

## **DESARROLLO DE UN MODELO PREDICTIVO PARA ESTIMAR EL RENDIMIENTO DE MAÍZ MEDIANTE EL USO DEL CLOROFILÓMETRO SPAD 502. AZUERO, PANAMÁ. 1995-2001.**

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

### **RESUMEN**

Se desarrolló un modelo predictivo para estimar el rendimiento de grano del cultivo de maíz. El período de tiempo que cubrió el estudio se caracterizó por presentar distintos regímenes de lluvia con años considerados normales (1996, 1998 y 2001), escasa (1995, 1997 y 2000) y abundante precipitación (1999). Se realizó una correlación entre el rendimiento de grano y todas las variables medidas. La lectura del clorofilómetro (SPAD 502) resultó con el mayor índice de correlación. Se realizó un análisis de regresión por año y grupo de años, tomando en cuenta tanto la lectura del clorofilómetro como el número de plantas por metro cuadrado. Los coeficientes de las ecuaciones de los años 1998, 1999, 2000 y 2001 fueron similares entre sí. También se encontró similitud entre los coeficientes de los años 1995, 1996 y 1997. Se determinaron tres ecuaciones de predicción por grupo de años; la primera, considerando todos los años ( $Y = 0.07706 (\text{Clor}) + 0.31186 (\text{ptas}/\text{m}^2)$ ), la segunda, incluyendo los datos de los años 1995 a 1997 ( $Y = 0.06157 (\text{Clor}) + 0.35837 (\text{ptas}/\text{m}^2)$ ) y la tercera ecuación consistió del período 1998-2001 ( $Y = 0.13535 (\text{Clor}) - 0.13518 (\text{ptas}/\text{m}^2)$ ). Todas estas ecuaciones presentaron coeficientes de determinación superior a 0.96. Finalmente, las ecuaciones anuales y las tres ecuaciones resúmenes se validaron con datos del ensayo ejecutado en 2001, utilizando para esto la prueba de Chi<sup>2</sup>. El resultado de este análisis indicó que el modelo que incluyó todos los años tuvo más precisión en la predicción de la cosecha.

**PALABRAS CLAVES:** Clorofilómetro; maíz; predicción de cosecha; nitrógeno.

### **DEVELOPMENT OF A PREDICTIVE MODEL TO ESTIMATE CORN YIELD WITH THE USE OF SPAD 502 CHLOROPHYLL METER. AZUERO, PANAMA. 1995-2001.**

A predictive model was developed to estimate grain yield of corn. The study was characterized by different rainfall regimes with normal (1996, 1998 and 2001), scarce (1995, 1997 and 2000) and abundant precipitation years (1999). A multiple correlation was found between the grain yield and the others evaluated variables. The highest correlation index was obtained with the chlorophyll meter (SPAD 502). A regression analysis was made by year and by year group, considering both the chlorophyll meter

<sup>1</sup> Ing Agrónomo, M.Sc. Entomología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León", Los Santos, Panamá. e-mail: [idiap\\_azu@cwpanama.net](mailto:idiap_azu@cwpanama.net)

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

lecture and the density of plants per square meter. There were no differences among equation's coefficients for years 1998, 1999, 2000 and 2001. Neither among equation's coefficients for years 1995, 1996 and 1997. Three prediction equations were calculated according to the year group: the first included all years ( $Y = 0.07706 (\text{Clor}) + 0.31186 (\text{plants/m}^2)$ ), the second incorporated data of the 1995-1997 period ( $Y = 0.06157 (\text{Clor}) + 0.35837 (\text{plants/m}^2)$ ) and the last equation included years 1998 to 2001 ( $Y = 0.13535 (\text{Clor}) - 0.13518 (\text{plants/m}^2)$ ). Determination coefficients of all equations were greater than 0.96. Finally, the annual equations and the three year group equations were validated with grain yield of the 2001 trial. Chi Square Test was used for this purpose. Results indicate that model represented by the all years equation is the best for predicting yield.

**KEYWORDS:** Chlorophyll meter; corn; prediction of grain yield; nitrogen.

## INTRODUCCIÓN

El contenido de clorofila en la hoja de maíz se relaciona positivamente con la concentración de N en la hoja y, por lo tanto, refleja el estado nitrogenado del cultivo (Schepers y col., 1992).

El medidor de clorofila Minolta SPAD 502 permite evaluar indirectamente y en forma no destructiva el contenido de clorofila en la hoja y, por ende, el estado nutricional del cultivo a través de una rápida lectura. Éste mide un índice de verdor en unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development), proporcional a la concentración de clorofila (Peltonen y col., 1995; Finnan y col., 1997) que actúa como un indicador sensible del nivel fisiológico de la planta (Finnan y col., 1997), relacionado con el contenido de N en hojas (Fox y col., 1994; Novoa y Villagran, 2002).

Las correlaciones entre el contenido de N al estadio V6 y el rendimiento del cultivo de maíz han sido bajas. Sin embargo, su eficiencia como herramienta de diagnóstico mejora en estadios

fenológicos posteriores (Blackmer y Schepers, 1995; Brinford y Peterson, 1998).

Actualmente, existen varias herramientas para predecir el rendimiento en varios cultivos. El uso de modelos de simulación del crecimiento de cultivos es una de ellas. El modelo DSSAT (basado en el Modelo CERES) desarrollado por el IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer) permite estimar el rendimiento de varios cultivos utilizando un gran número de variables del cultivo climáticas y del suelo (Thorton, 1995). El presente trabajo tuvo el objetivo de determinar modelos predictivos para estimar la cosecha de grano del cultivo de maíz y validar los distintos modelos con el fin de estimar su precisión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar este trabajo se tomaron los datos de 30 ensayos de respuesta de la aplicación de nitrógeno (N) al cultivo de maíz, realizados en la



*Clorofilómetro modelo SPAD-502 de Minolta*

Región de Azuero en el semestre septiembre - diciembre entre los años 1995 a 2001 (Cuadro 1). Del año 1995 a 1999 los ensayos consistieron en la evaluación de la aplicación de distintos porcentajes de este elemento en forma de urea. En los dos últimos años, los ensayos se usaron para evaluar la respuesta a distintas dosis de N.

El periodo de evaluación comprendió dos tipos de manejo de la densidad de siembra. El primero (1995-1998) consistió en sembrar a una distancia de 75 cm entre hileras y 50 cm entre plantas, dejando dos semillas por golpe, para una densidad teórica de 5.33 ptas/m<sup>2</sup>. En el segundo periodo (1999-2001), las siembras se realizaron a una distancia de 80 cm entre hileras y 20 cm entre plantas, dejando una semilla por golpe, para una población inicial de 6.25 ptas/m<sup>2</sup>.

El Cuadro 2 muestra el análisis de suelo de las muestras tomadas en cada localidad. Para el análisis físicoquímico del suelo, se tomó una muestra compuesta de 0-20 cm de profundidad en cada uno de los bloques. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos del IDIAP y se realizó el análisis según Diaz-Romeu y Hunter (1978).

Todos los ensayos recibieron una fertilización de 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, 20 kg de K<sub>2</sub>O y 20 kg de S (en forma de sulfato), al momento de la siembra. Durante todos

los años, el control de malezas se realizó con la aplicación de la mezcla de atrazina, pendimetalina y glifosato a razón de 1.50, 1.50 y 1.23 kg i.a./ha, respectivamente. Adicionalmente, se efectuaron limpiezas manuales por escapes de control de algunas malezas, de tal modo que las parcelas se mantuvieran limpias hasta el momento de la cosecha. Los cultivares utilizados fueron los híbridos P-8916 (1995 y 1996), P-9490 (1997, 1998 y 1999) y X-1358 K (2000 y 2001).

En estos ensayos se usó un clorofilómetro modelo SPAD-502 de Minolta, para estimar el contenido de clorofila de 12 plantas por parcela. Esta medida se tomó en el medio de la hoja de la mazorca, después de la antesis a 65-70 días después de la siembra (dds). Gordón y col. (1997) encontraron que la relación del %N de la hoja está altamente correlacionada con la lectura de este aparato ( $r^2 = 0.96$ ) y su cálculo se obtiene con la fórmula:

$$\%N \text{ de la hoja} = 0.049 \\ (\text{Lectura del SPAD})$$

Para cada año se tomaron datos de rendimiento de grano, número de plantas y mazorcas cosechadas, porcentaje de humedad del grano y rendimiento de rastrojo.

Para estimar los modelos de predicción se realizó una correlación entre el rendimiento de grano con todas las variables medidas. Luego, se hizo un aná-

**CUADRO 1. LOCALIDADES EN DONDE FUERON REALIZADOS LOS ENSAYOS. AZUERO, PANAMÁ, 1995-2001.**

	<b>Localidad</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Año</b>	
1	Los Cantos	7°58.92'	80°36.95'	1998	
2	Los Castillos 1	7°58.02'	80°36.55'	1997	
3	Los Castillos 2	7°58.36'	80°36.83'	2001	
4	Paris	8°01.22'	80°32.11'	1996	
5	Parita	8°00.02'	80°31.23'	1996	
6	Portobelillo	8°02.51'	80°33.60'	2000	2001
7	El Bongo	7°55.18'	80°28.20'	1995	
8	El Ejido	7°54.10'	80°22.30'	1995	1996
9	Guararé 1	7°50.09'	80°16.29'	1998	
10	Guararé 2	7°47.70'	80°16.40'	2000	
11	La Enea	7°51.21'	80°16.55'	1999	
12	Tablas Abajo	7°47.30'	80°15.20'	2000	
13	Manantial	7°48.03'	80°13.41'	2001	
14	Santo Domingo	7°45.39'	80°13.50'	1995	1996
15	San José 1	7°41.39'	80°13.44'	1996	
16	San José 2	7°41.88'	80°13.57'	2001	
17	San José 3	7°40.53'	80°14.09'	1998	1999
18	San José 4	7°40.90'	80°14.10'	2000	
19	La Mina	7°40.45'	80°09.09'	2000	2001
20	Paraíso	7°40.87'	80°09.66'	1998	1999
21	Purio	7°36.55'	80°04.88'	1997	
22	Mariabé	7°34.16'	80°03.47'	1997	1999
23	Los Higos	7°31.52'	80°05.55'	1997	

**CUADRO 2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS SUELOS DE LOS ENSAYOS. AZUERO, PANAMÁ, 1995-2001.**

Localidad	pH	P	K	Ca	Mg	Al	M.O.	Mn	Fe	Zn	Cu	Arena	Limo	Arc
Los Cantos	6.0	7	63	1.81	1.60	0.1	---	19	15	1	4	28	26	46
Los Castillos 1	6.1	55.5	55	2.16	0.99	0.2	---	15	20	12	3	48	29	23
Los Castillos 2	5.9	5	71	3.54	1.23	0.1	3.89	21	21	2	5	50	36	14
Paris	5.5	Tr	172	0.46	0.19	0.1	5.63	73	28	3	10	44	26	30
Parita	6.0	Tr	78	0.94	0.39	0.1	5.80	28	21	2	4	46	28	26
Portobellillo	5.2	5	78	0.43	0.11	0.2	4.15	46	19	2	4	54	32	14
El Bongo	5.2	1.5	85	0.56	0.29	0.4	3.56	31	33	4	2	72	15	13
El Ejido	5.2	Tr	47	0.56	0.60	0.1	2.95	47	32	2	5	44	22	34
Guararé 1	6.0	3.0	184	2.22	2.00	0.1	---	19	24	1	6	33	17	50
Guararé 2	5.4	Tr	71	0.97	0.20	0.4	---	23	24	3	6	40	22	38
La Enea	4.8	5	86	0.33	0.14	0.1	---	18	18	1	3	68	14	18
Tablas Abajo	5.4	Tr	51	1.19	0.41	0.3	---	20	21	2	5	26	20	54
Manantial	5.2	20	200	0.70	1.10	0.1	4.82	121	22	3	13	28	28	44
Santo Domingo	5.6	2.1	130	1.17	0.78	0.4	5.09	46	28	5	8	26	36	40
San José 1	4.9	Tr	196	1.98	0.78	0.2	5.40	36	49	3	5	34	20	46
San José 2	4.9	Tr	78	2.16	1.76	0.4	---	15	15	3	6	34	18	48
San José 3	5.1	Tr	122	1.32	0.48	0.8	---	14	29	2	5	36	24	40
San José 4	5.2	11	149	1.29	1.15	0.5	4.96	58	31	5	7	30	24	46
La Mina	5.2	12	224	0.84	1.15	0.3	5.23	47	29	6	13	26	26	48
Paraiso	4.9	Tr	86	1.22	0.53	0.3	---	27	20	2	6	44	22	34
Purio	6.3	11.5	83	1.90	1.32	0.3	---	24	31	21	3	40	29	31
Mariabé	4.7	2	130	1.04	0.40	0.2	---	57	9	3	10	44	24	32
Los Higos	5.9	Tr	63	0.56	0.30	0.3	---	20	15	3	2	45	24	31

P, K, Mn, Fe, Zn, y Cu = mg/kg      Tr = Trazas      Ca, Mg y Al = cmol/kg      Text. = Arena, Limo, Arcilla = %

lisis de regresión entre el rendimiento de grano con las variables que presentaron mayor coeficiente de correlación. Una vez obtenidos los modelos de regresión para cada año, se calcularon los modelos, esta vez agrupando varios años. Para validar los distintos modelos (por año y agrupados) se tomaron los datos de los cinco ensayos cosechados en el año 2001 y se estimó el rendimiento por modelo. Una vez estimado el rendimiento de grano, se realizó una prueba de Chi Cuadrado para determinar el modelo que mejor se ajustaba.

Finalmente, para la selección del mejor modelo, según la ecuación de cada año, se analizó la información de lluvias registradas en siete pluviómetros de la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) en la Región. Se determinaron los meses de lluvia normal, meses de lluvias por debajo y por encima de lo normal. El límite para considerar un mes de lluvia normal corresponde a un valor comprendido entre el límite de confianza del respectivo mes (95% de probabilidad).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Características de los Suelos*

Los ensayos fueron ejecutados en un gran número de ambientes, los cuales representan de manera general los suelos en donde se siembra comercialmente maíz en la Región de Azuero. De acuerdo al análisis de suelo, éstos son ba-

jos en fósforo, de medio a alto en potasio, baja toxicidad de aluminio y de bajo a medio de Ca y Mg. El pH es considerado de ácido a levemente ácido (4.7–6.3) y contenido de materia orgánica alrededor del 5%. Su textura va generalmente de arcillosa a franco-arcillosa.

### *Determinación de los modelos*

El resultado del análisis de correlación del rendimiento de grano versus las distintas variables medidas en cada año se presenta en el Cuadro 3. De todas las variables correlacionadas, el rendimiento de materia seca de forraje, peso de mazorca, biomasa total y lectura del clorofilómetro fueron las variables que presentaron los mayores coeficientes de correlación múltiple. El número de plantas y mazorcas cosechadas, así como el índice de cosecha presentaron bajos coeficientes de correlación.

La Figura 1 muestra la relación gráfica de la lectura del clorofilómetro y el rendimiento de grano. Estos resultados indican que a partir del año 1998 el coeficiente de correlación mejoró respecto a los primeros tres años del estudio. Una posible explicación a esta situación puede atribuirse al cambio en el manejo de la población y arreglo topológico de los ensayos, los cuales han podido influenciar en el grado de precisión en la predicción del rendimiento de grano. De acuerdo a estos resultados, la lectura del clorofilómetro está altamente correlacionada con el rendimiento; y debido a que su

**CUADRO 3. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN MÚLTIPLE DEL RENDIMIENTO DE GRANO Y ALGUNAS VARIABLES MEDIDAS. PANAMÁ, 1995-2001.**

	Clor	Ptm <sup>2</sup>	Mzm <sup>2</sup>	PMz	RendF	Biom	Ind
1995	0.65 **	0.18 *	0.45**	0.79**	0.64**	0.86 **	0.11 <sup>n.s</sup>
1996	0.68**	0.40**	0.60**	0.87**	0.73**	0.88**	-0.15 <sup>ⓐ</sup>
1997	0.66**	0.61**	0.73**	0.78**	0.68**	0.86**	0.19 <sup>ⓐ</sup>
1998	0.90**	0.12 <sup>n.s</sup>	0.70**	0.96**	0.65**	0.87**	0.29**
1999	0.91**	-0.04 <sup>n.s</sup>	0.40**	0.97**	0.85**	0.94**	-0.12 <sup>n.s</sup>
2000	0.91**	0.08 <sup>n.s</sup>	0.52**	0.96**	0.58**	0.90**	-0.62**
2001	0.88**	0.10 <sup>n.s</sup>	0.54**	0.95**	0.91**	0.96**	-0.01 <sup>n.s</sup>

<sup>ⓐ</sup> \*, \*\* Probabilidad de P menor al 10, 5 y 1%, respectivamente.

Clor = clorofilómetro; Ptm<sup>2</sup> = planta por m<sup>2</sup>; Mzm<sup>2</sup> = mazorca por m<sup>2</sup>; PMz = peso de mazorca; RendF = rendimiento de forraje; Biom = biomasa total; Ind = índice de cosecha

lectura se realiza mucho antes de la cosecha (65 a 70 dds), esta información puede ser utilizada para realizar predicciones del rendimiento. Resultados similares fueron encontrados por Sainz y Echeverría (1998) y Gordón y col. (1993).

Posteriormente, para darle más consistencia al modelo, se tomó en cuenta la lectura del clorofilómetro y la población de plantas. Esta última variable se incluyó por ser considerada como uno de los componentes más importantes del rendimiento en el cultivo de maíz (Bolaños y col. 1993; Pandey y Gardner, 1992; Fisher y Palmer, 1984; Duncan, 1984).

El modelo utilizado para la regresión fue el siguiente:

$$y = B_1(\text{Lectura clorofilómetro}) + B_2(\text{Plantas/m}^2)$$

Una vez calculadas las ecuaciones por año (Cuadro 4) se procedió a calcular una ecuación general (incluye los siete años del estudio). También se calculó una ecuación que incluyó los datos de los años 1995 al 1997 y una tercera ecuación que comprendió los datos de 1998 al 2001. La tercera ecuación se realizó tomando en cuenta que los valores obtenidos en las ecuaciones para cada año (intercepto y pendiente) fueron similares en ambos grupos de años. El coeficiente de determinación de las regresiones anuales también fue similar para cada grupo (Cuadro 4).

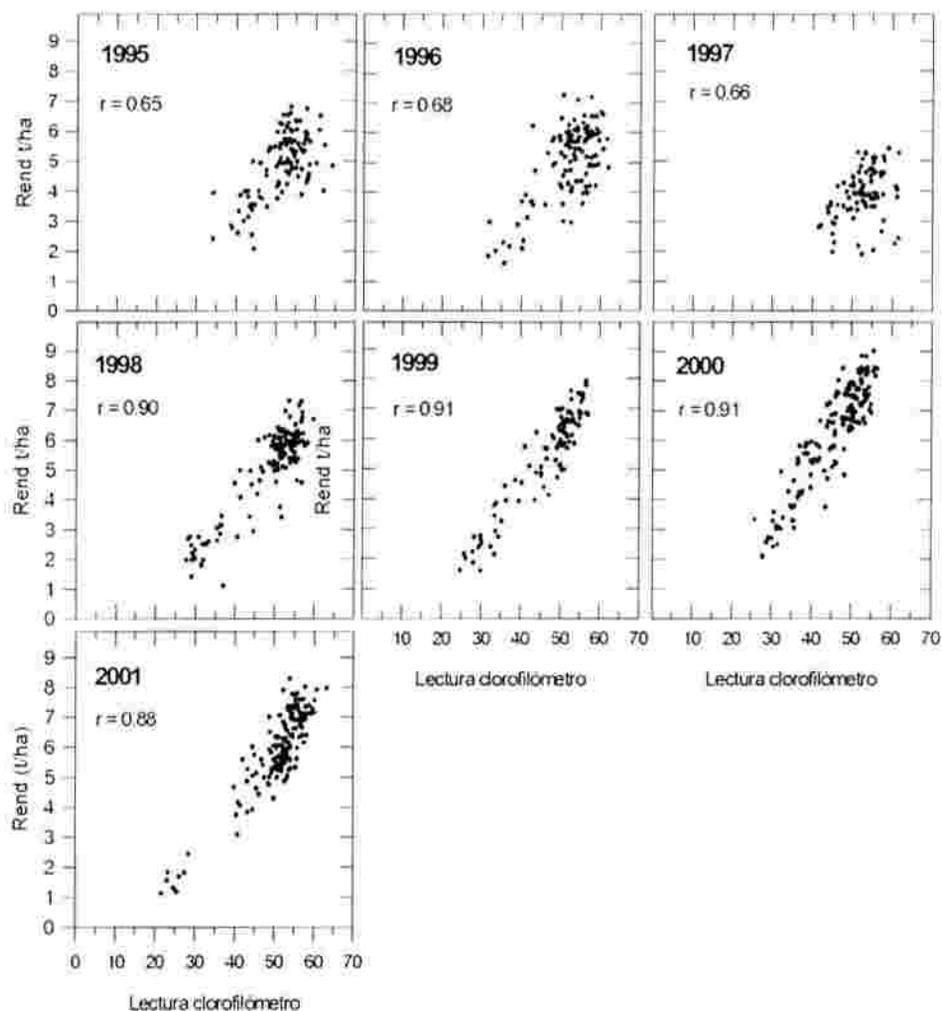


FIGURA 1. RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DE GRANO Y LAS LECTURAS DEL CLOROFILÓMETRO EN EL PERÍODO 1995-2001. PANAMÁ.

CUADRO 4. PARÁMETROS CALCULADOS DE LAS ECUACIONES PARA PREDECIR EL RENDIMIENTO DE GRANO SEGÚN AÑO DE EVALUACIÓN Y GRUPOS DE AÑOS. PANAMÁ 1995-2001.

	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	R <sup>2</sup>
1995	0.0802**	0.1608*	0.97
1996	0.0751**	0.2602*	0.97
1997	0.0435**	0.4916**	0.98
1998	0.1437**	-0.3776**	0.98
1999	0.1699**	-0.4222**	0.99
2000	0.1862**	-0.3838**	0.98
2001	0.1628**	-0.4051**	0.98
95-01	0.0771**	0.3119**	0.96
95-97	0.0616**	0.3584**	0.97
98-01	0.1353**	-0.1352**	0.97

\*,\*\* Probabilidad de P menor al 5 y 1%, respectivamente.

### *Análisis de la precipitación pluvial en el período 1995-2001*

El análisis de la precipitación registrada en este periodo permite interpretar mejor el resultado de los modelos por año. De manera general, en los años 1995, 1997 y 2000 se acumularon menos lluvia que el promedio de los siete años. Mientras que los años 1996 y 1999 son considerados años con más lluvia que el promedio, según el cálculo de los límites de confianza. El resto de los años (1998 y 2001) presentó lluvias que no se diferencian del promedio general (Cuadro 5).

Con relación al régimen de lluvias durante el semestre septiembre-diciem-

bre (Sep-Dic) de cada año, el mismo se comportó de manera similar al registro de todo el año. El año 2000 fue la excepción, ya que a pesar de ser considerado normal, el semestre Sep-Dic presentó un déficit de 205 mm, considerado éste como un semestre por debajo de la media, es decir, con déficit de lluvias.

Durante el periodo de estudio, ninguno de los años presentó una distribución mensual similar de lluvias en el semestre Sep-Dic. Esta situación influye de manera significativa para que la respuesta esperada, de acuerdo a los modelos anuales, difiera de un año a otro.

**CUADRO 5. PROMEDIO MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL CAPTADA EN SIETE PLUVIÓMETROS DE LA REGIÓN DE AZUERO. PANAMÁ, 1995-2001.**

	95	96	97	98	99	00	01	Prom	L.C.
<b>Abr</b>	43	2	12	2	13	1	0	10	6
<b>May</b>	80	156	20	102	175	121	93	107	20
<b>Jun</b>	148	196	155	139	144	234	95	159	17
<b>Jul</b>	138	173	91	106	175	215	256	165	23
<b>Ago</b>	176	150	23	167	253	215	99	155	30
<b>Ene-Ago</b>	586	688	301	522	778	806	543	604	68
<b>Sep</b>	103	222	169	119	326	144	206	184	30
<b>Oct</b>	246	234	191	185	317	84	231	213	28
<b>Nov</b>	121	231	176	178	332	206	148	199	27
<b>Dic</b>	61	80	1	161	104	28	63	71	20
<b>Sep-Dic</b>	531	767	538	642	1079	462	647	667	61
<b>Ene-Dic</b>	1116	1455	839	1164	1857	1268	1191	1270	125

Conociendo la información del registro de lluvias para un determinado año, se puede aplicar el modelo que corresponda al año con un registro similar de lluvias al período en estudio (1995-2001). Esto permitirá tener un rango de predicción aproximado entre el valor obtenido del modelo general y el modelo anual seleccionado de acuerdo a las características climatológicas.

#### **Validación de los modelos**

Para determinar la ecuación que estimó mejor el rendimiento de grano se utilizaron los datos obtenidos de los cinco

ensayos cosechados durante el año 2001.

En el Cuadro 6 se observa el rendimiento promedio de los nueve tratamientos evaluados este año (rendimiento observado), así como el rendimiento calculado al aplicar las tres ecuaciones de años agrupados (rendimiento esperado). Los tres modelos presentaron un  $\text{Chi}^2$  altamente significativo, pero el modelo que incluyó los siete años fue el que presentó menor valor de la sumatoria del cuadrado de las restas entre lo observado y esperado, por lo que resultó el más

**CUADRO 6. RENDIMIENTO DE GRANO DE LAS PARCELAS DEL AÑO 2001 Y RENDIMIENTOS PREDICHOS SEGÚN MODELO POR GRUPOS DE AÑOS. AZUERO, PANAMÁ. 1995-2001.**

Rend. real cosechado*	Rend. de grano calculado según modelo		
	95-97	98-01	95-01
4.65	4.83	5.19	5.24
5.77	5.27	6.16	5.79
5.96	5.46	6.53	6.03
6.02	5.40	6.41	5.95
6.27	5.47	6.53	6.03
6.30	5.45	6.44	6.00
6.51	5.52	6.65	6.10
6.30	5.45	6.59	6.02
4.68	4.79	5.12	5.20
Chi <sup>2</sup>	0.73	0.22	0.18

\* Promedios obtenidos de cinco localidades y cuatro repeticiones por localidad.

preciso para estimar el rendimiento. La diferencia más alta se encontró en el modelo que incluye el período 1995-1997.

De igual forma se aplicó la metodología para determinar el mejor modelo por año. Se encontró que el modelo del año 2001 fue el mejor, seguido por el del año 1996 y 1999. Este resultado se esperaba, ya que los datos utilizados para este análisis provienen de los ensayos cosechados ese mismo año. Las ecuaciones de los años 1995, 1997 y 2000 fueron las que presentaron

mayor diferencia entre lo observado y lo estimado, es decir presentan la menor precisión (Cuadro 7). Este mismo grupo de años presenta la menor precipitación acumulada (menos de 600 mm) en el semestre Septiembre-Diciembre. Esto sugiere que el modelo es más eficiente en los años cuando no se presenta déficit de agua en el cultivo. Una posible explicación a este hecho es que en años con problemas de lluvias se altera o baja la eficiencia en la aplicación del nitrógeno, lo que a su vez se ve reflejado en las lecturas del clorofilómetro.

**CUADRO 7. RENDIMIENTO DE GRANO (t/ha) DE LAS PARCELAS DEL AÑO 2001 Y RENDIMIENTOS PREDICHOS SEGÚN MODELO POR AÑOS. AZUERO, PANAMÁ, 1995-2001.**

* Rend. real cos.	Rend. de grano calculado según modelo						
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
4.65	4.49	4.85	4.82	4.14	5.03	5.98	4.82
5.77	5.06	5.39	5.12	5.17	6.26	7.32	5.99
5.96	5.30	5.61	5.28	5.55	6.70	7.81	6.42
6.02	5.22	5.54	5.23	5.42	6.55	7.64	6.27
6.27	5.30	5.62	5.28	5.54	6.70	7.81	6.41
6.30	5.26	5.59	5.29	5.43	6.57	7.68	6.29
6.51	5.37	5.69	5.32	5.67	6.85	7.97	6.56
6.30	5.31	5.61	5.24	5.64	6.81	7.92	6.52
4.68	4.45	4.81	4.79	4.07	4.95	5.89	4.74
Chi <sup>2</sup>	1.13	0.47	1.15	0.76	0.30	2.81	0.07

\* Promedios obtenidos de cinco localidades y cuatro repeticiones por localidad

## CONCLUSIONES

- ✱ Se encontró una alta correlación entre la lectura del clorofilómetro y el rendimiento de grano.
- ✱ Se obtuvieron distintos modelos que predicen con bastante precisión el rendimiento de grano del cultivo de maíz.
- ✱ La precipitación pluvial es un factor que condiciona el modelo a utilizar.

## RECOMENDACIÓN

- ✱ Validar estos modelos en parcelas de productores colaboradores.

## AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento a los técnicos Iván Barahona, Gladys H. Villarreal, Ing. Virgilio Ureña e Ing. Yamil Sánchez, funcionarios de la ANAM por la captura y digitalización de los registros de lluvias, así como por el uso de los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

- BLACKMER, A.M.; SCHEPPERS, J.S. 1995. Use of a chlorophyllmeter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *J. Prod. Agric.* 8: 56-60.
- BOLAÑOS, J.; PÉREZ, J.; ZEA, J.; QUEMÉ, J.; FUENTES, M.; MENDOZA, C.; LÓPEZ, G. 1993. Dinámica y variabilidad de los componentes de rendimiento en 28 parcelas de maíz en Centro América. *En Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM 1992*. Vol. 4. pp. 187-197.
- BRINFORD, G.; PETERSON, T. 1998. Methods for improving N management in Corn. *Crop Management and Agronomics - Corn/Maize*. Pionner.
- DÍAZ - ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos y tejidos vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68 p.
- DUNCAN, W.G. 1984. A theory to explain the relationship between corn population and yield. *Crop Science* 24: 1141- 1145.
- FINNAN, J.M.; BURKE, J.I.; JONES, M.B. 1997. A note on a non-destructive method of chlorophyll determination in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Irish of Agricultural and Food Research* 36: 85-89.
- FISHER, K.; PALMER, A. 1984. Tropical maize. *In* P.R. Goldsworthy and N.M. Fischer (eds.). *The Physiology of Tropical Crops*. John Wiley and Sons, New York. pp. 231-248.
- FOX, R.H.; PIEKIELEK, W.P.; MACNEAL, K.M. 1994. Using chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. *Community Soil Science Plant Anal.* 25 (3-4): 171-181.
- GORDÓN, R.; GONZÁLEZ, A.; DE GRACIA, N.; FRANCO, J. 1997. Eficiencia de uso de nitrógeno aplicado en forma de urea en el cultivo de maíz, Azuero, Panamá. pp. 164-169. *En* J. Bolaños (ed.). *Síntesis de Resultados Experimentales del PRM. 1993-1995*. Vol. 5. CIMMYT, Guatemala.
- GORDÓN, R. y col. 1993. Respuesta del maíz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en rotación con Canavalia y Mucuna bajo dos tipos de labranza, Río Hato, Panamá, 1992-93. pp. 106-110. *En* J. Bolaños y col. (eds.). *Síntesis de Resultados Experimentales del PRM, 1992*. Vol. 4. CIMMYT, Guatemala.

- NOVOA, R.; VILLAGRAN, N. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de Nitrógeno foliar en maíz. *Agricultura Técnica (Chile)* 62 (1): 166-171.
- PANDEY, S.; GARDNER, C. 1992. Recurrent selection for population, variety and hybrid improvement in tropical maize populations. *Crop Science* 48: 1-87.
- PELTONEN, J.; VIRTANEN, A.; HAGGREN, E. 1995. Using a chlorophyll meter to optimize nitrogen fertilizer application of intensively-managed small grain cereals. *Journal Agronomy and Crop Science* 174: 309-318.
- SAINZ ROZAS, H.; ECHEVERRÍA, H.E. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Rev. Fac. Agron. (La Plata)* 103 (1): 37-44.
- SCHEPERS, J.S.; BLACKMER, T.M.; FRANCIS, D.D. 1992. Predicting fertilizer needs for corn in humid regions: Using chlorophyll meters. *In* Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions. B.R. Brock y K.R. Kelly (eds.). National Fert. and Environ. Res. Cen. Bull. Y-226, Muscle Shoals, A.L. pp. 7-27.
- THORTON, P. K. 1995. The Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 3.0. Applying crop models and decision support systems. Vol. 2.