

# Estimación de rendimientos en maíz en base al peso de mazorcas y contenido de humedad del grano por regresión múltiple<sup>1</sup>

Raúl Barnier B.<sup>2</sup>, Alejandro Violić M.<sup>3</sup>,  
Surendra P. Sinha<sup>4</sup> e Ismael Parker V.<sup>5</sup>

## INTRODUCCION

A medida que los programas de mejora-

miento de maíz crecen en magnitud se complica el problema de reducir a grano el producto de cada parcela experimental para poder así estimar los rendimientos en grano seco por unidad de superficie. Aunque ningún procedimiento puede ser tan preciso como el de desgranar las mazorcas de cada tratamiento, pesar lo granos, determinar la humedad del grano y reducir su peso a un equivalente de 15 o 15,5% de humedad, como se acostumbra, este sistema podría relegarse sólo a aquellos casos en que se desee medir con gran precisión pequeñas diferencias entre tratamientos.

El propósito de la presente investigación ha sido determinar ecuaciones de regresión basa-

<sup>1</sup> Recepción manuscrito: 23 de junio de 1970.

<sup>2</sup> Ing Agr Proyecto Estadística, Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Casilla 5427, Santiago, Chile. Profesor de Estadística, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Valparaíso. Profesor Auxiliar de Estadística, Facultad de Agronomía, Universidad de Chile.

<sup>3</sup> Ing Agr PhD, Proyecto Mejoramiento de Maíz, Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Profesor de Genética Vegetal Aplicada, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción.

<sup>4</sup> PhD, Profesor de Estadística, Facultades de Agronomía, Universidad de Chile y Universidad Católica de Chile.

<sup>5</sup> Ing Agr Proyecto Mejoramiento de Maíz, Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

das en un alto número de muestras, que permitan estimar rendimientos en grano con 15 por ciento de humedad, en función del peso total de mazorcas por parcela en el momento de la cosecha y de la humedad del grano.

### REVISION DE LITERATURA

Diversos investigadores, entre otros Kieselbach (4), han confeccionado tablas para obtener equivalencias entre libras de maíz en mazorca con humedad variable, y bushels de grano a 15,5% de humedad.

Violic y San Juan (6) calcularon una tabla de factores para reducir rendimientos de mazorcas a qq/mm de grano por parcela, con 15% de humedad. Esta tabla comprende un rango de humedad de 12 a 36% con intervalos de 0,1% y 1% para granos dentados y córneos, respectivamente, pero presenta el inconveniente de desviarse de los valores esperados cuando las humedades se acercan a los extremos de la tabla.

Gorsline y Thomas (3) probaron ecuaciones polinomiales de diversos grados para transformar el rendimiento de mazorcas por parcela a grano de maíz con humedad reducida a 15,5 por ciento. Observaron que de acuerdo con la suma de los cuadrados del error, éste disminuye a medida que el grado de la ecuación aumenta hasta llegar al 4º grado y que este polinomio se ajusta a los datos reales mejor que ningún otro. Recomendaron ecuaciones de 2º grado para usar con calculadoras, y de 4º grado para computadoras, para transformar en bushels de grano a 15,5% de humedad por acre, los rendimientos en libras de mazorcas por parcela de 1/1.000 acre, considerando la humedad determinada en el momento de la cosecha.

### MATERIAL Y METODO

De un ensayo sembrado en la primavera de 1966 en la Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, destinado a medir diversas etapas de crecimiento en maíz, se tomaron muestras periódicas de 6 híbridos cultivados en Chile. El muestreo consistió en cosechar semanalmente un mínimo de 5 mazorcas primarias de plantas individualmente espaciadas a 0,20 x 0,80 m, equivalente a una densidad de 62.500 plantas por hectárea; el período de muestreo se prolongó por 10 a 12 semanas por híbridos. Se consideraron solamente plantas en condiciones normales de competencia y muestreadas al azar. Las mazorcas de cada híbrido fueron identificadas individualmente, deschaladas, pesadas y desgranadas. El grano fue pesado y secado en hor-

no a 80º C, hasta alcanzar peso constante y se determinó su humedad residual. La humedad total del grano en porcentaje se calculó según el método 44-01 de AACC (1).

Los híbridos considerados en este estudio, tamaño de muestra y los rangos de humedad de cosecha para cada uno se indican en el Cuadro 1.

**Cuadro 1 — Tamaños de las muestras y rangos de humedades para 6 híbridos de maíz.**

Híbridos	Tamaño de la Muestra	Rangos de Humedades
W465	63	61,67 - 14,31
W335	57	50,38 - 14,56
MA5	68	49,70 - 14,50
T90	61	49,61 - 14,88
MA2	67	66,02 - 15,56
T110	64	69,63 - 15,34

Total observaciones: 380

De acuerdo con su período vegetativo, los híbridos T90 y W335 se clasifican como precoces; W465 y T110, como semiprecoces; y MA2 y MA5, como semitardíos. Según el tipo de grano, T90, W335, W465 y T110 son dentados; MA2, semidentados; y MA5, córneo.

Basado en los resultados de Gorsline et al. (3), se estimó necesario probar varios modelos de regresión con el fin de lograr un mejor ajuste; para ello se calcularon las regresiones para modelos lineal a cuártico.

Para el análisis de regresión se usó el modelo no corregido indicado en las ecuaciones (I), (II), (III), (IV) y (V), Cuadro 2. Para la estimación de los parámetros se usó el método de los mínimos cuadrados (2), (5). El análisis de los datos fue realizado en una computadora IBM 360-40, usando un programa de regresión múltiple adaptado por S.P. Sinha y R. Barnier, en lenguaje FORTRAN IV. Por este sistema se calculó las regresiones para las 5 ecuaciones citadas más arriba, en base a las 380 observaciones, expresando los datos en gramos por mazorca y además en kilogramos de mazorcas para parcelas experimentales de 30 plantas. Para este último caso se multiplicó por 30 cada observación original.

Con el objeto de hacer posible una comparación de las distintas ecuaciones de predicción, se calculó por el método directo los rendimientos en grano a 15% de humedad de 21 híbridos simples dentados y semidentados provenientes de un ensayo de campo efectuado en la Estación Experimental La Platina.

**Cuadro 2 — Modelos de regresión múltiple para la estimación del peso del grano base 15% de humedad ( $\hat{Y}$ ), en función del peso de mazorca ( $X_1$ ) y contenido de humedad del grano ( $X_2$ ).**

(i) *Modelo Lineal:*

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$$

(ii) *Modelo Cuadrático en  $X_1$  y  $X_2$ :*

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1^2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_1 X_2$$

(iii) *Modelo Cuadrático en  $X_2$*

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_2^2 + b_4 X_1 X_2$$

(iv) *Modelo Cúbico:*

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_2^2 + b_4 X_2^3 + b_5 X_1 X_2$$

(v) *Modelo Cuártico:*

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_2^2 + b_4 X_2^3 + b_5 X_2^4 + b_6 X_1 X_2$$

**RESULTADO Y DISCUSION**

En los Cuadros 3 y 4 se presentan los resultados de los análisis para regresión lineal, cuadrática, cúbica y cuártica, en base a mazorcas individuales y a grupos de 30 mazorcas, respectivamente. Los porcentajes de humedad, en el primer caso, están expresados en decimales, y en el segundo, en forma directa.

En ambos cuadros se expresan los coeficientes de regresión para cada modelo, desviación estándar y "t" de Student. Además se indica el valor del coeficiente de correlación múltiple (R).

Como se señala en el Cuadro 3, se obtuvo valores significativos al nivel de 0,05 para todos los coeficientes, expresado por el cálculo de t, excepto para  $b_3$  en el modelo cuadrático (II) y  $b_2$  en el modelo cúbico (IV).

En el primer caso se redujo el modelo cuadrático (II) eliminando el término  $b_3$  (peso

de mazorca al cuadrado), lográndose de este modo el modelo cuadrático (III). La mayor eficiencia de este último modelo se reflejó en el aumento del coeficiente de correlación múltiple (R).

No se calculó un modelo reducido para regresión cúbica (IV), pero se supone que la eliminación del término  $b_2$ , no significativo, hubiera significado una mayor eficiencia.

Los coeficientes  $b_0$  para los modelos cúbico (IV) y cuártico (V) tampoco fueron significativos; sin embargo no se consideró justificado eliminar los términos respectivos.

Los valores de R obtenidos para los modelos expresados en el Cuadro 4 son prácticamente iguales a los correspondientes al Cuadro 3, como se esperaba; por lo tanto, el estudio en base a mazorcas individuales puede hacerse extensivo a parcelas de distinto tamaño. Este procedimiento fue el empleado en las comparaciones presentadas en el Cuadro 5, donde se expresan los valores obtenidos con cada mo-

**Cuadro 3 — Coeficientes de regresión múltiple para la estimación del rendimiento en grano base 15% de humedad en función del peso de mazorca y humedad del grano. ( $X_1$  expresado en gramos por mazorca y  $X_2$  en porcentaje de humedad en decimales).**

Coeficientes	Modelo Lineal (i)		Valores de t
	Desviación estándar		
$b_0 =$	62,613	1,7465	35,8506
$b_1 =$	0,67245	0,00941	71,4612
$b_2 = -$	246,9877	4,66113	- 52,9888
R =	0,9670		

$$\hat{Y} = 62,613 + 0,67245 X_1 - 246,9877 X_2$$

Cuadro 3 — Continuación

Modelo Cuadrático (ii)			
Coefficientes	Desviación estándar	Valores de t	
$b_0 =$	10,47621774	3,28015137	3,1938
$b_1 =$	0,95064581	0,02467895	38,5205
$b_2 = -$	74,47964688	16,70126343	- 4,4595
$b_3 =$	0,0000584	0,0000599	0,9750
$b_4 =$	50,80489495	21,90965271	2,3189
$b_5 = -$	0,99253308	0,05960832	-16,6511
R =	0,98390454		
$\hat{Y} = 10,47621774 + 0,95064581 X_1 - 74,47964688 X_2 + 0,0000584 X_1^2 + 50,80489495 X_2^2 - 0,99253308 X_1 X_2$			
Modelo Cuadrático (iii)			
Coefficientes	Desviación estándar	Valores de t	
$b_0 =$	11,24006612	3,180389	3,5342
$b_1 =$	0,96711539	0,017251	56,0600
$b_2 = -$	91,63827182	15,933024	- 5,7515
$b_3 =$	62,84625004	22,290848	2,8194
$b_4 = -$	0,95561048	0,049904	-19,1489
R =	0,98423815		
$\hat{Y} = 11,24006612 + 0,96711539 X_1 - 91,63827182 X_2 + 62,84625004 X_1^2 - 0,95561048 X_1 X_2$			
Modelo Cúbico (iv)			
Coefficientes	Desviación estándar	Valores de t	
$b_0 = -$	0,60014193	4,819536	- 0,1245
$b_1 =$	0,95016442	0,018398	51,6450
$b_2 =$	46,84083175	48,764328	0,9606
$b_3 = -$	367,41401026	153,106109	- 2,3997
$b_4 =$	374,63053851	136,048721	2,7537
$b_5 = -$	0,90513251	0,053910	-16,7897
R =	0,98418504		
$\hat{Y} = - 0,60014193 + 0,95016442 X_1 + 46,84083175 X_2 - 367,41401026 X_2^2 + 374,63053851 X_2^3 - 0,90513251 X_1 X_2$			
Modelo Cuártico (v)			
Coefficientes	Desviación estándar	Valores de t	
$b_0 = -$	26,72021601	14,737596	- 1,8131
$b_1 =$	0,95740246	0,018644	51,3514
$b_2 =$	399,94088587	188,687134	2,1196
$b_3 = -$	2041,17574712	832,552246	- 2,4517
$b_4 = -$	3651,39381071	1529,354004	- 2,3875
$b_5 = -$	2219,07134770	994,093262	- 2,2323
$b_6 = -$	0,93090527	0,054661	-17,0304
R =	0,98455459		
$\hat{Y} = - 26,72021601 + 0,95740246 X_1 + 399,94088587 X_2 - 2041,17574712 X_2^2 - 3651,39381071 X_2^3 - 2219,0713477 X_2^4 - 0,93090527 X_1 X_2$			

delo de predicción. Al pie de cada una de las columnas se presentan las sumas de cuadrados de desviaciones para las ecuaciones respectivas.

Contrariamente a lo esperado, las desviaciones sufren un progresivo aumento a medida que aumenta el grado de los polinomios, ex-

cepto en el modelo cuártico, donde se observa una ligera disminución. Este fenómeno se explicaría con el hecho de que el muestreo original comprendió un rango muy amplio de humedades y que el material usado en las comparaciones indicadas en el Cuadro 5 abarcó un rango mucho menor.

**Cuadro 4 — Coeficientes de regresión múltiple para la estimación del rendimiento en grano base 15% de humedad en función del peso de mazorca y humedad del grano. ( $X_1$  expresado en kg de mazorcas por parcela de 30 plantas y  $X_2$  en porcentaje de humedad).**

Coeficientes		Modelo Lineal (i)	
		Desviación estándar	Valores de t
$b_0 =$	1,89566649	0,05207673	36,4014
$b_1 =$	0,67219039	0,00929330	72,3306
$b_2 = -$	0,07455481	0,00138961	- 53,6517
R =	0,96798813		

  

Coeficientes		Modelo Cuadrático (iii)	
		Desviación estándar	Valores de t
$b_0 =$	0,33720196	0,09541166	3,5342
$b_1 =$	0,96711539	0,01725142	56,0600
$b_2 = -$	0,02749148	0,00477991	- 5,7515
$b_3 =$	0,00018854	0,00006687	2,8184
$b_4 = -$	0,00955610	0,00049904	-19,1489
R =	0,98423815		

  

Coeficientes		Modelo Cúbico (iv)	
		Desviación estándar	Valores de t
$b_0 =$	0,10929202	0,17108804	0,6388
$b_1 =$	0,95532665	0,01871980	51,0329
$b_2 = -$	0,00006858	0,01775626	- 0,0039
$b_3 = -$	0,00068206	0,00054708	- 1,2467
$b_4 =$	0,00000768	0,00000479	1,6033
$b_5 = -$	0,00919317	0,00054703	-16,8056
R =	0,98434663		

  

Coeficientes		Modelo Cuártico (v)	
		Desviación estándar	Valores de t
$b_0 = -$	0,80160641	0,44212776	- 1,8131
$b_1 =$	0,95740246	0,01864412	51,3514
$b_2 =$	0,11998226	0,05660614	2,1196
$b_3 = -$	0,00612353	0,00249766	- 2,4517
$b_4 =$	0,00010954	0,00004588	2,3875
$b_5 = -$	0,00000067	0,00000030	- 2,2323
$b_6 = -$	0,00930905	0,00054661	-17,0304
R =	0,98455459		

**Cuadro 5 — Comparación de rendimientos obtenidos por método directo con los diferentes modelos de predicción.  $\bar{Y}$ , rendimiento en grano por parcela de 30 plantas;  $X_1$ , peso de mazorcas;  $X_2$ , % humedad del grano.**

% Humedad del Grano ( $X_2$ )	Valores Observados		Modelos de Predicción ( $\hat{Y}$ )			
	Pesos de Mazorcas Kg ( $X_1$ )	Peso del Grano 15% Humedad (Y)	Lineal (i)	Cuadrático (iii)	Cúbico (iv)	Cuártico (v)
34,1	7,310	4,394	4,267083	4,305838	4,309966	4,302999
34,0	7,720	4,580	4,550137	4,577542	4,582191	4,574581
35,4	9,000	5,235	5,306163	5,258812	5,261441	5,250104
27,4	5,100	3,332	3,281062	3,321992	3,340906	3,355648
33,1	10,280	6,361	6,338042	6,323053	6,330610	6,319926
30,7	8,640	5,422	5,414583	5,491227	5,502036	5,500695
30,0	8,290	5,266	5,231505	5,322154	5,334016	5,335539
26,7	4,820	2,963	3,145037	3,168890	3,189059	3,206435
31,6	8,920	5,454	5,535697	5,588943	5,598459	5,593912
32,2	6,580	3,874	3,918039	3,985778	3,994398	3,992121
32,2	9,660	5,687	5,988384	6,016386	6,025011	6,017585
33,0	8,920	5,103	5,431320	5,448151	5,455442	5,447374
24,0	6,100	3,996	4,206739	4,285912	4,302786	4,326472
32,0	9,290	5,173	5,754585	5,793285	5,802191	5,795918
33,2	10,000	5,904	6,142374	6,129804	6,137130	6,126728
31,9	9,900	5,455	6,172076	6,207624	6,216602	6,209604
32,6	8,190	4,757	4,970443	5,009813	5,017683	5,011760
33,9	8,160	4,763	4,853356	4,869325	4,874482	4,866189
35,0	9,380	5,416	5,591417	5,539264	5,543119	5,531261
33,3	8,270	5,133	4,972030	4,996376	5,002870	4,995363
34,3	10,650	6,006	6,497287	6,423916	6,430060	6,416510
$S (Y - \hat{Y})^2$			1,573230	1,690756	1,766469	1,737311

Otra alternativa podría consistir en calcular fórmulas de regresión que abarquen rangos de humedad más reducidos, considerando dos o más casos. Se podría, por ejemplo, calcular un caso de regresión para humedades comprendidas entre 15% y 35%, y otro para humedades de 25% a 45%, eliminando todos los datos originales fuera de estos rangos. Además se podría analizar la regresión eliminando los datos originales de la variedad córnea MA5.

### CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos con la tabla de conversión usada tradicionalmente en el Programa de Mejoramiento de Maíz del Instituto (6), y los resultados del Cuadro 5, se puede afirmar que la regresión basada en los modelos de predicción da un ajuste bastante aceptable, superior al método tradicional. La eficiencia de las fórmulas aquí

sugeridas se manifiesta tanto por los bajos valores resultantes de la suma de los cuadrados de las desviaciones, como por las pequeñas diferencias entre los valores reales individuales (Y) y las cifras respectivas obtenidas con los distintos modelos en el Cuadro 5, lo que hace recomendable el uso de este método. Una inspección de las cifras de esta figura hace resaltar el hecho de que en los casos en que las humedades del grano de los híbridos ( $X_2$ ) es intermedia o baja, los modelos lineal y cuadrático son de mayor eficiencia que los otros dos. En cambio, en los casos de humedad alta, el modelo cuártico presenta mejores posibilidades. En las observaciones restantes no se apreció una diferencia marcada entre los distintos modelos, lo que no permitirá recomendar un modelo específico, excepto en los casos en que los ensayos de campo presenten un rango de humedad mayor que el observado en el ejemplo.

Para aplicar algunas de estas ecuaciones a un experimento, se sugiere dos procedimientos. Uno de ellos consistiría en expresar el peso promedio de las mazorcas de cada parcela, dividiendo el peso total por el número de mazorcas cosechadas y aplicar la fórmula de regresión, obteniéndose de este modo el valor co-

regido expresado en gramos que se multiplica nuevamente por el número de mazorcas. Otro procedimiento consistiría en emplear una ecuación de regresión para diversos números de plantas, según sea el tamaño estándar de la parcela, que pueden ser de 30, 40, 50 o más plantas.

### RESUMEN

Se tomó una muestra consistente en 380 mazorcas de maíz y se les determinó su peso, el contenido de humedad del grano en la cosecha y el peso del grano. La humedad se calculó por método directo secando una muestra en estufa a 80° C hasta peso constante.

El peso del grano de cada mazorca se expresó en base a una humedad constante de 15%. Esto se expresó a través de una ecuación de regresión como una función del peso total de la mazorca y la humedad del grano determinada en el momento de la cosecha.

La regresión se calculó por computadora IBM 360-40 usando un modelo sin corregir. Se ensayaron varias ecuaciones de predicción obtenidas al incrementar el grado de la variable humedad del grano.

A medida que se incrementó el grado de la ecuación se obtuvo un mejor ajuste, expresado por el coeficiente de correlación múltiple. Sin embargo, debido a que los rangos de humedad del grano de los datos originales fueron muy amplios, no se observó un mejoramiento en el ajuste al aumentar el grado de la ecuación cuando fueron aplicadas estas ecuaciones a datos con un rango estrecho de humedades.

Los resultados obtenidos con los modelos de regresión fueron eficientes, por lo cual se recomienda su empleo en el trabajo de experimentación en maíz.

### SUMMARY

A sample consisting of 380 ears of corn was taken and its weight, moisture content of the grain at harvest time, and grain weight, were determined. Moisture content was calculated by direct method drying a sample of grain in an oven at 80° C until constant weight was obtained.

The grain weight of each ear was expressed on a constant moisture content basis of 15%. This value was expressed through a regression equation as a function of total weight of the ear and moisture content of the grain determined at harvest time.

Regression was calculated by a IBM 360-40 computer using an uncorrected model. Several predicting equations were tested, obtained by increasing the degree of the polynomial as powers of the moisture content variable.

A better fit was obtained by increasing the degree of the equations, as expressed by the multiple correlation coefficient. However, no improvement was observed when these higher degree formulae were applied to a sample of data, presumable due to the large range in moisture content of the original data.

The results obtained with the different regression models were efficient, therefore its use in experimental work in corn is advantageous.

### LITERATURA CITADA

1. AMERICAN ASSOCIATION of CEREAL CHEMIST, INC. Cereal Laboratory Methods, 7th, ed. Minnesota, 1962. s. p.
2. GRAYBILL, F. A., An Introduction to Linear Statistical Models. New York, Mc Graw-Hill, 1961. 463 p.
3. GORSLINE, G. W. and THOMAS, W. I., Transformation of Plot Ear Corn to Dry Shelled Grain Yield. Agron. J. 55: 503-504. 1963.
4. KIESELBACH, T. A., Progressive Development and Seasonal Variations of the Corn Crop. Univ. of Nebraska Rev. Bull. 166. 1950. 49 p.
5. LI, J. C. R., Statistical Inference. Edwards Brothers, Inc. Michigan, Ann Arbor. v. 2. 1964. 575 p.
6. VIOLIC, M. A., y SAN JUAN A., Tabla de Factores para Transformar Rendimientos de Maíz en Mazorca con Humedades de 12,0% a 36,0% a Grano con Humedad Reducida a 15%. Departamento Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola. Chile. Plan Chillán. 1957. 7 p.