

**IMPACTO EN EL RENDIMIENTO DE GRANO DEL
CULTIVO DE MAÍZ ANTE LAS NUEVAS
RECOMENDACIONES DE FERTILIZACIÓN Y
MANEJO DE POBLACIONES DE PLANTAS.
AZUERO, PANAMÁ, 2001**

**Román Gordón¹; Ismael Camargo²; Jorge Franco³;
Andrés González³**

RESUMEN

Los actuales rendimientos de grano son una amenaza para la continuidad de la actividad maicera en la mayoría de los países centroamericanos. Incrementar los rendimientos implica el uso de cultivares con altos potenciales y prácticas agronómicas adaptadas a éstos; de tal forma, que se garantice la sostenibilidad de los productores en esta actividad. Entre las principales limitantes en la producción de maíz están: las bajas densidades de plantas utilizadas, así como la baja eficiencia del uso del nitrógeno y deficiencia de algunos nutrimentos. Durante los últimos cinco años, el Proyecto de Maíz del IDIAP ha realizado experimentos agronómicos para diseñar una nueva recomendación. Para determinar el impacto de las nuevas recomendaciones en el rendimiento, se analizó el ensayo denominado Prueba Regional de Maíz desde 1989 hasta 2000. Durante este período, se evaluaron 96 cultivares en 132 localidades. Desde 1989 hasta 1998 la recomendación agronómica para estos ensayos consistió en la siembra de 5.33 plantas/m² con la aplicación de 227 kg de abono completo (N-P-K), al momento de la siembra, más una aplicación de 227 kg urea a los 30 días después de la siembra (dds). La nueva recomendación señala un incremento de la densidad de siembra a 6.25 plantas/m², la aplicación de azufre a razón de 20-30 kg S/ha, al momento de la siembra y el fraccionamiento de la urea (aplicaciones a los 20 y 37 dds). Durante el período 89-98 la media de rendimiento obtenida fue de 4.56 t/ha con una población, al momento de la

¹ Ing. Agrónomo, M.Sc., ² Ph.D. Fitomejorador, ³ Agrónomo. IDIAP Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León", Los Santos, Panamá. IDIAP e-mail: idiap_azu@cw.panama.net

cosecha, de 4.75 plantas/m², peso de mazorcas de 101.3 g, 0.95 mazorcas/planta y un acame de 16.7%. A partir de la implementación de las nuevas recomendaciones, el rendimiento promedio aumentó en 1.58 t/ha, la población en 1.19 plantas/m² y 5.9 g en el peso de las mazorcas; y una reducción del acame en 3.5%. Este incremento en el rendimiento representó una tasa marginal de retorno de 1002.7%.

PALABRAS CLAVES: *Zea mays*; maíz; rendimiento; nitrógeno; cultivo; aplicación de abonos; Panamá.

YIELD CORN GRAIN IMPACT ON ACCOUNT OF NEW RECOMMENDATION IN FERTILIZATION AND PLANT POPULATION MANAGEMENT. AZUERO, PANAMA, 2001.

The current corn yields are risky for the continuity of corn activities in many Central America countries. Increasing the yields suggests the use of high potential cultivars and agronomy practices adapted to these; therefore, to guarantee the farmers' stability in this activity. The most important restrictions in corn production are: low plant population, inefficiency in Nitrogen use and shortage of some nutrients. During the last five years, the IDIAP Corn Project had carried out agronomic trials to design a new recommendation. In order to verify the yield impact of new recommendations, the Regional Test of Corn was analyzed from 1989 to 2000. Through this period, 96 cultivars and 132 sites were evaluated. From 1989 to 1998 the agronomic recommendations for this experiment consisted in the sowing of 5.33 plants/m², with the application of 227 kg complete fertilizer (N-P-K)/ha in planting moment, plus 227 kg of urea/ha in 30 days after planting (dap). The new recommendation implicated the increase of plant population to 6.25 plants/m², the use of 20 to 30 kg of sulfur/ha, in the planting moment, and urea fragmentation (applications at 20 and 37 dap). During the 89-98 period the yield average was 4.56 t/ha with an amount of plant in the harvest moment of 4.75 plants/m², ear weight of 101.3 g, 0.95 ear/plant and 16.7% of plant lodging. At the beginning of the new recommendations, the yield average increased in 1.58 t/ha, the plant number in 1.19 plant/m², and 5.9 g in ear weight; the lodging decreased in 3.5%. The yield increase represented a Return Marginal Rate of 1002.7%.

KEYWORDS: *Zea mays*; corn; sulfur; nitrogen; crop; application of fertilizers; Panamá.

INTRODUCCIÓN

El maíz en Panamá es un cultivo de mucha importancia por el número de hectáreas que se siembran en el ámbito nacional (75,000-80,000) y por la cantidad de agricultores que dependen de esta actividad. De este gran total, aproximadamente 11,000 hectáreas se siembran cada año, bajo el sistema mecanizado, por unos 750 productores. La producción bajo este sistema se caracteriza por tener rendimientos promedios de 3.6 t/ha. Esto se debe, entre otras causas, a diversos factores bióticos y abióticos, además de técnicas de manejo inadecuadas como densidad, control de malezas, plagas y fertilización.

Una de las grandes limitantes en la producción de este cultivo ha sido el uso de poblaciones muy bajas de plantas, lo que ocasiona bajos rendimientos. Estudios realizados en los últimos cuatro años, en la región de Azuero, indican que se optimiza el rendimiento de grano con poblaciones de plantas de 57 a 65 mil plantas/ha (Gordón y col., 1997; 1998a; 1999a).

Trabajos sobre fertilización del cultivo de maíz, en la década de los 80 e inicios de los 90, indican que el maíz responde a las aplicaciones de N, P y S en una gran variedad de suelos de la Región de Azuero. Además, en otros estudios se determinaron las dosis físicas y económicas para la producción de este cultivo. Con relación al nitrógeno, durante estos últimos cinco años, se realizaron trabajos para determinar el manejo de este nutriente. Como resultado de estos estudios, se debe aplicar el 10% de la dosis al momento de la siembra, con aplicación suplementaria de 40% a los 20 días después de la siembra (dds) y el 50% a los 37 dds (Gordón y col., 1998b; 1999b). Estudios realizados por Gordón y col. (1998c) también indican que hay una respuesta económica a la aplicación de 20 kg S/ha al momento de la siembra.

Eskridge y Mumm (1992), Eskridge y col. (1993) proponen el análisis de confiabilidad, basados en las diferencias de rendimiento de un híbrido, respecto al testigo adaptado a la región. Córdova y col.

(1993), utilizando datos experimentales del ensayo uniforme del PCCMCA (1988-1990), demostraron la aplicación práctica de la metodología para determinar la confiabilidad de las ganancias en rendimiento sobre un testigo regional, así como la confiabilidad económica de esta respuesta. El análisis de confiabilidad propuesto por Eskridge y Mumm (1992), Eskridge y col. (1993) es similar, en principio, a la medición de superioridad propuesto por Lin y Binns (1994). Por otro lado, Baker (1996) indica que la medida de superioridad y el análisis de confiabilidad representan avances importantes en el entendimiento de los problemas del mejoramiento genético, producto de la interacción genotipo-ambiente.

El objetivo del estudio fue determinar las ganancias en rendimiento y ganancias económicas por la aplicación de manera integrada, de todas las tecnologías generadas por el proyecto de maíz sobre las recomendaciones tradicionales en este cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de los datos experimentales

Para la realización de este estudio se tomó la base de datos de la Prueba Regional de Maíz que incluye los ensayos de los años 1989 a 2000 (12 años). Durante este período se realizaron experimentos en 132 localidades y se evaluaron 226 entradas (Cuadro 1).

Para el análisis de estos datos se dividió esta base en dos periodos. El primero consistió de 10 años (1989-1998) y el segundo incluyó los años 1999 y 2000. Durante el primer periodo, se aplicaron las recomendaciones tradicionales que realizaba el IDIAP, mientras que a partir de 1999 la recomendación varió de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de los últimos cinco años. En el Cuadro 2 se observan las recomendaciones de los dos periodos en estudio.

CUADRO 1. NÚMERO DE LOCALIDADES Y ENTRADAS EVALUADAS EN LOS ENSAYOS DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ. PANAMÁ, 1989-2000.

Año	Nº Loc	Nº Entradas	Nº datos
1989	11	20	220
1990	11	20	220
1991	17	20	338
1992	13	21	256
1993	12	17	204
1994	13	19	247
1995	10	15	145
1996	11	20	220
1997	7	20	140
1998	9	16	144
1999	8	19	152
2000	10	19	190
Totales	132	226	2,476

Se realizaron tres análisis en total, siempre comparando la Nueva Alternativa Tecnológica (NAT) con la Tecnología Usada Anteriormente (TUA). El primer análisis consistió en comparar la NAT con el promedio de rendimiento de todos los datos (10 años); en el segundo análisis, se utilizó como promedio el rendimiento de los dos años previos al cambio tecnológico (1997 y 1998). Por último, se hizo una comparación

tomando en cuenta el promedio de los tres mejores años de la TUA. Los años con mayor rendimiento en el período donde se aplicó la TUA fueron 1991, 1996 y 1998 con un promedio por año de 4.77, 4.77 y 4.79 t/ha, respectivamente.

Confiabilidad estadística de las respuestas

Para el cálculo de la confiabilidad de la ganancia de la NAT se utilizó la metodología propuesta por Eskridge y col. (1993).

CUADRO 2. TECNOLOGÍAS APLICADAS EN LOS DOS PERÍODOS DE EVALUACIÓN DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ. PANAMÁ, 1989-2000.

<i>Tecnología usada anteriormente (TUA¹)</i>		<i>Nueva alternativa tecnológica (NAT²)</i>	
1989-1998		1999-2000	
N=	130 kg/ha	N=	130 kg/ha
P=	60 kg/ha	P=	60 kg/ha
K=	20 kg/ha	K=	10 kg/ha
		S=	20 kg/ha
27%	N a la siembra	10%	N a la siembra
73%	N a los 30 dds	40%	N a 20 dds
		50%	N a 37 dds
53,333 plantas/ha		62,500 plantas/ha	

¹ Se aplicó 227 kg de 15-30-8 más 227 kg de urea

² Se aplicó 227 kg de 6-30-4-8 más 250 kg de urea.

En este trabajo la respuesta obtenida de cada cultivar se sustituyó por la tecnología aplicada.

Esta metodología sugiere que la confiabilidad estadística (CE) de la respuesta en rendimiento del i-écimo genotipo o práctica (NAT) se determine a partir de los diferenciales de rendimiento (d_i) con respecto al testigo (TUA), o sea:

$$CE = P(Y_i - Y_c > d_i)$$

donde:

$P(.)$ = representa la probabilidad

Y_i = respuesta de NAT

Y_c = respuesta de TUA y

d_i = es la diferencia entre ambos.

Córdova y col. (1993) indican que las hipótesis planteadas en este estudio se refieren a si el valor promedio de la diferencia (d_i) es mayor o menor que cero, esto es:

$$H_0: d_i < 0$$

$$H_a: d_i > 0$$

Para probar las hipótesis, se calculó primero los valores promedios de d y la desviación estándar de las diferencias a través de todas las localidades (S_{dij}). Posteriormente, se determinó el valor estandarizado (d/S_{dij}) al cual se le determinó la probabilidad normal estandarizada (usando la tabla de Z normal de una cola). A esta probabilidad se le denominó Confiabilidad Normalizada con respecto al testigo (CN).

Para el análisis de confiabilidad económica se utilizó el procedimiento propuesto por Córdova y col. (1993). Este se basa en que el ingreso obtenido, debido a la diferencia en rendimiento con el testigo (TUA), deberá superar los costos de implementar la NAT. En este sentido, las hipótesis a plantear serán:

$$H_0: \text{Ingresos} - \text{costos} < 0$$

$$H_a: \text{Ingresos} - \text{costos} > 0$$

El valor de la CN para la NAT representa la probabilidad de que ésta supere, en promedio, el nivel de producción establecido por la TUA, en el conjunto de todos los sitios y años donde se efectuaron las evaluaciones. De acuerdo a Córdova y

col. (1993), la tecnología se clasifica en las siguientes categorías según la CN_i estimada:

Superior:	$0.9 \leq CN_i < 1.0$
Buena:	$0.8 \leq CN_i < 0.9$
Promedio:	$0.6 \leq CN_i < 0.8$
Baja:	$CN_i < 0.6$

Análisis económico

Adicional al análisis de confiabilidad de la respuesta econó-

mica, se realizó un análisis económico con la metodología de presupuesto parcial y análisis marginal desarrollado en el Manual del CIMMYT (1988). Se analizaron todos los beneficios y costos variables vinculados con la NAT evaluada. El Cuadro 3 muestra la estructura de costos variables que incluyen las dos tecnologías en estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CUADRO 3. ESTRUCTURA DE COSTOS QUE VARIAN SEGÚN LAS DOS TECNOLOGÍAS EVALUADAS. PANAMÁ, 1989-2000.

Objeto del gasto	TUA	NAT	Dif
Abono completo ¹	65.00	70.00	
Urea	60.00	66.00	
Aplicación urea ²	5.00	5.50	
Gastos Administrativos ³		8.00	
Semillas ⁴	52.00	60.94	
Total	182.00	210.44	28.44

¹ El valor de 45,4 kg de 15-30-8 es de B/. 13,00, mientras que del 6-30-4-8 es B/. 14,00.

² El costo de aplicación de urea es de B/. 1,00/45,45 kg.

³ Se refiere a los costos de la 2ª aplicación de urea.

⁴ El costo de una semilla es de B/. 0,000975.

El Cuadro 4 muestra el rendimiento de grano y otras características agronómicas de los ensayos, realizados durante todo el período en estudio. Se puede observar claramente que el rendimiento de grano en ninguno de los años, durante el período 89-98, llegó a 5.0 t/ha. El promedio general para este período fue de 4.54 t/ha. Por el contrario, en los dos años con la NAT el rendimiento superó las 6.0 t/ha.

CUADRO 4. RENDIMIENTO DE GRANO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LOS ENSAYOS DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ.

Año	Rend (t/ha)	Flor (días)	Alt pta (cm)	Pt/m ²	Maz/m ²	Maz/pt	Pmaz (g)	Acame (%)	Maz pod (%)
1989	4.19	57	227	4.96	4.75	0.96	88.0	19.9	12.1
1990	4.51	55	236	4.80	4.59	0.95	103.4	27.4	3.0
1991	4.77	56	230	4.74	4.45	0.94	105.8	8.8	3.2
1992	4.44	54	236	4.77	4.54	0.95	97.9	18.2	7.1
1993	4.45	55	229	5.00	4.71	0.94	94.5	13.8	4.0
1994	4.30	56	230	4.47	4.16	0.94	104.5	17.7	3.7
1995	4.66		216	4.57	4.20	0.92	106.4	8.1	7.9
1996	4.77	56	227	4.76	4.47	0.95	107.0	6.1	8.4
1997	4.45		224	4.51	4.47	1.00	99.1	33.0	10.3
1998	4.79		218	4.61	4.36	0.95	109.5	15.3	8.6
Prom	4.53	56	227	4.72	4.47	0.95	101.6	16.8	6.8
1999	6.17	57	219	5.92	5.68	0.96	106.5	14.9	5.3
2000	6.17	54	225	5.88	5.68	0.97	108.6	11.6	3.6
Prom	6.17	56	222	5.90	5.68	0.96	107.5	13.3	4.4

Con relación a la población, se observa que para los dos períodos fue de 4.72 y 5.90 plantas/m², respectivamente. Variables como mazorcas/planta, porcentaje de mazorcas podridas, peso de mazorcas y porcentaje de acame, no se vieron afectadas por el aumento en el número de plantas. Al aumentar la densidad de plantas en la NAT, se esperaba un mayor porcentaje de acame y que el tamaño de las mazorcas fuera menor. Al observar los datos experimentales se encontró que, en promedio, el acame fue menor y el peso de la mazorca fue similar al obtenido con las bajas poblaciones de la TUA.

Se realizó un análisis del efecto de las dos tecnologías en 10 cultivares evaluados en ambos períodos. Se observó que la ganancia promedio en rendimiento, por utilizar la NAT, fue de 1.41 t/ha con un rango de 0.61 a 2.27 t/ha. Esto confirma el hecho de que la NAT es superior a la TUA independientemente de los genotipos evaluados (Cuadro 5).

Análisis de Confiabilidad

El análisis de confiabilidad o probabilidad de respuesta normalizada (CN), realizada de la nueva alternativa tecnológica (NAT), en comparación a los tres escenarios evaluados de la TUA, indicó que ésta presenta valores de confiabilidad considerados de superior a buena, con respecto a la tecnología utilizada anteriormente (Cuadro 6). Las probabilidades normalizadas de los dos primeros escenarios evaluados significa que por lo menos en nueve de cada 10 localidades hay una respuesta superior o d en más de una tonelada y media por hectárea en los dos primeros escenarios de la NAT con respecto al testigo (TUA).

Es importante señalar que la NAT superó en más de una tonelada al promedio de los tres mejores años de la TUA (tercer escenario evaluado). Esta diferencia presentó una confiabilidad normalizada de 0.893, valor muy cercano al considerado como superior, lo que demuestra que la NAT es una tecnología muy confiable para ser recomendada a los productores.

CUADRO 5. RENDIMIENTO DE GRANO DE 10 CULTIVARES EVALUADOS CON LAS DOS TECNOLOGÍAS. PANAMÁ, 1989-2000.

Cultivar	TUA	NAT	Diferencia
P-8804	4.62	6.89	2.27
P-9422	4.88	6.57	1.69
X-1358K	5.05	6.66	1.61
3018	4.72	6.32	1.60
P-9490	5.21	6.78	1.57
3031	5.06	6.43	1.37
X-304C	4.47	5.79	1.32
HS-6	4.51	5.75	1.24
P-8916	4.80	5.64	0.84
HS-8	5.58	6.19	0.61
Promedio	4.89	6.30	1.41

CUADRO 6. RENDIMIENTO PROMEDIO, DIFERENCIAS EN RENDIMIENTO, DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S) Y CONFIABILIDAD LA NUEVA ALTERNATIVA TECNOLÓGICA. PANAMÁ, 1989-2000.

Periodo	N	Prom.	d_i	S_{di}	d/S_{di}	CN_i
99/00	342	6.170				
89-98	2134	4.586				
97-98	284	4.622				
91/96/98	363	4.781				
89-98	342		1.584	1.117	1.42	0.922
97-98	342		1.548	1.117	1.38	0.918
91/96/98	342		1.389	1.117	1.24	0.893

Análisis Económico

Al efectuar el análisis económico con los datos del estudio se encontró que los ingresos netos superaron los B/. 250.00 por hectárea en el análisis de los dos primeros escenarios. La TMR fue de 1003% para la NAT cuando se comparó con el período 89-98. Este valor fue de 978% cuando se comparó con los dos años previos al cambio tecnológico en estudio (97-98) y de 867% para el tercer escenario (los tres mejores años). Este resultado demuestra la alta rentabilidad de la nueva tecnología estudiada, con relación a las otras opciones.

Córdova y col. (1993) también plantearon la confiabilidad económica como un factor asociado al cambio tecnológico propuesto. El resultado de este análisis indicó que la confiabilidad normalizada de los datos se considera de superior a buena, ya que, el CN calculado fue de 0.90 para los dos primeros casos estudiados. En el tercer análisis, el CN, fue de 0.86 (Cuadro 7). Al igual que en la respuesta al rendimiento, existe alto grado de confianza para que la NAT sea adoptada por los productores, ya que, en ocho de cada 10 casos se espera una ganancia de más de B/. 250.00 por hectárea.

CUADRO 7. INGRESO NETO PROMEDIO, DESVIACIONES ESTÁNDAR (SDI), CONFIABILIDAD Y TASA MARGINAL DE RETORNO DE LA NUEVA ALTERNATIVA TECNOLÓGICA. PANAMÁ, 1989-2000.

	Ing. Neto	S _{di}	DI/S _{di}	CN _i	TMR (%)
89-98	285.18	221.22	1.29	0.90	1003
97-98	278.05	221.22	1.26	0.90	978
91/96/98	246.57	221.22	1.12	0.86	867

CONCLUSIONES

* La nueva opción tecnológica propuesta representa una alternativa concreta para el mejoramiento del nivel de competitividad del cultivo de maíz en la Región de Azuero.

* Los bajos costos de la nueva alternativa tecnológica hacen que la misma sea de fácil implementación por parte de los productores.

RECOMENDACIONES

* Se sugiere ajustar todos los niveles óptimos de nutrimentos utilizados en la fertilización de este cultivo ante el aumento de la población de plantas.

* Se sugiere la implementación de la cosecha mecánica para disminuir los costos de esta actividad.

BIBLIOGRAFÍA

BAKER, R.J. 1996. Recent research on genotype-environment interaction. Paper to be presented at International Oat and Barley Conference. 8 p.

CENTRO INTERNACIONAL DE MAÍZ Y TRIGO (CIMMYT). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Ed. rev. México, D.F. 79 p.

CÓRDOVA, H.S.; BARRETO, H.J.; CROSSA, J. 1993. Impacto del desarrollo de híbridos de maíz en Centro América: Confiabilidad de las ganancias en rendimiento sobre el genotipo H5 y consideraciones para la selección de testigos regionales. *En* Síntesis de resultados experimentales del PRM. 1992. Vol. 4. pp. 3-10.

ESKRIDGE, K.M.; MUMM, R.F. 1992. Choosing plant cultivars based on the probability of outperforming a check. *Theor. Appl. Genet.* 84:494-500.

ESKRIDGE, K.M.; SMITH, O.S.; BYRNE, P.F. 1993. Comparing test cultivars using reliability functions of test-check differences from on-farm trials. *Theor. Appl. Genet.* 87:60-64.

- GORDÓN, R.; GONZÁLEZ, A.; FRANCO, J. 1997. Determinación de la densidad óptima de plantas de los cultivares de maíz P-9422, P-9490 y X-3018. Azuero, 1997. IDIAP. (Documento en edición). 5 p.
- GORDÓN, R.; GONZÁLEZ, A.; FRANCO, J. 1998a. Determinación de la densidad óptima de plantas de los cultivares de maíz P-9490, CB-HS-8GM2 y X-1358K. Azuero, Panamá, 1998. IDIAP. (Documento en edición). 5 p.
- GORDÓN, R.; GONZÁLEZ, A.; FRANCO, J. 1998b. Manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Azuero, Panamá, 1996-1998. IDIAP. (Documento en edición). 6 p.
- GORDÓN, R.; FRANCO, J.; GONZÁLEZ, A. 1998c. Evaluación de diferentes fuentes y época de aplicación de azufre en el cultivo de maíz en la Región de Azuero, 1997-1998. IDIAP. (Documento en edición). 5 p.
- GORDÓN, R.; GONZÁLEZ, A.; FRANCO, J. 1999a. Determinación de la densidad óptima de plantas de los cultivares de maíz P-9490, HS-8 y X-1358K. Azuero, Panamá, 1999. Informe Técnico. IDIAP.
- GORDÓN, R.; FRANCO, J.; GONZÁLEZ, A. 1999b. Eficiencia del uso aplicado de N en forma de urea en el cultivo de maíz. Azuero, 1999. Informe Técnico. IDIAP.
- LIN, C.S.; BINNS, M.R. 1994. Concepts and methods for analyzing regional trial data for cultivar and location selection. *Plant Breeding Reviews* 12: 271-297.