análisis de Correlación Múltiple, que el mejor ajuste a la situación real se logró con la ecuación 4 ($R^2 = 0.9983$), aunque las ecuaciones dos y tres, también presentaron un buen ajuste y facilidades para trabajar con ellas en la práctica productiva, por la sencillez de su construcción y sus altos parámetros estadísticos matemáticos. Sobre esta base y, por criterios de los expertos, se realizaron estimaciones a partir de los modelos 2 y 4.

Al aplicar el modelo 2 al período de años analizados, se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 1 y en la figura 2, con excepción del año 2002, que en todo el período analizado, se obtuvo un buen ajuste del real con el estimado por lo que el modelo propuesto cumple con las expectativas y exigencias para las cuales se propone. Las desviaciones que se observan se enmarcan en la zafra correspondiente al año 2002, quizás, sea un problema atribuible a la naturaleza de la base de datos y no al modelo de cálculo y predicción. Esto indica, si se tienen en cuenta los niveles de ajuste del modelo validado, así como sus parámetros estadísticos, que este puede emplearse como un buen estimador del rendimiento azucarero.

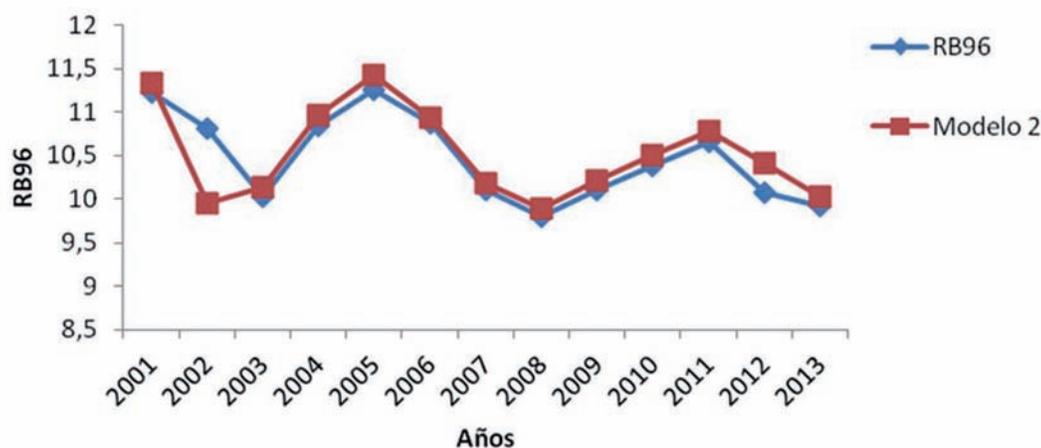


Figura 1. Estimación del Rendimiento Base 96 %, según el modelo 2.
 $Y = 2.2528 + 0.8628 (PCI) - 0.1252 (PPT)$.



Figura 2. Representación del rendimiento industrial en el período 2001 - 2013.

Los resultados de la aplicación del modelo 4 se muestran en la figura 3, puede observarse el buen ajuste que se obtuvo al comparar el pronóstico ofrecido por el modelo y el Rendimiento Base 96 %, obtenidos por los 56 ingenios que molieron en Cuba en el período 2001 - 2013, el más alto de todos en este estudio.

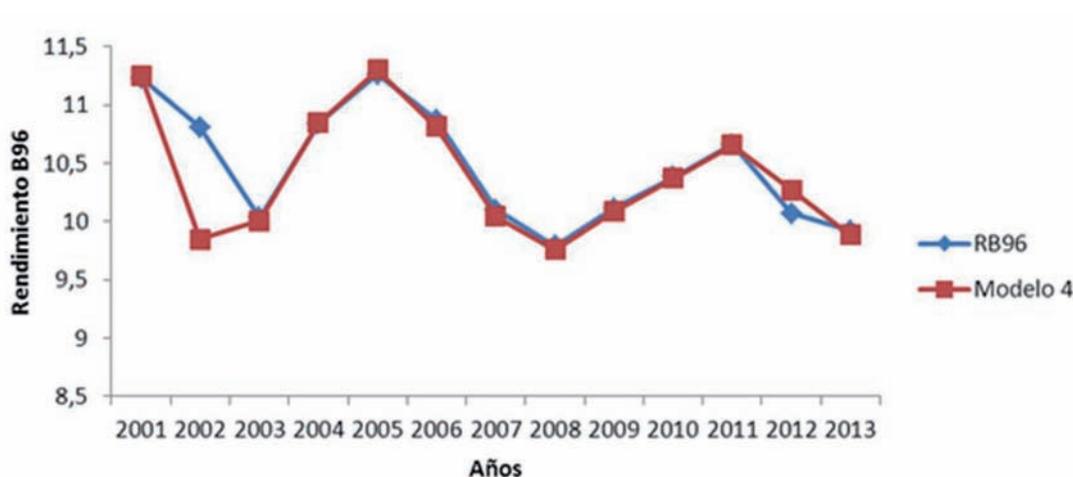


Figura 3. Estimación del Rendimiento Base 96 %, según el modelo 4.
 $Y=3.0582+0.8630(PCI)-0.2232(PPT) +0.0026(PPT)^2$.

Cuando se comparan los dos modelos estadísticos diferentes: uno con efecto lineal de las pérdidas (modelo 2) y otro con efecto cuadrático (modelo 4), los resultados obtenidos resultan significativamente diferentes, a favor del último de estos; pues el cuadrático presenta parámetros estadísticos superiores (Véase: $r_2=0.9989^{**}$ vs $r_4=0.9992^{**}$ y $R_2^2=0.9979$ vs $R_4^2=0.9983$). De ahí, que el ajuste matemático obtenido con el modelo 4, en los pronósticos del rendimiento azucarero, fue también superior al logrado con los otros que son lineales.

Los niveles de ajuste de los modelos validados y sus parámetros estadísticos, permiten considerar que cualquiera de los cuatro presentados, puede emplearse como un buen estimador del rendimiento azucarero de un ingenio, antes de comenzar la zafra, aunque con fines metodológicos y de implementación de sistemas de trabajo, resulte necesario escoger uno de ellos. En este caso el sugerido, sería el modelo 4, y/o en su defecto, el modelo 2.

En Cuba, hasta el presente, no se dispone de modelos estadístico-matemáticos destinados a la estimación de los rendimientos azucareros del cultivo de la caña de azúcar. Se han realizado múltiples intentos en este sentido, con aciertos y deficiencias pero, hasta hoy, no se ha utilizado la modelación con ese fin y se sigue estimando y pronosticando por otros métodos convencionales y, hasta empíricos (2).

Pronóstico del rendimiento cañero

Una alternativa interesante para realizar pronósticos de los rendimientos agrícolas en Cuba, que combine elementos deterministas y estocásticos pudiera ser la utilización de ecuaciones de regresión múltiple del tipo: $\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$, a partir de los rendimientos de las cepas del cultivo comercial de la caña de azúcar, como las que se presentan en la tabla 2 (2, 10); en ellas, el valor del coeficiente β que antecede al rendimiento de cada cepa, le asigna a esta un peso en el rendimiento total. Por otro lado, si la variable rendimiento por cepa, es expresada a partir de la fertilización, el consumo de agua u otros, es posible construir un modelo con diferentes niveles de aproximación al rendimiento agrícola, que involucre factores del tipo deterministas (edad, variedad, cepas, etc.) y estocásticos (fertilización, malezas, agua, etc.), (17).

Tabla 2. Ecuaciones de regresión múltiple para pronósticos del rendimiento cañero

No.	Modelos de Regresión Lineal Múltiple	r	R ²
1	Rendimiento total = 19.9618 + 0.3956* rendimiento de las primaveras quedadas	0.7656**	0.5862
2	Rendimiento total = -8.34 + 0.2357* rendimiento de las primaveras quedadas + 0.9629 *rendimiento de los retoños	0.9527**	0.9076
3	Rendimiento total = -8.2939 +0.2332* rendimientos de las primaveras quedadas + 0.9572 *rendimiento de los retoños + 0.0053* rendimiento de los fríos	0.9527**	0.9080
4	Rendimiento total = -0.4341 +0.2248* rendimientos de las primaveras quedadas + 0.8756* rendimientos de los retoños -0.0046* rendimientos de los fríos + 0.1063* rendimientos de las primaveras del año	0.9566**	0.9155

r- Coeficiente de regresión. R²- Coeficiente de determinación

El análisis de los coeficientes de regresión múltiple de los modelos presentados, demuestra que cualquiera que se utilice; ya sea, el modelo 2, el 3 o el modelo 4; permitirá obtener pronósticos del rendimiento agrícola con altos ajustes, seguridad y confiabilidad, porque ellos explican más del 95 % del rendimiento agrícola total, partiendo de la composición de cepas que participan en el proceso de producción de caña en cada ingenio azucarero.

La modelación de los rendimientos de las 54 UEB que participaron en el estudio y su comparación con los rendimientos reales de las 34 cosechas analizadas (período de 1978 a 2012); se presentan en las figuras 4, 5, 6 y en la figura 7; puede observarse que las estimaciones basadas en los modelos 2, 3 y el modelo 4; resultaron más efectivas porque, precisamente, fueron las que presentaron los mayores coeficientes de determinación (R²), con los mayores ajustes entre los datos estimados y los datos reales: 0.8969, 0.8882 y 0.8754, respectivamente.

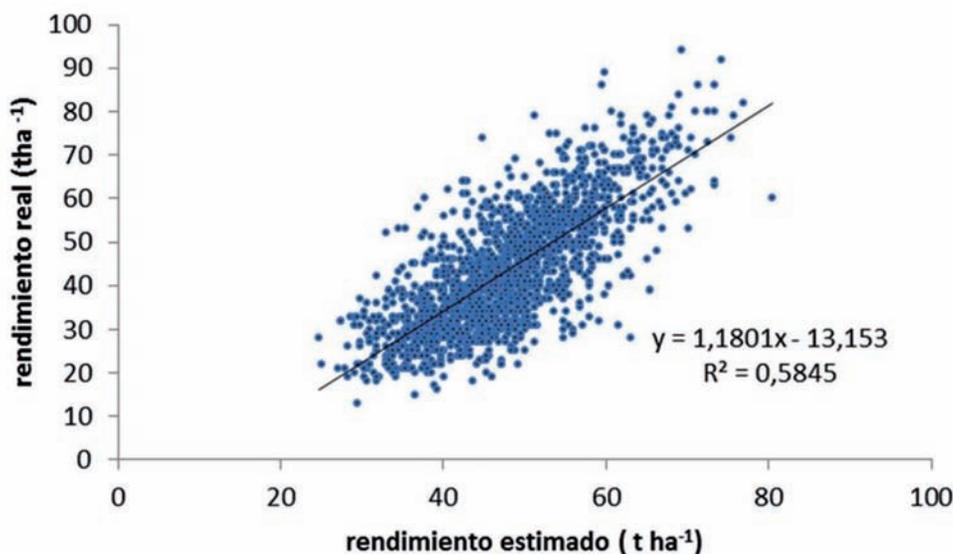


Figura 4. Resultados de la modelación del rendimiento cañero. Modelo 1.

El modelo 2 resultó el de mayor coeficiente de determinación (figura 5), indica que si se parte del rendimiento de las primaveras quedadas y de los retoños, se puede explicar hasta el 89.69 % de las variaciones del rendimiento agrícola total de una organización productiva cañera (figura 8).

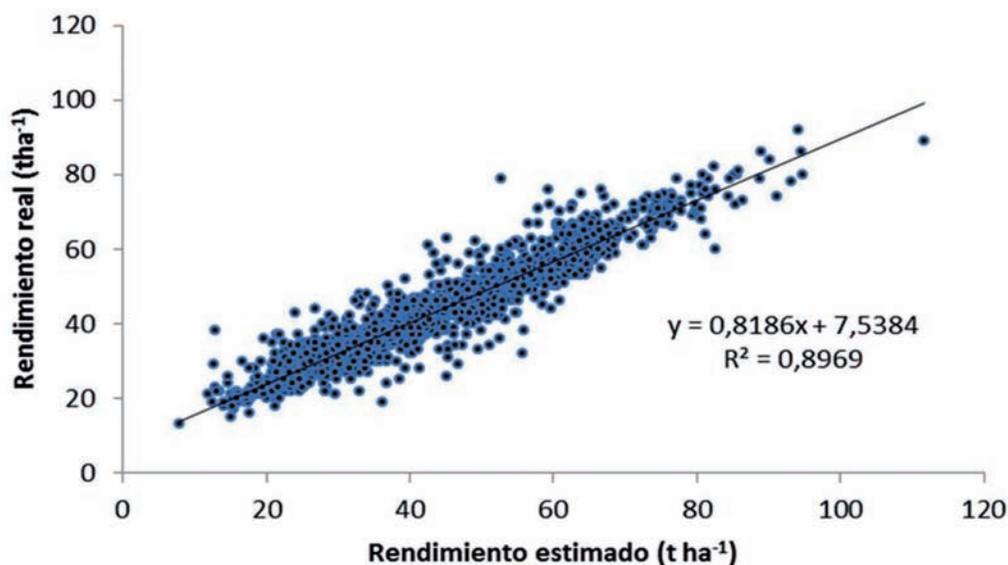


Figura 5. Resultados de la modelación del rendimiento cañero. Modelo 2.

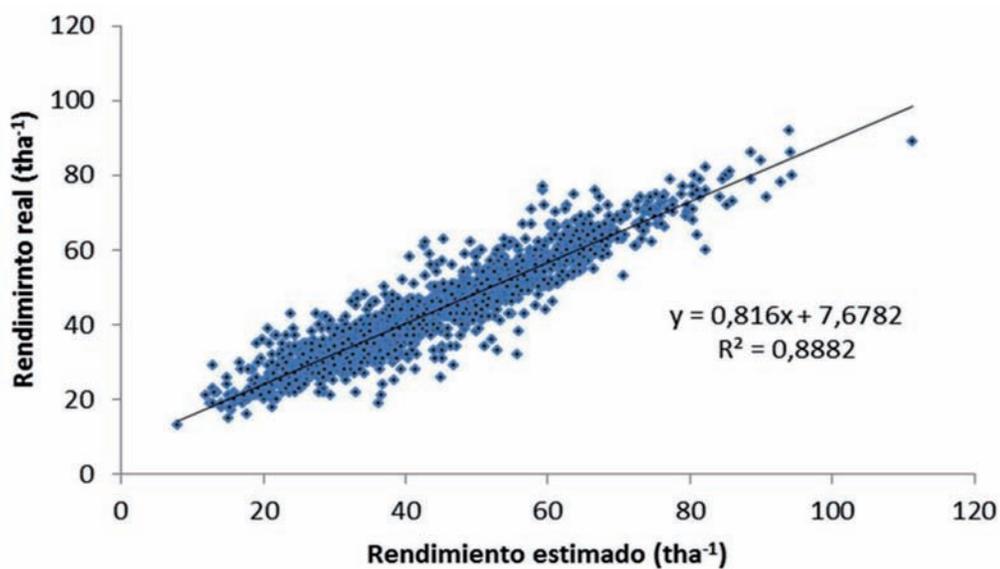


Figura 6. Resultados de la modelación del rendimiento cañero. Modelo 3.

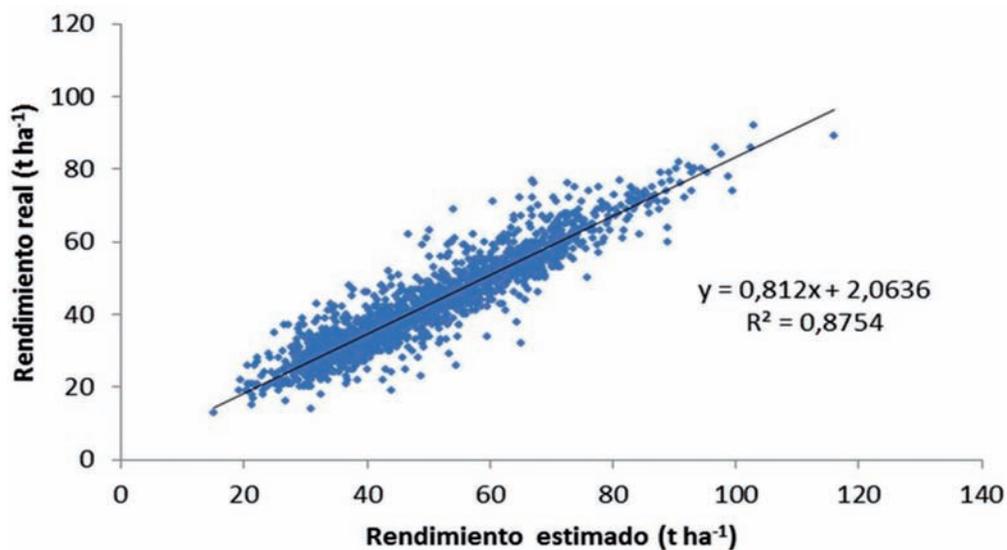


Figura 7. Resultados de la modelación del rendimiento cañero. Modelo 4.

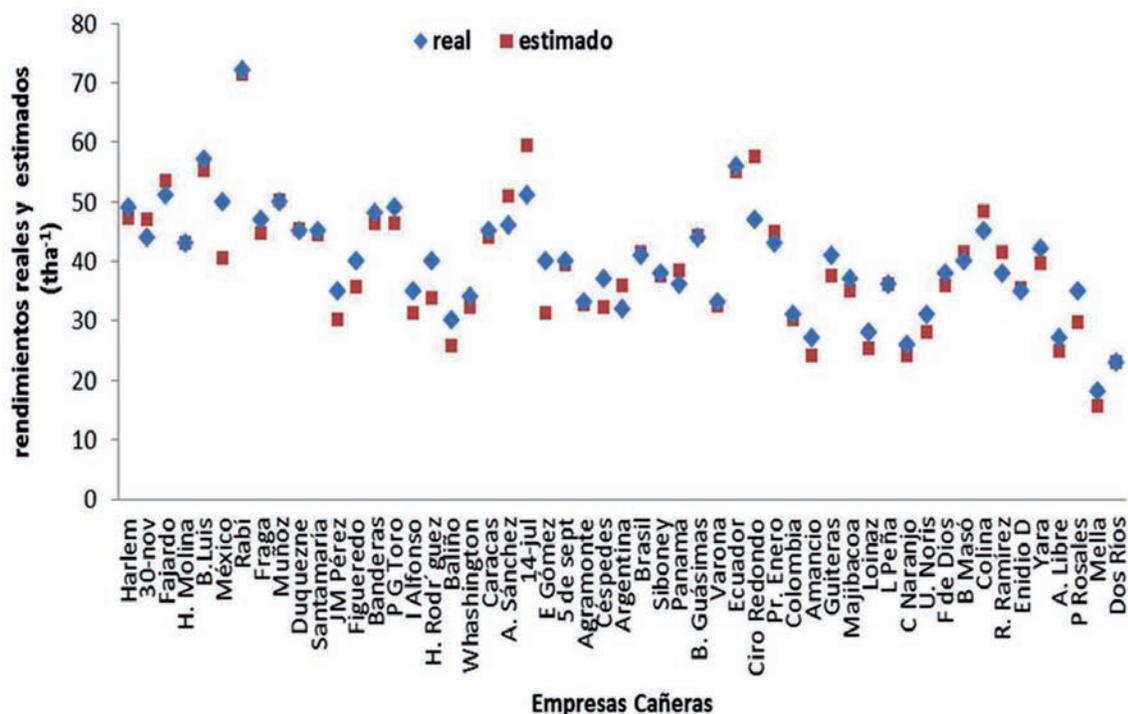


Figura 8. Comportamiento de los rendimientos reales y simulados por el modelo 2.

En la tabla 3 se presentan los rendimientos estimados y reales de la zafra 2013, en 53 UEB de 11 empresas azucareras del Grupo Azucarero AZCUBA, puede observarse que de los 11 casos analizados, en ocho las diferencias entre ambos rendimientos no sobrepasó las cinco tcaña.ha⁻¹ (73 %), en un caso esta diferencia fue inferior a 10 tcaña.ha⁻¹ (9 %) y en dos fue superior a este último valor (18 %), e inferior a 15 tcaña.ha⁻¹.

Este es un resultado positivo, pues si se toma en cuenta que con anterioridad se realizaban los estimados cañerem en Cuba, con prácticas convencionales y tradicionales basadas en métodos empíricos (2); entonces, no es casual que, en muchas ocasiones, estos estimados no se cumplan debido a largos períodos de humedad y/o de sequía, a deficiencias en el manejo de las plantaciones, afectaciones por falta de recursos para el desarrollo adecuado de la zafra y altas pérdidas en la cosecha.

En los tres casos en que los rendimientos estimados fueron superiores a los reales (tabla 3), con diferencias por encima de cinco tcaña.ha⁻¹ (27 % del total), en dos de ellos, ocurrieron en empresas azucareras de mayor regímenes de pluviometría: Cienfuegos, con 1721 mm de lluvia promedio y Sancti Spíritus con 1767 mm de lluvia promedio (los valores más altos del país) y, el último caso correspondió a la empresa azucarera Santiago de Cuba, que resulta contrario a las dos anteriores, con el tercer nivel más bajo de pluviometría de la zafra, con solo 1009.93 mm de lluvia promedio (por encima solo de Holguín y Las Tunas, que fueron los más críticos en este sentido).

Tabla 3. Rendimientos estimados y reales de la zafra 2013, en 53 UEB de 11 Empresas Azucareras de AZCUBA

Empresa azucarera	Rendimiento (T caña ha ⁻¹)			Promedio de lluvia (mm)	Cantidad UEB
	Estimado	Real	Diferencias		
Artemisa	45.56	44.00	+ 1.56	1348.00	2
Mayabeque	51.10	50.33	+ 0.77	1315.00	3
Matanzas	46.41	48.50	- 2.09	1280.50	4
Cienfuegos	50.50	42.00	+ 8.50	1721.00	4
V. Clara	41.60	39.50	+ 2.10	1446.00	10
S. Spíritus	49.32	36.00	+ 13.32	1767.00	2
C. de Ávila	47.65	44.75	+ 2.90	1195.00	4
Camagüey	37.55	37.33	+ 0.22	1054.50	7
Las Tunas	34.44	35.70	- 1.26	847.00	4
Holguín	34.65	31.80	+ 2.85	804.00	5
Granma	39.45	38.33	+ 1.12	1229.00	5
S. de Cuba	36.98	23.00	+ 13.98	1009.33	3
Nación	46.83	42.84	+ 3.99	1365.12	53

En la tabla 4 se presenta el análisis de varianzas entre los rendimientos estimados y los reales de la zafra 2013 en Cuba, se observa que no hubo diferencias significativas entre ellos, en ninguno de los niveles de la Prueba de F, lo cual indica que los rendimientos estimados tuvieron un comportamiento similar al de los rendimientos obtenidos. Esto favorece la estimación por modelos estadístico-matemáticos y los hace confiables porque parten de una base más real; o sea, de los rendimientos de las cepas que se cosechan comercialmente en la estructura agrícola cañera del país.

Tabla 4. Analisis de varianzas entre los rendimientos estimados y los reales de la zafra 2013, en Cuba

FV	GL	SDC	CM	Fc	Ft	
					1 %	5 %
Rendimientos	1	0.30	0.01875	0.00420	6208 ns	248 ns
Error	24	8.73	4.36500			
Total	25	9.03				

FV. Fuentes de variación. GL. Grados de libertad. SDC. Suma de las desviaciones cuadradas. CM. Cuadrado medio. Fc. Valor calculado de Fischer. Ft. Valor tabulado de Fischer. Ns. No hubo diferencias significativas

Este resultado es interesante porque los modelos analizados exponen la composición de cepas comerciales que participan en la zafra azucarera, cuando fue considerado el universo de ingenios y empresas del país.

Los resultados de este trabajo coinciden con los informes de otros investigadores, que han tratado de modelar los rendimientos de los cultivos agrícolas de importancia económica, entre los que la caña de azúcar ocupa un lugar importante (11, 12, 13).

CONCLUSIONES

1. Se han definido ecuaciones que permiten pronosticar el Rendimiento Base 96 %, teniendo en cuenta la Pol en caña que entra al ingenio y las pérdidas totales reales del proceso de fabricación de azúcar.

2. Se han definido ecuaciones que permiten pronosticar el rendimiento agrícola, a partir de los rendimientos de la composición de cepas de la agricultura cañera que participan en la zafra azucarera.

RECOMENDACIONES

1. El uso de modelos estadístico-matemáticos como herramienta de trabajo del sistema de AZ-CUBA, destinados a modelar y estimar los rendimientos agroazucareros.
2. Capacitar a los productores cañeros en materia de modelación y estimación de rendimientos y en el tema de evaluación de la calidad de la materia prima del proceso de producción de azúcar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kapadi Mangesh D., Jinendra K and Gugaliya: System and method for sugarcane yield estimation Patent application number: 20090099776. 2009.
2. González, A.; Ferrer, M; Méndez, A.; Gálvez, G.; Acosta, P.P; Sieiro, G.L.; *et al.* Modelos para estimar el rendimiento agrícola en Cuba a partir de la composición de cepas y la lluvia de mayo a octubre. ICIDCA. sobre los derivados de la caña de azúcar, Vol. 50, No. 1, enero-abril: pp. 59-66. 2016.
3. Gálvez, G.; Sigarroa, A.; Soto, O. La modelación del rendimiento agrícola en la caña de azúcar. Caso de estudio. Diversificación 2004, Congreso Internacional sobre Azúcar y Derivados. La Habana, Cuba, 14-18 de junio: 275-285. 2004.
4. Gálvez, G.; López, T. La Informática y sus aplicaciones en la agricultura en Cuba. XII Jornada Científica "Juan Tomás Roig in memoriam", INIFAT, abril 2-4, 2007. La Habana Cuba. Memorias en Disco Compacto. Revista Agrotécnica de Cuba, Vol. 31: 1-3. 2007.
5. Rodríguez, M. Estudio de diferentes variables agro botánicas y de calidad del jugo en la variedad comercial de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido) Ja60-5. 2001.
6. Casanova, E.; Jiménez, G.; González, A.; Ferrer, M.; Vera, A. Calidad de la Caña vs. Azúcar Recuperable. Revista Cuba y Caña. La Habana. Cuba. ISSN1028-6527. No. 2: 28-33. 2015.
7. González, A.; Vera, A.; Mesa, J.M.; García, H.; Ferrer, M.; Casanova, E.; *et al.* Estudio y validación de modelos matemáticos para pronósticos del rendimiento azucarero. Revista Cuba y Caña. Revista Publicada por el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. La Habana. Cuba. ISSN1028-6527. No. 1: 34-39. 2016.
8. González, A.; Ferrer, M.; Jiménez, G.; Casanova, E. Improving the efficiency of the estimation of agricultural and factory yields in Cuba. Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists. Vol. 29: 1301-1306. 2016.
9. Gálvez, G.; Ortiz, R.; Espinosa, R. Análisis de las asociaciones entre diferentes cosechas en experimentos de caña de azúcar (*Saccharum* sp. Híbrido). Cultivos Tropicales. 7(1): 85-89.1985.
10. González, A. Caracterización del efecto ambiental en estudios de regionalización de variedades de caña de azúcar (*Saccharum* sp. Híbrido), en la provincia de Las Tunas. Tesis para optar por el Grado Científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. La Habana, Cuba: 120 p. 1995.
11. Inman-Bamber, N.G. CANEGRO: Its history, conceptual basis, present and future uses. Research and Modeling Approaches to Assess Sugarcane Production Opportunities and Constraints, CSIRO. Division of Tropical Crops and Pastures, Brisbane. 1994.

12. Vítores, X. Especificación de un Modelo Econométrico Espacial Bayesiano para el Pronóstico de la Producción de un Cultivo de Caña de Azúcar. Ingenio San Carlos, Ecuador. 2006.
13. Wynne, A.T.; Murray, T.J.; Gabriel, A.B. Relative cane payment: realigning. 2009.
14. González, R. Bases metodológicas para la modelación y pronóstico de los rendimientos agrícolas e industriales de la caña de azúcar en Cuba, Proyecto de investigaciones. INICA-AZCUBA: 18 p. 2016.
15. González, A.; Casanova, E.; Ferrer, M.; Vera, A. Jiménez, G. Estudio de la potencialidad productiva de las localidades cañeras de Cuba. Modelos para pronósticos del rendimiento agrícola y azucarero. INICA-AZCUBA. Informe Técnico (Inédito). 83 p. 2013.
16. Lerch, G. La Experimentación en las Ciencias Biológicas y Agrícolas. Editorial Científico - Técnico. La Habana: 450 p. 1977.
17. Ferrer, M.; Roque, R.; Lamelas, C.; González, A. Relación entre el tiempo térmico acumulado durante el gran periodo de crecimiento con los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar. Centro Agrícola, 43 (4): 73-78; octubre-diciembre, 2016. ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001. CE: 7815 CF: cag104162102 <http://cagricola.uclv.edu.cu>. 2016.