

ESTUDIO SOBRE PRONOSTICOS DE RENDIMIENTO DE COSECHA EN ARROZ DE SECANO USANDO TECNICAS DE REGRESION MULTIPLE

Florentino Vega *
Rolando Lasso G. **

Se desarrolló un modelo matemático para pronósticos de rendimiento, utilizando el cálculo de regresiones y tomando como variables independientes la altura final de la planta, largo y peso de panoja, ahije efectivo y porcentaje de granos vanos. El modelo de regresión con mayor ajuste, fue aquel donde todas las variables en estudio fueron incluidas: sin embargo, en algunos casos puede utilizarse sólo para ahije efectivo y largo de la panoja, con muchas probabilidades de obtenerse buenos pronósticos.

Es necesario el desarrollo de una metodología de fácil uso para predecir el rendimiento en campo con un grado aceptable de precisión.

Los agentes de crédito, seguro agrícola y los economistas con frecuencia necesitan estimar la cosecha futura para tomar importantes decisiones. En la mayoría de los casos, las determinaciones se logran después de estimar los rendimientos mediante una inspección ocular de las parcelas, método que conlleva imprecisiones.

La cosecha de pequeñas parcelas dentro de los campos comerciales, para establecer un promedio de rendimientos por hectárea, es un procedimiento adecuado pero lento, laborioso y caro.

A través de los registros climatológicos, es posible estimar la producción en vastas zonas geográficas (Huddleton, 1977); pero, a nivel de parcelas, este método no es factible.

La medición de los componentes de rendimientos y otras características morfológicas de fácil mensura, parece ser la más apropiada para realizar estimaciones de una futura cosecha en una finca.

MATERIALES Y METODOS

Los datos de las variables de rendimiento fueron extraídos de experimentos de comparación de variedades, realizados durante el período comprendido entre 1976 y 1981 (**Cuadro 1**), en el Campo Experimental de Chichebre, Bayano, ubicado a 3 msnm, en el litoral Pacífico con temperaturas promedios anuales de 27°C. La precipitación pluvial promedio anual es de aproximadamente 2,000 mm.

* Biometrista, MSc., Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

** Fitomejorador, PH.D., Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

Cuadro 1. Resultados experimentales de las características agronómicas de la variedad Anayansi - Secano - Bayano
1976 - 81

No. Observaciones	años	Altura de la planta (cm)	Largo de la panoja (cm)	No. de hijos 0.2 m ²	Granos vanos o/o	Peso de la panoja (kg)	Rendimiento (kg/ha)
1	1976	85.1	21.5	76	88.2	.0017	1974
2	1976	85.1	21.7	97	28.2	.0019	2193
3	1976	85.1	26.2	67	28.2	.0033	2570
4	1976	85.1	18.9	60	28.2	.0013	1368
5	1976	86.6	22.6	84	20.0	.0025	1734
6	1976	90.8	23.6	123	11.0	.0034	3275
7	1976	88.6	25.5	136	15.0	.0049	4021
8	1976	92.4	26.7	109	18.0	.0034	4012
9	1977	89.7	22.7	57	23.4	.0033	2304
10	1977	88.9	22.7	64	24.4	.0026	2143
11	1977	91.9	22.7	59	20.4	.0022	1341
12	1977	89.0	22.7	69	17.6	.0046	1487
13	1978	84.0	20.8	78	18.0	.0019	3704
14	1978	85.0	20.8	86	36.0	.0019	3319
15	1978	82.0	22.0	85	43.0	.0018	2693
16	1978	78.0	22.8	89	16.0	.0020	2952
17	1978	85.0	22.7	82	47.0	.0013	3187
18	1979	69.0	22.7	68	64.0	.0014	2042
19	1979	79.0	22.7	82	48.0	.0013	2479
20	1979	81.0	22.7	56	29.0	.0024	1918
21	1980	78.0	17.0	122	15.0	.0022	2445
22	1980	75.0	22.0	89	31.0	.0021	2483
23	1980	80.0	24.0	94	16.0	.0025	2631
24	1980	82.0	24.0	101	22.0	.0017	2368

La época de siembra coincidió con la segunda fase de siembras comerciales en las fincas de la Corporación Bayano, a finales de julio. La cosecha se efectuó en los primeros días de diciembre.

La variedad utilizada fue Anayansi. El suelo utilizado es del orden inceptisol, franco arcilloso con pH 5.5 y contenido de 30/o de materia orgánica.

En todos los casos, los experimentos se manejaron bajo condiciones de secano. Las parcelas midieron 2 x 5m. La densidad de siembra fue de 100 kg de semilla por hectárea, en hileras separadas a 0.20 metros.

Se fertilizó con 100 kg de N/ha y 40 kg de P₂O₅/ha. El fósforo se colocó en bandas, al momento de la siembra; el nitrógeno se fraccionó en tres partes iguales aplicados: a la siembra, macollamiento y al primordio.

Las variables estudiadas y el procedimiento para tomar los datos fueron los siguientes:

a. Altura final (cm) = X₁

A los 130 días después de la siembra, se midió la altura de cinco plantas en cada parcela, desde el suelo a la extremidad de la panoja.

b. Largo de la panoja (cm) = X₂

Se midieron cinco panojas en la parcela, desde el último nudo a la punta del grano que ocupa el ápice de la panoja.

c. Ahije (m²) = X₃

Poco antes de la cosecha, se contó en cinco puntos diferentes de cada parcela, las macollas productivas (con panojas) en un metro de hilera.

d. Porcentaje de granos vanos (%) = X₄

El porcentaje se calculó en base a la totalidad de los granos buenos y vanos, de las cinco panojas tomadas de cada parcela.

e. Peso de panojas (kg) = X₅

Se pesaron cinco panojas, cortadas a la altura del último nudo, y se calculó el peso promedio. Las panojas se cosecharon maduras y secas.

f. Rendimiento (kg) = Y

Se eliminaron dos hileras completas a cada lado de la parcela, y se cosecharon únicamente las seis hileras centrales. Igualmente se eliminó 0.5 m en cada extremo de las hileras, dejando una parcela efectiva de 4.8 metros. La cosecha se realizó a mano, y los rendimientos se expresaron en kilogramos por hectárea de arroz limpio al 14% de humedad.

Normalización de variables

Para cumplir con los requisitos de los análisis de regresión y correlación, los datos de las variables cuya distribución no era la normal, fueron transformados de la forma siguiente: No. de hijos/0.2 m² a la raíz cuadrada y el porcentaje de granos vanos al arcoseno de la raíz cuadrada del porcentaje (Anderson y Bancroft, 1952; Steel y Torrie, 1960; de Souza, 1977).

Caracterización de variables

En esta etapa se efectuaron una serie de estudios para seleccionar las variables que mejor describían la variabilidad del rendimiento de campo.

- a. Se calcularon las correlaciones existentes entre parejas de variables, tomando todas las combinaciones posibles para definir la dependencia entre variables (Sarkar, Bidwel y Marcua, 1960).
- b. El estudio de caracterización consistió en calcular las regresiones simples, lineales, cuadráticas, logarítmicas y geométricas entre diferentes variables y el rendimiento. Estos resultados sirvieron para elegir aquellas variables que presentaron un coeficiente de determinación significativo estadísticamente.
- c. La última parte de la caracterización estuvo constituida por el desarrollo de diversos modelos de regresión múltiple, lineales y no-lineales, trabajados con el paquete de programas de computación, Statistic Analysis System (SAS), versión 1979.
 1. Regresión lineal múltiple
 2. Regresión stepwise
 3. Regresión cuadrática múltiple

Se utilizó el diseño de muestreo sistemático por considerarlo de mayor facilidad para el trabajo en campo y, debido a que otros métodos no logran superarlo en eficiencia y precisión con este tipo de investigación (Cochran, 1975).

RESULTADOS Y DISCUSION

Las mejores variables para pronosticar el rendimiento de granos fueron: largo de panoja y número de hijos/0.2 m² (ofrecen un modelo de regresión aceptable como se aprecia en las Figuras 1, 2 y 3).

Sin embargo, como ambas características están altamente correlacionadas, se debe utilizar únicamente la más relacionada con el rendimiento que es número de hijos 0.2m², de acuerdo a las relaciones que se observan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Coeficientes de correlación para diferentes características.

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y
Altura final (X ₁)		0.896**	0.793**	0.559*	0.025	0.36
Largo de panoja (X ₂)			0.773**	0.602*	0.084	0.452*
No. de hijos/0.2m ² (X ₃)				0.424	0.019	0.621*
Porcentaje de granos vanos (X ₄)					0.523*	0.124
Peso de panoja (X ₅)						0.157
Rendimientos de granos (Y)						

* Existe correlación significativa ($P < .05$)

** Existe correlación altamente significativa ($P < .01$)
 $r = 0.44$; $P \leq .05$.

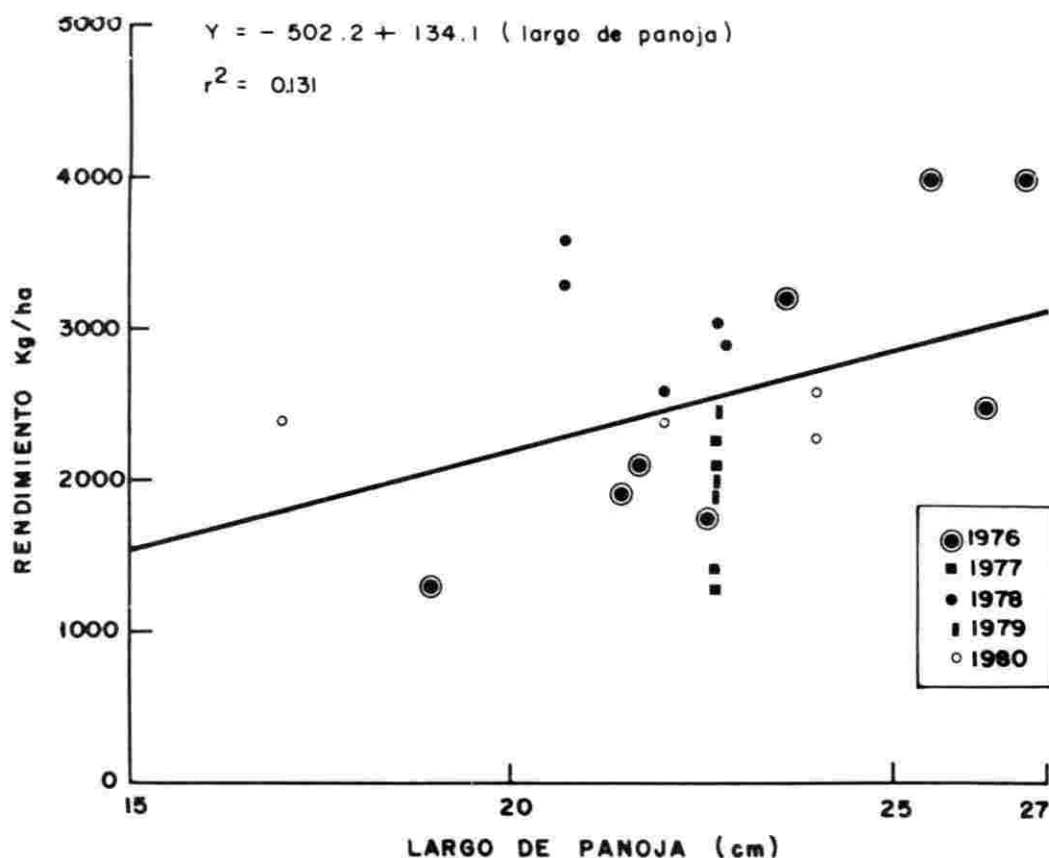


FIGURA 1. EFECTO LINEAL DEL LARGO DE PANOJA EN EL RENDIMIENTO DE ARROZ, VARIEDAD ANAYANSI. BAYANO, 1976-81

Se efectuaron los cálculos para los diferentes tipos de regresiones simples. Para todas las variables, las regresiones lineales resultaron con coeficientes de determinación diferentes, pero ninguno resultó significativo. Por consiguiente, los estudios de regresión simple no dan base para discriminar entre variables.

Los resultados indicaron que los dos tipos de modelos de regresión múltiple, lineal y no lineal, presentaron una precisión similar (Cuadro 3); siendo lineal múltiple el de manejo más sencillo. Los coeficientes de determinación más altos se obtuvieron cuando se utilizan todas las variables.

Siendo la variable porcentaje de granos vanos (X_4) de difícil mensura en el campo, se calcularon regresiones sin las mismas; las precisiones obtenidas fueron aceptables.

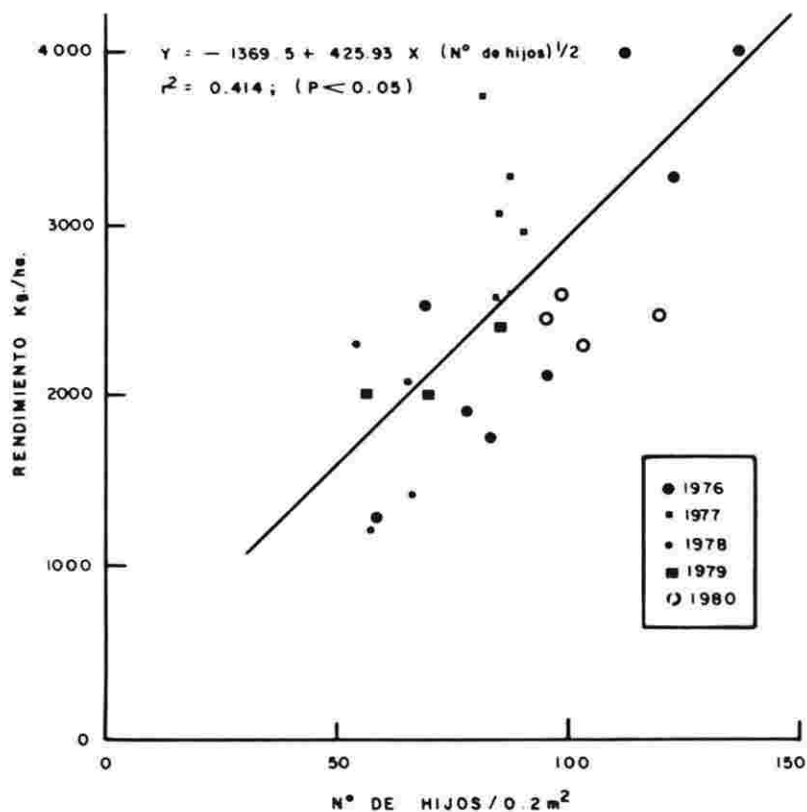


FIGURA 2. EFECTO DEL NUMERO DE HIJOS EN EL RENDIMIENTO DE ARROZ, VARIEDAD ANAYANSI. BAYANO, 1976 - 1981

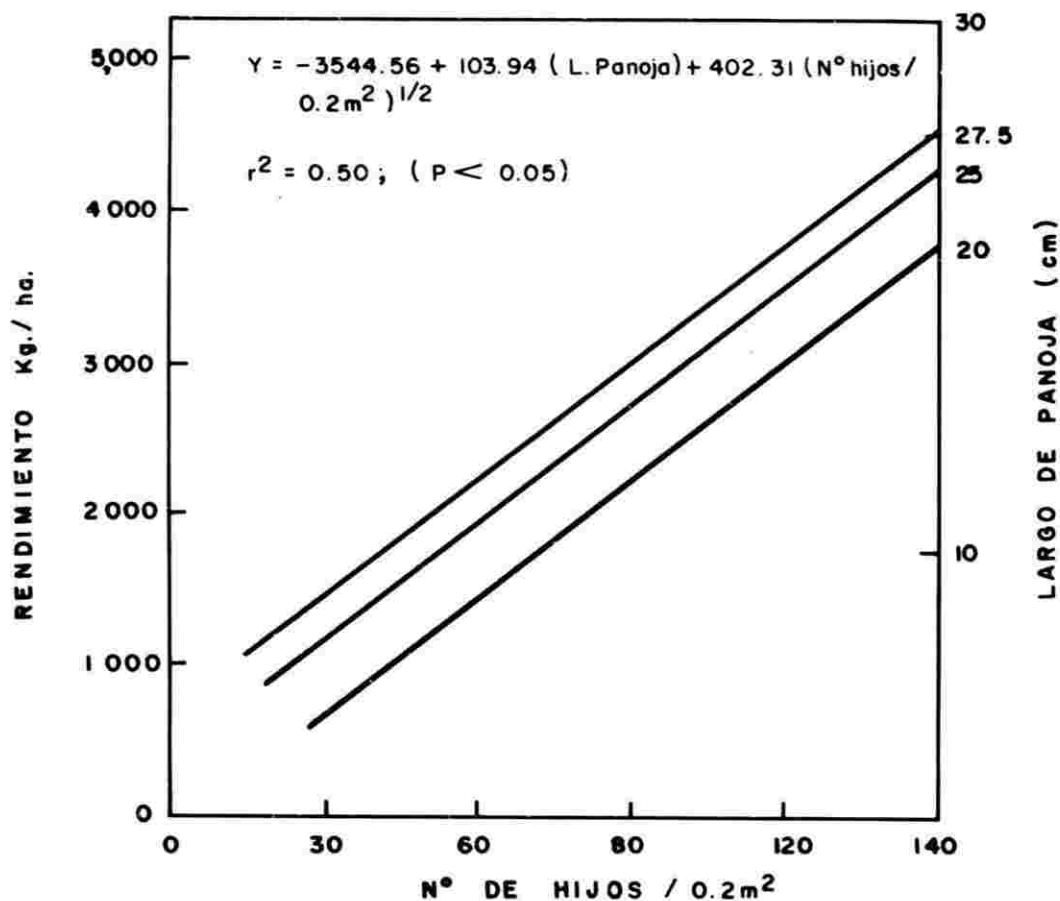


FIGURA 3. EFECTO DEL LARGO DE PANOJA Y NUMERO DE HIJOS, EN EL RENDIMIENTO DE ARROZ. BAYANO 1976 - 1981

En estudios de pronósticos de cosecha por Urriola y Reyes (1980), y Rodríguez y Gordón (1981), con parcelas comerciales en la misma área, se estableció que la variable año influía notablemente en la precisión del modelo. Por ello, al disponer de estos datos, recogidos durante seis años consecutivos, se calcularon las regresiones incluyendo la variable año. En este estudio los resultados obtenidos indican una ligera mejora en la precisión de los modelos, cuando se incluye esta variable.

Cuadro 3 Coeficientes de determinación de las ecuaciones de regresión múltiple estimadas.

Modelo	Coeficiente de determinación (r^2)		Coeficiente de variación (C.V.)	
	Sin incluir la variable año	Incluyendo la variable año	Sin incluir la variable año	Incluyendo la variable año
Lineal múltiple	0.466*	0.526*	23.84	24.20
Cuadrática	0.501*		27.44	
Stepwise	0.441*	0.459*	22.49	22.49
Cuadrática (sin granos vanos)	0.467*		26.04	
Stepwise (sin granos vanos)	0.441*	0.495	22.49	22.49

* Cuando $r \geq 0.44$ es significativo con $P \leq 0.05$.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos tenemos que:

- Los coeficientes de determinación más altos se obtuvieron utilizando todas las variables disponibles.
- De acuerdo a los resultados anteriormente descritos, se propone el siguiente modelo de regresión lineal múltiple.

$$Y = -7394.66 + 32.0149 X_1 + 103.763 X_2 - 450.793 X_3 + 122.433 \text{ Arcoseno } X_4 - 25,235.94 X_5 \quad (r^2 = 0.526; 0.01)$$

- Para usar estas ecuaciones en esta clase de pronósticos en arroz, es necesario contar con estudios de un mínimo de cuatro años, la variable año debe estar incluida en el estudio para estimar la influencia de los factores, tales como condiciones climatológicas imperantes cada año, incidencia de plagas, enfermedades, variaciones en el manejo, etc.

ABSTRACT

A mathematical model was developed to foretell yield by mean of regression calculation using as independent variables the final height of the plant, length and weight of panicle, effective bud and percentage of empty grains. The regression model where all variables under study were included was the one with greater adjustment nevertheless, in some cases it can be used only for effective bud and length of panicle, with a high probability of finding good predictions.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, R. L. y BANCROFT, T. A. Statistical theory in research. McGraw-Hill, 1952. 399p.
- BARR, A. et al. SAS User's guide. Raleigh, North Carolina, SAS Institute Inc., 1979. 494p.
- COCHRAN, W. G. Técnicas de muestreo. 5a.ed. México, Editorial Continental, 1975. 507p.
- HUDDLESTON, H. F. Técnicas de muestreo para medición y pronósticos de los rendimientos de los cultivos. Departamento de Agricultura, 1978. 171p.
- JACQUOT, M. Quelques observations sur l'influence du milieu dans les cultures de riz pluvial. L'agronomie tropicale (Francia) 27(10):17-25. 1972.
- RODRIGUEZ, P. y GORDON, R. Pronósticos de cosecha de arroz a través de características agronómicas. II. Panamá, Facultad de Agronomía, Universidad de Panamá, 1981. 135 p. (Tesis, Ing. Agr.).
- SARKAR, f. K.; BIDWELL, O. W. y MARCUS, L. F. Selection of Characteristics for numerical classification of soils. Soil Science Society of America. Proceedings (USA) 30(2):269-272. 1966.
- SOUSA, B. B. DE. Uso de transformações que visam a homocedasticidade. Instituto de Ciências Exactas, Universidade de Brasília, 1977. 63p. (Tesis Mag.Sc.).
- STELL, R. G. D. y TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics. New York, McGraw-Hill, 1969. 482p.
- URRIOLA, E. y REYES, R. Pronósticos de arroz a través de características agronómicas. I. Panamá, Facultad de Agronomía, Universidad de Panamá, 1980. 125p.