

PRONOSTICO DE LOS RENDIMIENTOS AGROINDUSTRIALES DE LA VARIEDAD Ja. 60-5 MEDIANTE REGRESION MULTIPLE

J. DIAZ¹ y AYDA ESPINO¹

RESUMEN

Tomando como base las medias de los rendimientos en caña t/ha y azúcar por ciento en caña de las cosechas experimentales del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, durante 11 años, correspondientes a la variedad Ja. 60-5, sobre suelos Ferralítico Rojo y Oscuro Plástico, se evaluaron 11 variables como funciones de los rendimientos, independientemente y en conjunto mediante regresión múltiple. Se seleccionó en el segundo caso, las ecuaciones de mayor significación, y también otras de mayor sencillez o por requerir información más asequible. Se obtuvo una muy ligera disminución de la significación de las regresiones múltiples utilizando totales de lluvia hasta noviembre 30 y agosto 31 anterior a la cosecha, en comparación con el total hasta el día de la cosecha, demostrándose la factibilidad de emplear los dos primeros en el pronóstico. Las variables que mostraron, independientemente, mayor relación con el rendimiento en caña t/ha, fueron: lluvia (total, noviembre 30 y agosto 31), edad y en grado ligeramente inferior la fecha y el número de la cosecha (o tipo de cepa). Las de más relación con el contenido en azúcar por ciento en caña fueron: la fecha de cosecha y la lluvia (esta última sólo en suelo Ferralítico Rojo). Otras variables también fueron significativas en tipos de suelo específico.

¹ Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, ACC, Ciudad Habana.

INTRODUCCION

La utilización de ecuaciones de regresión para el pronóstico de los rendimientos agroindustriales en función de variables agroclimáticas, biológicas o tecnológicas no es algo nuevo en el cultivo de la caña de azúcar. Trabajos de Walter (1910), Fisher (1923), Tengwall y Van Der Zijl (1924), Sun y Chow (1947), Fogliata y Gargiulo (1977), Ometto (1977), González (1981) y Díaz y Espino (1983) reportan ecuaciones para el pronóstico del rendimiento en caña t/ha. Por otra parte Tengwall y Van Der Zijl (1924), Escobar (1961), Fogliata y Gargiulo (1977) y Díaz y Espino (1983) ofrecen ecuaciones para el pronóstico del rendimiento en azúcar por ciento en caña.

El pronóstico o estimado de cosecha, aspecto fundamental en la confección de los planes técnico económicos de las empresas cañeras, se confecciona tradicionalmente sobre la base del criterio visual de expertos, lo cual tiene como desventajas un alto grado de subjetivismo, así como lo prolongado de sus cálculos (González, 1981).

Sobre la base de los antecedentes existentes, y con vistas a mejorar el pronóstico, de los rendimientos agroindustriales de la variedad de caña de azúcar Ja. 60-5, mediante la aplicación de ecuaciones matemáticas, se realizó el presente trabajo en el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar de la Academia de Ciencias de Cuba.

MATERIALES Y METODOS

Para la realización del presente trabajo se tomaron los registros de once años de experimentos comparativos de variedades realizadas por el INICA en distintos puntos del país.

Se tomaron como datos originales las medias de las cuatro o seis parcelas de cada experimentos, agrupándose por los grandes grupos de suelos: Ferralíticos Rojos y Oscuros Plásticos.

Las variables consideradas se muestran en la Tabla 1 y los límites de éstas, en cada tipo de suelo, se encuentran en la Tabla 2.

Tabla No. 1: COEFICIENTES DE CORRELACION Y VALORES DE t DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS.

Variables	Caña t/ha				Azúcar % caña			
	Ferralítico r	Rojo t	Oscuro r	Plástico t	Ferralítico r	Rojo t	Oscuro r	Plástico t
1. No. de cosecha	0,36	4,34**	0,50	5,88**	0,41	5,19**	0,12	1,07
2. Edad	0,54	8,06**	0,63	9,13**	0,44	5,71	0,27	2,55*
3. Fecha de cosecha	0,36	4,34**	0,52	6,27**	0,55	8,33**	0,45	4,95**
4. Nitrógeno	0,30	3,49**	0,04	0,35	0,16	1,74	0,24	2,24*
5. Fósforo	0,28	3,18**	0,07	0,62	0,05	0,53	0,25	2,34*
6. Potasio	0,14	1,51	0,08	0,71	0,21	2,31*	0,24	2,30*
7. Lluvia (ago. 31)	0,59	9,52**	0,64	9,55**	0,52	7,54**	0,14	1,25
8. Lluvia (nov. 30)	0,65	11,82**	0,58	7,63**	0,52	7,54**	0,08	0,71
9. Lluvia total	0,62	10,69**	0,59	7,97**	0,51	7,29**	0,15	1,35
10. Latitud x longitud	0,17	1,85	0,15	1,35	0,12	1,28	0,12	1,07
11. Año	0,14	1,51	0,05	0,44	0,17	1,85	0,41	4,32**
t _{0,05}		1,98		1,99		1,98		1,99
t _{0,01}		2,62		2,64		2,62		2,64

n= 111 en suelo Ferralítico Rojo y 77 en suelo Oscuro Plástico.

Tabla No. 2: LÍMITES DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS.

Variables	Ferralítico Rojo		Oscuro Plástico	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
1. No. de cosechas (cepa)	1	4	1	3
2. Edad (meses)	9,5	25,9	11	24,3
3. Fecha de cosecha (días)	3	179	21	210
4. Nitrógeno (kg/ha de N)	0	259	0	284
5. Fósforo (kg/ha de P_2O_5)	0	144	0	132
6. Potasio (kg/ha de K_2O)	0	180	0	297
7. Lluvia Ago. 31 (mm)	470	3649	118	2242
8. Lluvia nov. 30 (mm)	779	4081	349	2735
9. Lluvia total (mm)	847	4081	562	2790
10. Latitud x longitud	1	5	3	6
11. Año	69	79	69	79

Se evaluaron un total de 11 variables, que incluían aspectos agroclimáticos, biológicos y tecnológicos del cultivo. En esencia se evaluó toda la información numérica o susceptible de ser codificada, registrada en los libros de cosechas experimentales del INICA, sobre la variedad Ja. 60-5.

En el caso de la lluvia, que por referencias de trabajos anteriores se esperaba que fuera una de las variables más relacionadas con los rendimientos, se estudió como tres variables independientes: la lluvia hasta la cosecha, la lluvia hasta noviembre 30 anterior a la cosecha y la lluvia hasta agosto 31 anterior a la cosecha, con vista a comparar la confiabilidad del pronóstico desde las citadas fechas.

La variable de "ubicación geográfica" comprendió entre $75,75^{\circ}$ y $81,90^{\circ}$ de longitud y entre $20,68^{\circ}$ y $22,80^{\circ}$ de latitud. Para la variable "ubicación geográfica" se obtuvo previamente una regresión lineal altamente significativa ($r = 0,98$) entre el producto latitud x longitud y los códigos entre 1 y 7 ($y = 34,60 - 0,018 x$), por lo cual se utilizaron estos últimos en las regresiones. La Tabla 3 ofrece las equivalencias entre ambos.

En las variables de lluvia se adicionó 75 mm por cada riego aplicado, por algunos antecedentes (Jusín y cols., 1982), aunque en realidad no se tuvo un control exacto de la norma aplicada.

En la variable fecha de cosecha se consideró el día primero de diciembre como número uno, enumerándose en forma corrida, diariamente.

La evaluación estadística comprendió en primer lugar el cálculo de coeficientes de correlación y criterio de significación t de cada variable con los rendimientos caña t/ha y azúcar (base 96%) por ciento en caña (Tabla 1), comparándose con la t al 5 y 1% de error.

En segundo lugar se realizaron regresiones múltiples con todas las variables en función lineal y cuadrática, seleccionándose las ecuaciones de mayor significación hasta los tres periodos de lluvia considerados, así como algunas otras de significación cercana a la mejor y que por razones prácticas (como de requerir información más asequible o menos com-

Tabla No. 3: CODIGOS DE LA VARIABLE "UBICACION GEOGRAFICA" (LATITUD x LONGITUD).

Lat. \ Long.	81,89	81,6	81,3	81,0	80,7	78,9	78,6	78,3
22,9		0,96	1,09	1,21				
22,8	0,99	1,11	1,23	1,36	1,48			
22,7	1,14	1,26	1,38	1,50	1,63			
22,6	1,28	1,41	1,53	1,65	1,77			
22,5			1,67	1,80	1,92			
22,4				1,94	2,06	22,78		
22,3						2,93	3,05	
22,2						3,07	3,19	
22,1						3,21	3,33	3,45
22,0						3,36	3,47	3,59
21,9						3,50	3,62	3,74
21,8						3,64	3,76	3,88
21,7						3,78	3,90	4,02
21,6						3,92	4,04	4,16
21,5							4,18	4,30
21,4								4,44
21,3								4,58
21,2								4,72
21,1								4,86
21,0								5,00
20,9								5,14
20,8								
20,7								

$$y = 0,018x + 34,6 \quad (r = 0,98)$$

Tabla No. 3: CODIGOS DE LA VARIABLE "UBICACION GEOGRAFICA" (LATITUD x LONGITUD). (CONTINUACION).

Long.	78,0	77,7	77,4	77,1	76,8	76,5	76,2	75,9	75,75
Lat.									
22,9									
22,8									
22,7									
22,6									
22,5									
22,4									
22,3									
22,2									
21,1									
22,0	3,71								
21,9	3,85								
21,8	3,99	4,11							
21,7	4,13	4,25	4,39						
21,6	4,27	4,39	4,51	4,62					
21,5	4,41	4,53	4,65	4,76					
21,4	4,55	4,67	4,79	4,90	5,02				
21,3	4,70	4,81	4,93	5,04	5,16	5,27			
21,2	4,84	4,95	5,06	5,18	5,29	5,41	5,52	5,64	5,69
21,1	4,98	5,09	5,20	5,32	5,43	5,55	5,66	5,77	5,83
21,0	5,11	5,23	5,34	5,46	5,57	5,68	5,80	5,91	5,97
20,9	5,26	5,37	5,48	5,60	5,71	5,82	5,93	6,05	6,10
20,8	5,40	5,51	5,62	5,73	5,85	5,96	6,07	6,18	6,24
20,7				5,87	5,98	6,10	6,21	6,32	6,38

$$y = 0,018x + 34,6 \quad (r = 0,98).$$

pleja), pudieran ser de mayor utilidad para la producción. A cada una de éstas se le calculó el coeficiente de determinación y la F (Fisher - Snedecor) comparándose con la F al 1% de error (Tabla 4 y 5).

RESULTADOS Y DISCUSION

Las regresiones independientes de las 11 variables estudiadas con los rendimientos agroindustriales (Tabla 1) que mayor relación significativa tuvieron con el rendimiento en caña t/ha en ambos suelos, fueron: la lluvia (en sus tres períodos) y la edad, y en grado ligeramente inferior, la fecha de cosecha y el tipo de cepa (o número de la cosecha). También resultaron significativas la fertilización nitrogenada y fosfórica, en suelo Ferralítico Rojo.

Estos resultados son similares a los reportados anteriormente para la variedad C. 87-51 (Díaz y Espino, 1983), con la diferencia de que en ésta también resultaron significativos el potasio y la ubicación geográfica. Ratifican, además, los reportes de Walter (1910), Fisher (1923), Tengwall y Van der Zijl (1924), Sun y Chow (1947), Fogliata (1947), Fogliata y Gargiulo (1977), Ometto (1977) y González (1981), quienes encontraron correlaciones altamente significativas entre la lluvia sola, lluvia más el riego ó lluvia más la edad, con el rendimiento agrícola de caña, ofreciendo ecuaciones para el pronóstico de éste con varios meses de anticipación a la cosecha.

Las variables que mayor relación significativa tuvieron con el rendimiento en azúcar por ciento en caña (Tabla 1), sobre suelo Ferralítico Rojo, fueron: la fecha de cosecha y la lluvia (en sus tres períodos), seguidos de la edad, el número de la cosecha y por último la fertilización potásica, esta última sólo al 5%. Sobre suelo Oscuro Plástico la variable que mostró mayor relación significativa también fue la fecha de cosecha, y ligeramente inferior estuvo el año cronológico. Además, resultaron significativas al 5%: la edad y la fertilización nitrogenada, fosfórica y potásica.

Tabla No. 4: ECUACIONES DE REGRESION MULTIPLE PARA CAÑA t/ha.

<u>Suelo Ferralítico Rojo</u>			
	R^2	Fc	$F_{0,01}$
$y = 21,36x_1 + 16,16x_2 + 0,037x_9 = 5,51x_1^2 - 0,474x_2^2 - 107,55$	0,59	30,22	3,19
$y = 15,60x_2 + 0,042x_8 - 1,36x_1^2 - 0,498x_2^2 - 76,19$	0,60	39,75	3,50
$y = 0,299x_5 + 0,033x_8 - 1,22x_1^2 + 40,52$	0,60	53,50	3,97
$y = 19,04x_2 + 0,037x_7 - 1,29x_1^2 - 0,564x_2^2 - 87,75$	0,56	33,74	3,50
$y = 22,10x_1 + 0,031x_7 - 6,03x_1^2 + 0,0006x_4^2 + 40,85$	0,56	33,74	3,50
<u>Suelo Oscuro Plástico</u>			
$y = -63,71x_1 - 0,333x_3 - 0,250x_5 + 0,034x_9 + 10,47x_1^2 + 173,53$	0,67	28,83	3,29
$y = -65,73x_1 - 0,276x_3 - 0,273x_5 + 0,034x_8 + 10,77x_1^2 + 176,20$	0,66	27,56	3,29
$y = -73,34x_1 - 0,284x_3 + 0,029x_7 + 12,99x_1^2 + 191,21$	0,66	34,94	3,59
$y = -23,58x_1 - 0,314x_3 + 0,024x_8 + 148,64$	0,61	38,06	4,07
$y = -19,67x_1 + 0,039x_7 + 108,20$	0,56	47,10	4,90

Tabla No. 5: ECUACIONES DE REGRESION MULTIPLE PARA AZUCAR PORCIENTO EN CAÑA.

<u>Suelo Ferralítico Rojo</u>			
	R^2	Fc	F _{0,01}
$y = 0,016x_3 - 0,0011x_9 + 0,969x_{10} - 0,285x_{10}^2 + 14,02$	0,54	31,11	3,50
$y = 0,014x_3 - 0,0010x_8 + 0,959x_{10} - 0,276x_{10}^2 + 13,85$	0,53	29,89	3,50
$y = 0,015x_3 - 0,00105x_7 + 0,982x_{10} - 0,271x_{10}^2 + 13,32$	0,52	28,70	3,50
$y = 0,413x_1 + 0,013x_3 - 0,0062x_6 - 0,00073x_7 + 13,32$	0,53	29,89	3,50
$y = 2,39x_1 + 0,018x_3 + 0,093x_5 - 0,053x_6 + 1,122x_{10} - 0,362x_1^2 - 0,00055x_5^2 + 0,00017x_{10}^2 + 8,76$	0,62	18,31	2,59
<u>Suelo Oscuro Plástico</u>			
$y = 2,09x_1 + 0,069x_3 - 0,015x_4 + 0,038x_5 - 0,430x_1^2 - 0,00027x_3^2 + 8,06$	0,46	9,94	3,07
$y = 0,066x_3 - 0,011x_4 + 0,031x_5 - 0,00026x_3^2 + 10,22$	0,41	12,51	3,59
$y = 0,062x_3 - 0,00024x_3^2 + 0,0010x_5^2 + 10,08$	0,37	14,28	4,07
$y = 0,074x_3 + 0,0019x_2^2 - 0,00028x_3^2 + 0,043x_{10} + 8,03$	0,35	9,68	3,59

En comparación con la variedad C. 87-51, anteriormente reportada - (Díaz y Espino, 1983), existe coincidencia en las variables principales, o sea, las que más influyeron, pero se observan algunas diferencias en las demás variables. Así, en la Ja. 60-5 se obtuvo sobre suelo Ferralítico Rojo, significación con fertilización potásica, no así con año cronológico ni ubicación geográfica, mientras que en suelo Oscuro Plástico, se obtuvo significación con fósforo y potasio, no así con la ubicación geográfica, y sólo se obtuvo al 5% con la edad.

En general, la influencia fundamental del período o fecha de la cosecha (por las condiciones climáticas que la acompañan) en la formación del rendimiento en azúcar por ciento en caña, ratifica todo lo reportado por Humbert (1982) en la literatura sobre la maduración. También se ratifican los reportes de Tengwall y Van Der Zijl (1924), Escobar (1961), Fogliata y Gargiulo (1977) y Díaz y Espino (1983), quienes obtuvieron correlaciones altamente significativas entre la lluvia sola, lluvia más riego, lluvia más edad y otros con el rendimiento en azúcar por ciento en caña, ofreciendo ecuaciones para el pronóstico de éste.

Las regresiones múltiples seleccionadas con sus criterios de significación F, todas significativas al 1% de error, se muestran en las Tablas 4 (caña t/ha) y 5 (azúcar por ciento en caña).

En suelo Oscuro Plástico se obtuvieron mayores coeficientes de determinación para caña t/ha y menores coeficientes para azúcar por ciento en caña, en comparación con el suelo Ferralítico Rojo. En general se observa una mayor significación en las ecuaciones para caña t/ha que para azúcar por ciento, siendo esto más marcado en suelo Oscuro Plástico y menos en Suelo Ferralítico Rojo.

La comparación entre las regresiones múltiples incluyendo lluvia en los tres períodos considerados, tanto para caña t/ha, en ambos suelos, como para azúcar por ciento en caña, sobre suelo Ferralítico Rojo, demuestra la factibilidad de utilizar la lluvia hasta agosto 31 y hasta noviembre 30, sin pérdida de confiabilidad con relación a la lluvia hasta el mismo día de la cosecha. En el parámetro azúcar por ciento en caña, sobre

suelo Oscuro Plástico, ninguna de las ecuaciones seleccionadas incluyó variables algunas de lluvia.

Resulta de interés el hecho de que en el parámetro caña t/ha sobre suelo Oscuro Plástico, la edad no resultó incluida en ninguna de las ecuaciones más significativas, a pesar de haber sido una de las variables de mayor significación en las regresiones independientes con caña t/ha sobre este tipo de suelo (Tablas 1 y 4).

También se debe destacar la inclusión de algunos de los tres elementos fertilizantes en varias ecuaciones de los dos parámetros de rendimiento y sobre ambos suelos.

Se debe tener en cuenta que los datos utilizados provienen de parcelas experimentales con condiciones satisfactorias de población y agrotecnia, y sin afectación grave por plagas ni enfermedades. Se requiere, por tanto, una posterior etapa de ajuste y comprobación de las ecuaciones propuestas bajo condiciones normales de producción.

RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar la utilización de las ecuaciones propuestas a una empresa cañera de la región occidental y a otra de la región oriental comprendidas dentro de las coordenadas estudiadas, con vistas a comprobar y ajustar las ecuaciones de acuerdo a las condiciones de producción.

REFERENCIAS

- DIAZ, J. y ESPINO, A., 1983. Pronóstico de los rendimientos agroindustriales de la variedad de caña de azúcar C. 87-51 mediante regresión múltiple. *Cienc. Téc, Agr. Cañera*, 3(1).
- ESCOBER, R., 1961. The influence of weather factors on rendement and tonnage of sugarcane. En: *Proceedings of Philippines Sugar Technologists 9th Annual Convention*, Manila. 310, 175-181.

- FISHER, R., 1923. The influence of rainfall on the yield of wheat at -
Rothamsted. Phil. Trans. Roy. Soc., B. 213, 89.
- FOGLIATA, F., 1974. Sugarcane irrigation in Tucuman. En: Proceedings XV
Congress ISSCT. Durban, Vol. 2, 116; 665-667,
- FOGLIATA, F. y GARGIULO, C., 1977. Sugarcane production in function of
the rainfall and nitrogen application. En: Proceedings XVI Con-
gress ISSCT. Sao Paulo, p. 1417-1424.
- GONZALEZ, I., 1981. Determinación del estimado en la producción cañera.
En: Resúmenes, 43 Congreso de la ATAC, La Habana, p. 65.
- HUMBERT, R., 1982. El cultivo de la caña de azúcar. Editorial Continen-
tal, México D.F., 719 p.
- JUSIN, I.; ACOSTA, R. y LINARES, F., 1982. Metodología para determinar
la eficiencia económica del riego del cultivo de la caña de -
azúcar. Cien. Agr. 13:106-117.
- OMETTO, J., 1977. An equation for the estimation of agroindustrial su-
garcane yield in the Piracicaba region. En: Proceedings XVI -
Congress ISSCT. Vol. 2, Sao Paulo, p. 899-905.
- SUN, V. y CHOW, N., 1947. The effect of climatic factors on the yield -
of sugarcane in Taiwan. Taiwan Sug. Exper. Sta., 2:44-98. (En
chino con sumario en inglés).
- TENGWALL, T. y VAN DER ZIJL, C., 1924. Het Verband Tusschen Klimaat en
snikerproduct of Java. Meded. Proefst. Java. 65-139.
- WALTER, A., 1910. The sugar industry of Mauritius. A study in correla-
tion. Londres, p. 228.

ABSTRACT -

PROMONSTIC OF SUGARCANE YIELD IN Ja. 60-5 VAR. THOROUGH MULTIPLE REGRES- SION.

Eleven variables were independently and jointly evaluated, the latter
through multiple regression, related to yield on the basis of yield means
in cane t/ha and sugar % cane, recorded from the experimental harvests

of Ja. 60-5 var., on Plastic Dark and Red Ferralitic soils, at the Sugar-cane Research Institute for 11 years. With regard to the 2nd. case, the most significant equations were selected, besides some simpler ones or requiring more available information. There was a very slight decrease on multiple regression significance by means of using the whole rainfall until Nov. 30 and Aug. 31, prior to harvest, when compared to the actual harvest date, thus both are feasible for prognostics. So far as independent variables are concerned, those being closely related to yield in cane t/ha were: rainfall (total, Nov. 30 and Aug. 31), plant age and to a lesser degree, harvest date and crop number (or type of stool). Also, harvest date and rainfall (the latter only in Red Ferralitic soils) were closely related to sugar % cane. Some other variables were meaningful in specific soil groups.

Manuscrito recibido el 6/I/84.