

## **DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA FÍSICA Y ECONÓMICA DE NITRÓGENO PARA EL CULTIVO DE MAÍZ CON TRES MODELOS DE RESPUESTA, AZUERO, PANAMÁ, 2000-2002.**

**Román Gordón<sup>1</sup>; Jorge Franco<sup>2</sup>; Andrés González<sup>2</sup>**

### **RESUMEN**

Se estableció un experimento en el cultivo de maíz en 15 localidades de la Región de Azuero en el período comprendido entre los años 2000 al 2002. El objetivo del mismo fue el de determinar la dosis óptima de N con una densidad de 6.25 plantas/m<sup>2</sup> y una distribución del N de 10% a la siembra, 40% a los 20 días después de la siembra (dds) y 50% a los 37 dds. El diseño experimental utilizado fue el de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron dosis de N desde 0 hasta 350 kg N/ha; la parcela experimental contó de cinco surcos de 5.2 m de largo. Para el cálculo de la dosis económica se consideró una Tasa Mínima de Retorno del 15%, un precio de B/.0.187/kg de maíz y un costo de B/.0.65/kg de N (incluyendo el costo de aplicación). Se evaluaron tres métodos (Linear-Plateau, Cuadrático-Plateau y Cuadrático) para estimar la dosis óptima económica en cada una de las localidades. El modelo Linear-Plateau al sobrestimar los rendimientos cercanos a la dosis de cambio tendió a calcular dosis muy bajas. Por el contrario, el modelo cuadrático estimó dosis de N muy altas. El modelo Cuadrático-Plateau resultó ser el que más se ajustó a los resultados en campo; por consiguiente, identificó la dosis económica más adecuada del nitrógeno. La respuesta a la aplicación de este elemento fue muy variada, en donde se encontraron localidades donde no hubo respuesta y localidades en donde la dosis óptima económica fue alrededor de los 200 kg N/ha.

**PALABRAS CLAVES:** Maíz; *zea mays*; aplicación de abonos; nitrógeno; dosis de aplicación; Cuadrático-Plateau; Panamá.

---

<sup>1</sup> Ing Agrónomo, M.Sc. Entomología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León", Los Santos, Panamá. e-mail: rgordon@idiap.gob.pa

<sup>2</sup> Agrónomo. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León", Los Santos, Panamá. IDIAP.

## DETERMINATION OF THE ECONOMIC AND PHYSIC OPTIMAL NITROGEN RATES FOR THE CORN CROP WITH THREE RESPONSE MODEL, AZUERO, PANAMA, 2000-2002.

A corn plantation experiment was carried out on 15 sites of the Azuero Region during 2000 to 2002. The objective of this experiment was to determine the optimal nitrogen level, with a density of 6.25 plants/m<sup>2</sup> and a Nitrogen distribution of 10% at the planting date, 40% at 20 days after planting (dap) and 50% at 37 dap. A Complete Randomized Block Design with four replications was used. The evaluated treatments were nitrogen rates from 0 to 350 kg N/ha, the experimental plots counted by five rows of 5.2 m of length. For the calculation of optimal Nitrogen rate, it was considered the Minimal Return Rate of 15%, a price of B/.0.187/kg of corn and a cost of B/.0.65/kg of N (application cost was included) Three methods were evaluated to estimate the economic optimal linear in each one of the sites (Linear-Plateau, Quadratic-Plateau and Quadratic model). The Line-Plateau model when overestimating the near yields to the N quantity of change it spread to calculate very low rates. On the contrary, the Quadratic Model estimated very high rates. The Quadratic-Plateau Model it turned out to be the one that but it was adjusted to the results in field; consequently, it was identified as the most appropriate economic Nitrogen rate. The response to the application of this element was very varied where were sites where there were not response and sites where the best economic rates were around the 200 kg N.

**KEY WORDS:** Corn; *zea mays*; nitrogen; application doses; optimal nitrogen rate; Panama.

### INTRODUCCIÓN

El uso del nitrógeno es considerado como esencial en la producción del cultivo de maíz. A través de muchos estudios se ha podido documentar la importancia de este elemento (Mehdi y col., 1999; Ma y col., 1999; Raun y Johnson, 1999), así como su respuesta positiva a la aplicación de diferentes fuentes que contienen este elemento (Schmidt y col., 2002; Vetsch y Randall, 2000).

Para la producción de maíz en la Región de Azuero se realizan aplicaciones de nitrógeno (en forma de urea), que oscilan entre 70 y 165 kg N/ha, en

uno o dos fraccionamientos. Estudios realizados anteriormente indican que el nivel óptimo económico de la aplicación de N varió de 118 a 197 kg/ha (Jaramillo y col., 1992; Gordón y col., 1992). Todos estos trabajos fueron realizados aplicando 50% de la dosis al momento de la siembra y el otro 50% a los 30 días después de siembra (dds), con una densidad de planta de 5.33 plantas/m<sup>2</sup> en un arreglo de 75 cm entre hileras y 50 cm entre golpes, dejando dos plantas en cada golpe.

Una gran proporción del N utilizado por los productores en Azuero es aplicado a la superficie del suelo al voleo o por bandas. Estas formas superfi-

ciales de aplicación de fuentes de N amoniacales pueden conducir a pérdidas considerables por volatilización directa o por escorrentía y así contribuir a la baja eficiencia de su uso y, por consiguiente, una mayor contaminación de las aguas subterráneas (Nyamangara y col., 2003; Dinnes y col., 2002; Huggins y col., 2001; Lehrsch, 2000).

Trabajos realizados recientemente por Gordón y col. (2000) indican una eficiencia de absorción cercana al 30% cuando la aplicación se fraccionó en dos partes (siembra y 30 dds). Esta eficiencia de uso mejoró cuando se varió el fraccionamiento del nitrógeno en proporciones de 10, 40 y 50% del N a los 0, 20 y 37 dds, respectivamente.

Por otro lado, la selección del modelo o método de análisis de los datos para seleccionar la dosis óptima es muy importante. Un número variable de modelos de respuesta han sido utilizados para identificar la dosis óptima de distintos nutrimentos; la literatura presenta numerosos ejemplos que indican que estos modelos difieren en la identificación de la dosis óptima, es decir, cada uno reconoce una dosis óptima diferente (Barreto y Westerman, 1987; Cerrato y Blackmer, 1990). Recientemente, estos últimos autores demostraron que la selección del mejor modelo, sobre otros, merece más atención por parte de los investigadores. Esta decisión puede relacionarse a la

dosis más económica del nutrimento a nivel de campo. Estos mismos autores concluyeron que el modelo Cuadrático-Plateau fue el modelo que mejor describió la respuesta de campo y determinó la dosis económica más aprovechable.

El objetivo de este trabajo fue el de determinar el modelo más adecuado para establecer la dosis que optimiza el rendimiento de grano del cultivo de maíz, a una densidad de 6.25 plantas/m<sup>2</sup> y una distribución de 10% del N al momento de la siembra, 40% a los 20 dds y el 50% restante a los 37 dds.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron 15 ensayos en distintas localidades de la Región de Azuero en la segunda época de siembra (septiembre-diciembre) durante los años 2000, 2001 y 2002 (Cuadro 1).

El diseño experimental utilizado fue el de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones. Cada parcela experimental consistió de cinco surcos de 5.2 m de largo a una densidad teórica de 6.25 plantas/m<sup>2</sup>. Esta población se obtuvo con una distancia de siembra de 80 cm entre hileras y 20 cm entre posturas, dejando una planta por golpe. La parcela efectiva consistió de los tres surcos centrales de la parcela experimental. El ensayo del

año 2000 incluyó 10 tratamientos partiendo de una dosis de 0 kg hasta 280 kg/ha con incrementos de 35 kg/ha; el décimo tratamiento consistió de una parcela adicional sin aplicación de N. En los años 2001 y 2002 se evaluaron nueve tratamientos iniciando con una dosis de 0 kg hasta 350 kg/ha con incrementos de 50 kg/ha; el noveno tratamiento consistió de una segunda parcela sin aplicación de N.

El cultivar utilizado durante los tres años del estudio fue el híbrido de la Pioneer X-1358K. Este fue tratado con el insecticida thiodicarb a razón de 7.0 g i.a./kg de semilla. El control de malezas se realizó con la aplicación de la mezcla de atrazina más pendimetalina, a razón de 1.5 + 1.5 kg i.a./ha en algunas localidades y de la misma mezcla (atrazina y pendimetalina) más el herbicida glifosato, a razón de 1.64 kg i.a./ha en otras. Todos los ensayos recibieron una fertilización base al momento de la siembra de 60 kg de  $P_2O_5$ /ha utilizando como fuente el Super Fosfato Triple. También se aplicaron 20 kg de S/ha y 10 kg de K/ha, mediante la aplicación de sulfato de potasio. Todos estos nutrientes fueron aplicados al momento de la siembra en forma de banda continua a 5 cm de la semilla. El nitrógeno, tomando como fuente la urea, se aplicó con el siguiente fraccionamiento: 10% a la siembra, 40% a los 20 dds y 50% a los 37 dds.

Previo al establecimiento de los ensayos, se tomó una muestra de suelo compuesta de 0 a 20 cm de profundidad en cada uno de los bloques para el análisis físico-químico. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos del IDIAP y se realizó el análisis según Díaz-Romeu y Hunter (1978).

El análisis de suelo por localidad se observa en el Cuadro 2. Al momento de la cosecha, se tomaron datos de peso de campo de las mazorcas, número de plantas y mazorcas cosechadas, porcentaje de humedad del grano, rendimiento de rastrojo, número de plantas acamadas y altura de planta. Se calcularon los componentes del rendimiento estándares (Bolaños y Barreto, 1991) y se hizo un análisis de varianza combinado por año y a través de años.

Para el análisis de los datos de cada localidad y año fueron evaluados los modelos Linear-Plateau, Cuadrático-Plateau y Cuadrático.

El modelo Linear-Plateau está definido por las ecuaciones [1] y [2]:

$$Y = B_0 + B_1 X \quad \text{sí } X < C \quad [1]$$

$$Y = P \quad \text{sí } X > C \quad [2]$$

En donde Y es rendimiento de grano (t/ha); X la dosis de N aplicada

**CUADRO 1. UBICACIÓN Y FECHA DE SIEMBRA DE LAS 15 LOCALIDADES DEL ENSAYO DE EVALUACIÓN DE DOSIS DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE MAÍZ, AZUERO, PANAMÁ, 2002.**

Localidades	Latitud	Longitud	Fecha de siembra
<b>2000</b>			
San José-1	7°40.90'	80°14.10'	04-Sep
Paraíso	7°40.45'	80°09.09'	05-Sep
Tablas Abajo	7°47.28'	80°15.23'	06-Sep
Guararé	7°47.70'	80°16.40'	07-Sep
Portobelillo-1	8°02.51'	80°33.60'	14-Sep
<b>2001</b>			
Manantial	7°48.03'	80°13.41'	06-Sep
Paraíso	7°40.45'	80°09.09'	07-Sep
Portobelillo-2	8°02.59'	80°33.78'	11-Sep
San José-2	7°41.90'	80°13.57'	13-Sep
Los Castillos	7°58.36'	80°36.83'	14-Sep
<b>2002</b>			
San José-2	7°41.90'	80°13.57'	03-Sep
Paraíso	7°40.50'	80°09.09'	05-Sep
Tablas Abajo	7°47.28'	80°15.23'	09-Sep
Los Castillos	7°58.29'	80°36.86'	12-Sep
Agua Buena	7°50.07'	80°24.31'	20-Sep

(kg/ha);  $B_0$  el intercepto;  $B_1$  el coeficiente lineal;  $C$  la dosis crítica de cambio y  $P$ , el rendimiento Plateau.

El Modelo Cuadrático-Plateau es realizado utilizando regresiones no lineales y está definido por las ecuaciones [3] y [4]:

$$Y = B_0 + B_1 X + B_2 X^2 \quad \text{sí } X < C \quad [3]$$

$$Y = P \quad \text{sí } X > C \quad [4]$$

En donde  $Y$  es rendimiento de grano (t/ha);  $X$  la dosis de N aplicada (kg/ha);  $B_0$  el intercepto;  $B_1$  el coeficiente lineal,  $B_2$  el coeficiente cuadrático;  $C$  la dosis crítica de cambio y  $P$  el rendimiento Plateau.

El modelo Cuadrático está definido por la ecuación [5]:

$$Y = B_0 + B_1 X + B_2 X^2 \quad [5]$$

En donde  $Y$  es rendimiento de grano (t/ha);  $X$  la dosis de N aplicada

**CUADRO 2. LOCALIDADES Y ANÁLISIS DE SUELO EN DONDE SE EJECUTARON LOS ENSAYOS DE EVALUACIÓN DE NITRÓGENO, PANAMÁ, 2002.**

Localidades	pH	P mg/kg	K	Ca	Mg	Al Cmol/kg	Mn	Fe	M.O. %	Text. %
<b>2000</b>										
1. Tablas Abajo	5.4	tr	51	1.19	0.41	0.3	20	21	4.69	26-20-54
2. San José-1	5.1	tr	122	1.32	0.48	0.8	14	29	4.69	26-24-40
3. Paraiso	5.2	2	149	1.13	0.43	0.4	33	28	2.01	30-20-50
4. Portobello-1	5.2	4	82	0.41	0.08	0.5	42	21	4.15	50-44-16
5. Guararé	5.4	tr	71	0.97	0.20	0.4	23	24		40-22-38
<b>2001</b>										
6. Manantial	5.2	20	200	0.70	1.10	0.1	22	22	4.82	28-28-44
7. Paraiso	5.2	12	224	0.84	1.15	0.3	29	29	5.23	26-26-48
8. Portobello-2	5.2	5	78	0.43	0.11	0.2	19	19	4.15	54-32-14
9. San José-2	5.2	11	149	1.29	1.15	0.5	31	31	4.96	30-24-46
10. Los Castillos	5.9	5	71	3.54	1.23	0.1	21	21	3.89	50-36-14
<b>2002</b>										
11. San José-2	4.2	5	121	1.30	0.83	1.6	52	45	4.42	34-26-40
12. Paraiso	4.9	5	86	0.92	0.84	0.3	42	40	4.15	26-26-48
13. Tablas Abajo	5.1	6	59	1.36	1.67	0.2	58	24	2.01	26-24-50
14. Los Castillos	6.0	4	43	3.22	1.99	0.2	*21	26	2.81	48-30-22
15. Agua Buena	6.5	8	141	2.99	1.82	0.2	74	45	2.68	42-28-30

(kg/ha);  $B_0$  el intercepto;  $B_1$  el coeficiente lineal,  $B_2$  el coeficiente cuadrático.

El cálculo de la dosis que maximiza los rendimientos ( $X_0$ ) varía según cada modelo. Para los modelos Cuadrático y Cuadrático-Plateau, la predicción de esta dosis se realizó igualando la primera derivada de las ecuaciones [3] y [5] a cero (ecuación [6]).

En el modelo Linear-Plateau esta dosis óptima, se obtiene en donde ocurre la intersección de la respuesta lineal y la línea Plateau (Waugh y col., 1973; Ihnen Goodnight, 1985, citados por Cerrato y Blackmer, 1990).

$$X_0 = -B_1 / 2B_2 \quad [6]$$

Para el modelo Cuadrático-Plateau, el rendimiento Plateau (P) es considerado el rendimiento máximo físico y se calculó de acuerdo a la ecuación [7]:

$$P = B_1 - (B_1^2 / 4B_2) \quad [7]$$

Para los modelos Cuadrático-Plateau y Cuadrático, el cálculo del rendimiento máximo económico fue realizado igualando la primera derivada de las ecuaciones [3] y [5] a la relación de precios relevantes (ecuación [8] y [9]).

$$Rp = P_N(1 + R) / P_M \quad [8]$$

$$N_{eco} = (Rp - B_1) / 2B_2 \quad [9]$$

En donde  $Rp$  es la relación de precios;  $P_N$  es el precio de 1 kg de N más su costo de aplicación;  $R$  es la Tasa Marginal de Retorno;  $P_M$  es el precio de campo de 1 kg de maíz. Para este cálculo se consideró una Tasa Mínima de Retorno del 15%, un precio de B/.0.187/kg de maíz y un costo de B/.0.65/kg de N, incluyendo su costo de aplicación (Jauregui y Saín, 1990).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Análisis de Suelo*

El análisis de suelo de los sitios muestra la gran variabilidad natural que se puede encontrar en la región maicera de Azuero, en donde los suelos varían de muy ácidos (pH 4.2) a poco ácidos (pH 6.5), con texturas que van de arenoso hasta arcilloso, con algunas localidades consideradas de suelo franco.

En cuanto a la fertilidad, todos los suelos son bajos en fósforo y contenido medio en potasio. Son bajos en aluminio con un porcentaje de materia orgánica de 2.01 a 4.82%. El calcio y el magnesio se encuentran en niveles relativamente bajos, pero no deficitarios o limitantes. Según Jaramillo (1991), los suelos de la región de Azuero están clasificados en el orden Alfisol y se han desarrollado bajo un régimen de humedad ústico.

**CUADRO 3. CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA POR AÑO DE LOS ENSAYOS DE RESPUESTA DEL MAÍZ A DISTINTAS DOSIS DE NITRÓGENO, AZUERO PANAMÁ, 2002.**

F de V	g.l.	Cuadros Medios							
		Altura planta	Planta /m <sup>2</sup>	Maz/m <sup>2</sup>	Maz/planta	Peso maz	Rend	Rend forraje	Acame
<b>2000</b>									
Loc	4	8488.58**	1.54 <sup>n.s.</sup>	1.41*	0.0073*	6788.24**	24.08**	13.15**	68.82*
Rep (loc)	15	391.75	0.27	0.31	0.0012	47.79	0.34	0.96	7.18
N	9	1569.63**	0.12	0.51**	0.0079**	1949.82**	9.37**	7.45**	8.77 <sup>n.s.</sup>
Loc x N	36	445.47**	0.08 <sup>n.s.</sup>	0.15 <sup>n.s.</sup>	0.0017 <sup>n.s.</sup>	274.97**	0.97**	1.34 <sup>n.s.</sup>	4.34 <sup>n.s.</sup>
Error	136	132.28	0.08 <sup>n.s.</sup>	0.12	0.0020	83.64	0.38	1.01	4.82
<b>2001</b>									
Loc	4	20917.23**	0.32**	3.82**	0.12**	9330.74**	21.79**	103.14**	235.69 <sup>n.s.</sup>
Rep (Loc)	15	917.07	0.06 <sup>n.s.</sup>	0.52	0.01	265.43	2.11	4.70	138.25
N	8	1255.67**	0.06 <sup>n.s.</sup>	0.87**	0.02**	1937.95**	9.40**	26.71**	142.54**
Loc x N	32	415.04**	0.05 <sup>n.s.</sup>	0.55**	0.01**	893.66**	4.13**	13.59**	41.06 <sup>n.s.</sup>
Error	120	133.80	0.04	0.12	0.003	95.91	0.31	0.68	37.01
<b>2002</b>									
Loc	4	6496.39**	0.85**	2.21**	0.02**	25739.38**	98.87**	328.51**	2588.16**
Rep (loc)	15	409.81	0.09	0.08	0.002	227.12	0.89	3.52	156.07
N	8	3405.56**	0.04 <sup>n.s.</sup>	1.77**	0.04**	5361.84**	24.12**	18.79**	154.81**
Loc x N	32	615.45**	0.03 <sup>n.s.</sup>	0.31**	0.01**	259.27**	1.06**	1.50 <sup>n.s.</sup>	192.65**
Error	120	107.73	0.03	0.16	0.003	76.17	0.33	1.06	63.83

\* P<0.05; \*\* P<0.01; ns = no significativo.

### **Análisis de Varianza**

El análisis de varianza indicó que todas las variables estudiadas presentaron efectos significativos para las fuentes de variación Localidad, Nitrógeno y la interacción Localidad-N (Cuadro 3). Esto indica que las respuestas al N de las variables entre localidades son diferentes, pero las diferencias entre localidades no son explicadas por tendencias paralelas, es decir, hay localidades en donde se encuentra mayor respuesta al N que otras. Para la variable densidad de plantas, muchos de los efectos no son significativos estadísticamente. Esto sugiere un buen manejo de ensayos y que esta variable no tuvo ningún efecto sobre los resultados encontrados.

### **Análisis de Regresión**

El Cuadro 4 presenta los coeficientes obtenidos al correr cada uno de los tres modelos, así como el coeficiente de regresión ( $R^2$ ) para cada modelo y sitio por año. En este se puede apreciar que todos los modelos poseen  $R^2$  muy parecidos, lo que indica que es muy difícil seleccionar el modelo si se toma en cuenta este parámetro. Resultados similares obtuvieron Cerrato y Blackmer (1990) en el estudio realizado por ellos. La limitante de seleccionar el modelo utilizando el  $R^2$  se puede apreciar en la Figura 1 en donde se observa como ajusta cada uno de los modelos a los datos de una de las locali-

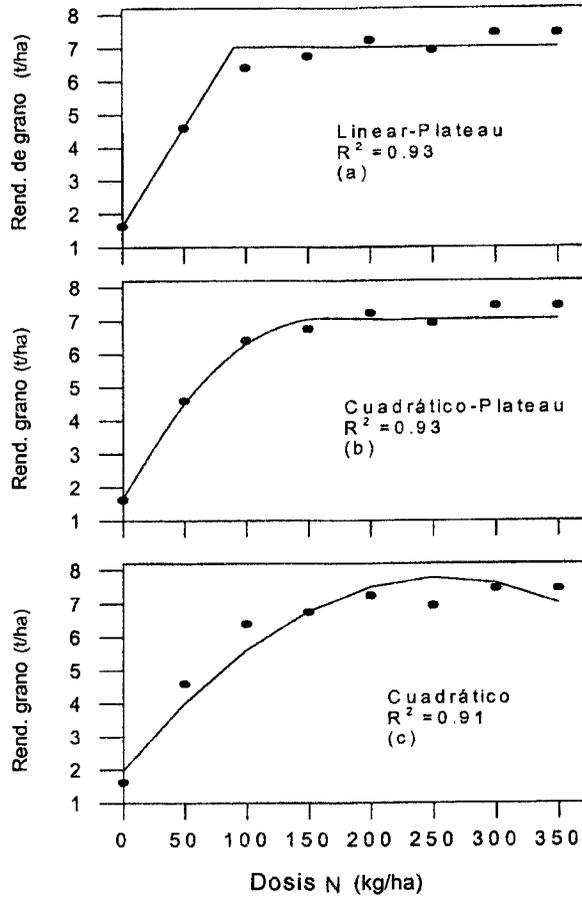
dades estudiadas (Los Castillos, 2001).

El análisis realizado a los datos obtenidos de la localidad de Portobelillo-1 en el 2000 indicó que no hubo respuesta significativa del maíz a la aplicación del N. Resultados similares se encontraron para los ensayos sembrados en las localidades de San José-2 y Manantial del año 2001. La localidad Portobelillo-2 presentó una respuesta lineal a la aplicación de N durante el año 2001. Para el resto de las localidades se encontró respuesta significativa a la aplicación de este elemento (Cuadro 4).

En el Cuadro 5 se muestra el rendimiento máximo económico predicho de acuerdo a los tres modelos. Se puede observar que los tres modelos logran predecir rendimientos máximos muy similares entre sí, con ligeras diferencias entre los mismos. Por el contrario, la dosis que optimizó el rendimiento de cada modelo difiere significativamente entre cada uno. En todas las localidades la dosis económica es menor (media de 111 kg/ha) cuando se utilizó el modelo Linear-Plateau y la misma es mucho más alta cuando se utilizó el modelo Cuadrático (promedio de 196 kg/ha). El modelo Cuadrático Plateau calculó una dosis intermedia entre los dos modelos anteriores (147 kg/ha). La magnitud de estas diferencias sugiere la necesidad de justificar la selección de un modelo

**CUADRO 4. COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES DE RESPUESTA Y COEFICIENTES DE REGRESIÓN DE CADA UNO DE LOS TRES MODELOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DEL MAÍZ A LA APLICACIÓN DE DISTINTAS DOSIS DE N, AZUERO PANAMA, 2002.**

Localidades	Cuadrático		Lineal Plateau			Cuadrático-Plateau				Cuad L-Plat				
	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	C	Plat	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C	Plat	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
1. San José-1	7.02	0.0117	0.000028	6.842	0.02	56	8.10	6.85	0.0262	-0.00013	100.0	8.17	0.40	0.46
2. Paraiso	2.67	0.0288	0.000061	2.794	0.02	157	5.98	2.76	0.0276	-0.00006	230.0	5.93	0.77	0.75
3. Tablas Abajo	3.67	0.0325	0.000066	3.742	0.02	152	7.48	3.66	0.0344	-0.00008	215.0	7.36	0.91	0.90
4. Guararé	4.45	0.0287	0.000075	4.318	0.03	81	6.89	4.32	0.0415	-0.00017	122.0	6.85	0.81	0.83
5. Portobello-1	Sin respuesta a la N													
6. Manantial	Sin respuesta a la N													
7. Paraiso	4.71	0.0113	0.000022	4.617	0.02	81	5.95	4.84	0.0092	-0.00002	230.0	5.88	0.52	0.51
8. Portobello-2	4.88	0.027	Presentó respuesta lineal	aplicación de										
9. San José-2	Sin respuesta a la N													
10. Los Castillos	1.97	0.0452	0.000088	1.606	0.06	91	7.03	1.65	0.0675	-0.00021	160.0	7.07	0.91	0.93
11. San José-2	6.90	0.0050	0.000007	6.896	0.01	92	7.62	6.97	0.0057	-0.00001	285.0	7.78	0.53	0.47
12. Paraiso	4.48	0.0188	0.000032	4.563	0.02	146	7.11	4.54	0.0234	-0.00005	235.0	7.28	0.81	0.82
13. Tablas Abajo	4.89	0.0203	0.000039	4.691	0.03	79	7.34	4.91	0.034	-0.00012	140.0	7.32	0.67	0.66
14. Los Castillos	1.90	0.0262	0.000044	1.977	0.03	137	5.61	1.89	0.0379	-0.0001	190.0	5.48	0.80	0.83
15. Agua Buena	1.30	0.0205	0.000031	1.371	0.02	153	4.49	1.27	0.0293	-0.00007	210.0	4.34	0.85	0.89



**FIGURA 1. EJEMPLO DE COMO CADA MODELO SE AJUSTA A LOS DATOS DE LA LOCALIDAD DE LOS CASTILLOS (2001).**

**CUADRO 5. RENDIMIENTO MÁXIMO ECONÓMICO Y DOSIS RECOMENDADA.**

Localidades	Rend Máx. Eco. (t/ha)			N Máx. Eco. (kg/ha)		
	L-Plat.	C-Plat.	Cuad	L-Plat.	C-Plat.	Cuad
San José-1	8.10	8.14	8.12	56	85	140
Paraíso	5.98	5.87	6.01	157	197	204
Tablas Abajo	7.48	7.31	7.58	152	190	215
Guararé	6.89	6.83	7.15	81	110	165
Portobelillo-1		6.14*				
Manantial		7.22*				
Paraíso	5.95	5.70	5.96	81	130	164
Portobelillo-2		5.26*				
San José-2		5.44*				
Los Castillos	7.03	7.06	7.69	91	151	233
San José-2	7.62	7.38	7.20	92	85	67
Paraíso	7.11	7.20	7.16	146	194	235
Tablas Abajo	7.34	7.29	7.46	79	125	212
Los Castillos	5.61	5.44	5.75	137	170	255
Agua Buena	4.49	4.28	4.58	153	181	268
Promedio	6.69	6.59	6.79	111	147	196

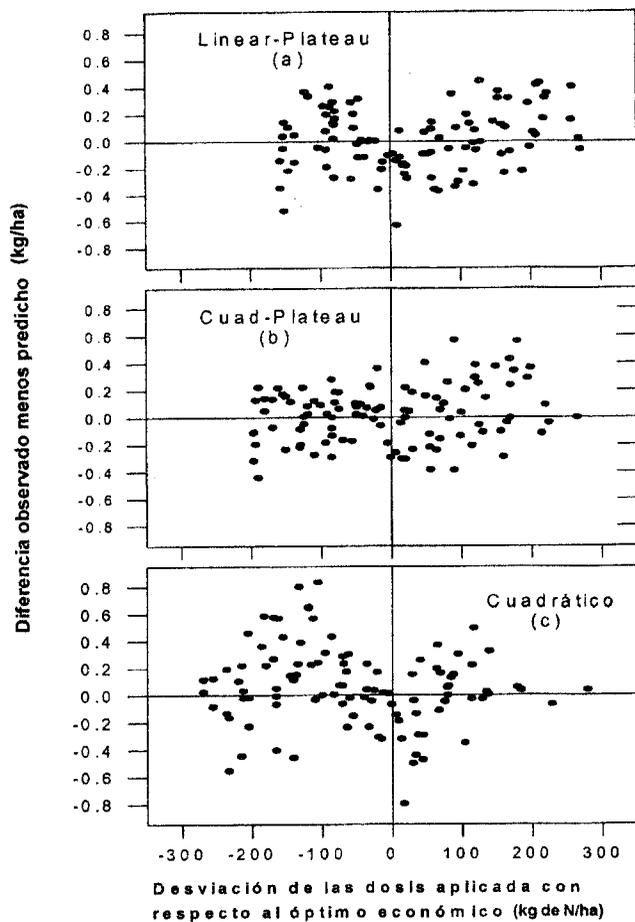
\* El valor representa el rendimiento promedio de la localidad.

sobre otro. Hasta el momento, ni el coeficiente de regresión ni los rendimientos máximos estimados por cada uno de los modelos parece ser la clave para determinar el modelo que más se ajusta a los rendimientos obtenidos en campo.

Las Figuras 2 (a) (b) (c) muestran la relación entre la desviación de las dosis de N aplicadas con respecto a la dosis óptima económica estimada por el modelo y los residuos. Estos residuos son calculados al restar del rendimiento obtenido en campo, el rendimiento predicho por el modelo. Valores positivos (encima de la línea hori-

zontal) indican que el modelo subestimó el rendimiento, mientras que, valores negativos (por debajo de la línea horizontal) significan que el modelo sobrestimó el rendimiento calculado.

La Figura 2c muestra como el modelo Cuadrático tiende a sobrestimar el rendimiento cerca de la dosis óptima económica. Debido a la agudeza del modelo Cuadrático las pendientes que están entre el punto en donde se encuentra la dosis económica y de la dosis que maximiza el rendimiento son muy parecidas o varían muy poco. Debido a esto, el modelo usualmente identifica valores inalcanzables para el ren-



**FIGURA 2. RELACIÓN ENTRE LA DIFERENCIA ENTRE LOS VALORES OBSERVADOS Y PREDICHOS POR LOS MODELOS CON LA DESVIACIÓN DE LAS DOSIS UTILIZADAS Y LAS DOSIS DE N QUE OPTIMIZA EL RENDIMIENTO, POR CADA LOCALIDAD. AZUERO, PANAMÁ, 2000-2003.**

dimiento óptimo. Esta figura también muestra la tendencia del modelo Cuadrático de sobrestimar las pendientes de la curva de respuesta en las dosis del fertilizante cercanas a la dosis óptima económica. Esta tendencia fue confirmada por el análisis de correlación lineal, el cual muestra una pendiente significativa para los puntos entre -180 y 10 kg/N ha ( $r = 0.39$ ,  $P < 0.01$ ). Cuando se calculó el promedio de las diferencias de los 16 valores para los puntos comprendidos entre -30 y 30 kg N/ha, se obtuvo un media de -149 kg/ha. Esta tendencia es muy importante porque la obtención de la dosis óptima económica utiliza el valor de la pendiente de la curva para su estimado (Cerrato y Blackmer, 1990). Estos datos indican que el modelo Cuadrático tuvo una tendencia de calcular un valor muy alto de la dosis óptima económica para cada una de las localidades estudiadas.

En relación al modelo Linear-Plateau (Figura 2a) los datos indican que este modelo también tiende a sobrestimar los rendimientos predichos cercanos a donde está la dosis óptima económica. Esta tendencia se observó cuando al calcular el promedio de los 16 valores entre la diferencia de las dosis de -30 a 30 kg N/ha el mismo fue de -176 kg/ha. Cerrato y Blackmer (1990) señalan que esta sobrestimación es consistente con la naturaleza de este modelo, el cual tiene una discontinuidad abrupta en el punto identificado

como máximo económico. Dicha discontinuidad abrupta es difícil de aceptar desde un punto de vista biológico. La sobrestimación del rendimiento en esta discontinuidad es causal de identificar dosis óptimas económicas muy bajas.

Al analizar el modelo Cuadrático-Plateau, el cual se observa en la Figura 2b, se observa que los puntos cercanos a la dosis óptima económica están menos dispersos sobre la línea central de la gráfica (dosis óptima económica). El promedio de estos valores fue de -16 kg/ha (promedio obtenido de 18 valores entre los puntos -30 y 30 kg N/ha), este valor fue el menor de los tres modelos evaluados. Estos resultados indican claramente que este modelo es el que más se ajusta a los datos obtenidos en campo. Por lo tanto, el cálculo de la dosis óptima económica resultará el más adecuado. De acuerdo a este modelo las dosis que optimizan el rendimiento en estas localidades osciló entre 85 y 195 kg N/ha, con una media general de 147 kg N/ha. De acuerdo a los datos obtenidos de estos experimentos, hay que tener cuidado al recomendar una dosis general o única para toda la región dada la alta variación encontrada. El pequeño incremento del rendimiento por la aplicación de N en las localidades de Paraíso (2001) y San José (2002) quizás no justificarían la inversión en la aplicación de N.

El rendimiento de grano en las parcelas sin aplicación de N osciló a través de las distintas localidades entre 1.27 y 6.97 t/ha, mientras que el rendimiento máximo o Plateau varió de 4.58 a 8.12 t/ha (Cuadro 4).

### CONCLUSIONES

- ❖ De acuerdo a lo observado en este ensayo, la selección del método para estimar el óptimo económico debe ser analizada detalladamente para tomar la mejor decisión y así evitar aplicaciones excesivas o deficitarias de los nutrimentos.
- ❖ El modelo Cuadrático-Plateau resultó ser el de mejor precisión para estimar la dosis económica a recomendar.
- ❖ Se encontró una alta variabilidad en cuanto a la respuesta de la aplicación del N en la producción del cultivo de maíz en la Región de Azuero, con localidades que no respondieron a la aplicación a otras en donde el óptimo económico fue de 197 kg N/ha.

### AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento al Dr. Jot Smyth de la Universidad de Carolina del Norte por su desinteresado aporte en el análisis y discusión de los datos de este experimento.

### BIBLIOGRAFÍA

- BARRETO, H.J.; WESTERMAN, R.L. 1987. YIELDFIT: A computer program for determining economic fertilization rates. *Agron. J.* 16:11-14.
- BOLAÑOS, J.; BARRETO, H. 1991. Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de maíz de 1990. *En Análisis de los Resultados Experimentales del PRM 1990*, Vol. 2. pp. 9-27.
- CERRATO, M. E.; BLACKMERA, M., 1990. Comparison of models for describing corn yield response to Nitrogen fertilizer. *Agron. J.* 82:138-143.
- DÍAZ-ROMEY, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos y tejidos vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
- DINNES, D.L.; KARLEN, D.L.; JAYNES, D.B.; KASPAR, T.C.; HATFIELD, J.L.; COLVIN, T.S.; CAMBARDELLA, C.A. 2002. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern soils. *Agron. J.* 94:153-171.
- GORDÓN, R.; DE GRACIA, N.; GONZÁLEZ, A.; FRANCO, J.; PEREIRA, A.de; JARAMILLO, S. 1992. Evaluación de la respuesta física y económica al nitrógeno, fósforo y potasio en el cultivo de maíz en la Región de Azuero, Panamá,

1991. *En Síntesis de los Resultados Experimentales del Programa de Maíz*. Panamá, 1991-1992. pp. 135-141.
- GORDÓN, R.; GONZÁLEZ, A.; FRANCO, J. 2000. Manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Azuero, Panamá, 1996-1998, 1991. *Ciencia Agropecuaria* (10): 123-134.
- HUGGINS, D.R.; RANDALL, G.W.; RUSSELLE, M.P. 2001. Sub-surface drain losses of water and Nitrate following conversion of perennials to row crops. *Agron. J.* 93: 477-486.
- JARAMILLO, S. 1991. Pedones de campo y estaciones experimentales del IDIAP. *Boletín Técnico* No. 38. 70 p.
- JARAMILLO, S.; RUIZ, J.; GONZÁLEZ, A.; PALOMINO, B.; CARRANZA, L.; MORENO, M.; DE GRACIA, N.; DÍAZ, F.; QUIRÓS, E.; HERNÁNDEZ, R.; HERRERA, C.; MIRANDA, C.; FRANCO, J. 1992. Dosis óptimas de N P K para maíz de secano en base a zonas edafoclimáticas y disponibilidad de P y K en el suelo. 17 p. (manuscrito).
- JAUREGUI, M.A.; SAÍN, G. 1990. Continuous economic analysis of crop response to fertilizer in on farm research. *CIMMYT*. México, D.F. 125 p.
- LEHRSCHE, G.A.; SOJKA, R.E.; WESTERMANN, D.T. 2000. Nitrogen placement, row spacing, and furrow irrigation water positioning effects on corn yield. *Agron. J.* 92: 1266-1275.
- MA, B.L.; DWYER, L.M.; GREGORICH, E.G. 1999. Soil Nitrogen amendment effects on Nitrogen uptake and grain yield of maize. *Agron. J.* 91: 650-656.
- MEHDI, B.B.; MADRAMOOTOO, C.A.; MEHUYS, G.R. 1999. Yield and Nitrogen content of corn under different tillage practices *Agron. J.* 91: 631-636.
- NYAMANGARA, J.; BERGSTRÖM, L.F.; PIHA, M. I.; GILLER, K. E. FERTILIZER. 2003. Use efficiency and Nitrate leaching in a tropical sandy soil. *Journal of Environmental Quality* 32: 599-606.
- RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. 1999. Improving Nitrogen use efficiency for cereal production. *Agron. J.* 91: 357-363.
- SCHMIDT J. P.; DE JOIA, A.J.; FERGUSON, R.B.; TAYLOR, R.K.; YOUNG, R.K.; HAVLIN, J.L. 2002. Corn yield response to Nitrogen at multiple in-field locations. *Agron. J.* 94: 798-806.
- VETSCH J.A.; RANDALL, G.W. 2000. Enhancing no-tillage systems for corn with starter fertilizers, row cleaners, and Nitrogen placement methods. *Agron. J.* 92: 309-331.