

IMPACTO DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN EL RENDIMIENTO DE GRANO DE MAÍZ EN LA REGIÓN DE AZUERO, LOS SANTOS, PANAMÁ. 1995-2003. II. ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO Y SU RELACIÓN CON LA ÉPOCA DE SIEMBRA.

**Román Gordón M.¹; Ismael Camargo²; Jorge Franco³;
Andrés González³**

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue medir el impacto de la lluvia sobre el rendimiento de grano de maíz en el período 1995-2003, tomando en cuenta las distintas épocas de siembra. Además de medir el impacto que los cambios tecnológicos, implementados en este período, han tenido sobre el rendimiento del cultivo. La media de rendimiento de grano en el período 1995-1998 fue de 4.54 t/ha; esta medida aumentó a 5.99 t/ha, durante el período 1999-2002. Producto de la investigación realizada en los últimos tres años, en el 2003 se incrementó la dosis de N a razón de 200 kg de N/ha y se obtuvo un rendimiento promedio de 7.35 t/ha en ensayos realizados a través de 10 localidades. Se analizó el rendimiento de grano de 73 ensayos realizados desde 1995 hasta 2003 y se correlacionó con la época de siembra y la precipitación acumulada en los períodos críticos para la producción de grano. Se dividió el período del cultivo en tres etapas, (30-50 dds, 51-80 dds y 81-100 dds). En la mayoría de las localidades se observó una disminución del rendimiento estadísticamente significativa a medida que la época de siembra se realizó tardíamente. En los años 2000 y 2002 se presentó un severo estrés en la etapa 51-80 dds en las siembras realizadas tardíamente, lo que ocasionó una disminución del rendimiento de 19.6 y 35.4% con respecto a las siembras tempranas. En los años 1996 y 2003 el estrés en las siembras tardías se presentó en la etapa de 81-100 dds, causando mermas de 15.2 y 14.6%. El rendimiento obtenido en los años 1995, 1998 y 2001, también se vio reducido en las siembras tardías en un 8.4, 9.7 y 7.5%, respecto a las siembras tempranas. Los resultados de este estudio sugieren que los cambios tecnológicos han impactado positivamente el rendimiento de grano; no obstante, la época de siembra también juega un rol importante para minimizar el efecto del estrés hídrico sobre los períodos fenológicos críticos y que afectan negativamente el rendimiento de grano.

PALABRAS CLAVES: Maíz, estrés hídrico, época de siembra, etapas fenológicas, cambio tecnológico.

¹ Ing. Agr., M.Sc. Entomología. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León", Los Santos, Panamá. e-mail: rgordonm@cwpanama.net

² Ph.D. Fitomejoramiento. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos, Panamá. e-mail: icamargo@cwpanama.net

³ Agr., IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero "Ing. Germán De León", Los Santos, Panamá.

RAINFALL IMPACT ON THE GRAIN CORN YIELD IN AZUERO REGION, PANAMA, 1995-2003. II. YIELD ANALYSIS AND ITS RELATIONSHIP WITH THE PLANTING DATE

The objective of this study was evaluating the rainfall impact over corn grain yield in the 1995- 2003 periods, according planting dates. Another objective was assessing the technological change impact over the cultivars trials yield during the years 1995 to 2003. The average throughout 1995-1998 was 4.54 t/ha. The yield increased to 5.99 t/ha during 1999-2002 period. Due to researches carried out during the last three years, in 2003 the Nitrogen rates was increased to 200 kg N/ha and the yield average improved to 7.35 t/ha in the trials planted across 10 localities. Consistent with the objective of this paper, it was analyzed the grain yield of the 73 trials planted since 1995 to 2003 and it was correlated with the planting dates and rainfall accumulated during the critical grain filling phases. The crop period was divided in three phases (30-50 dap, 51-80 dap and 81-100 dap). It was observed in majority of the localities a significant statistical decrease yield when the planting dates were reached later. In the years 2000 and 2002 it was appeared a severe stress in 51-100 dap period in the later planting dates, it caused a yield decreasing by 19.6 and 35.4% regarding sooner planting dates. The stress in 1996 and 2003 later planting dates showed in the 81-100 dap period, causing 15.2 and 14.6% depletes. The 1995, 1998 and 2001 yields was reduced in the later planting dates in 8.4, 9.7 and 7.5%, regarding to sooner planting dates. The outcomes of this study suggest that the technological changes have impacted positively the grain yield, however, the planting date is very important to minimize the water stress impact in the critical fenological period what affected negatively the grain yield.

KEY WORDS: Corn, water stress, planting dates; fenological phases, technological change.

INTRODUCCIÓN

La distribución de las lluvias o los aportes de agua por riego, a lo largo del ciclo vegetativo del maíz, es importante para el crecimiento, la sanidad y el rendimiento del cultivo. Los rendimientos de grano y forraje dependen linealmente de la humedad almacenada en el suelo en el período de siembra y de la precipitación subsiguiente en la época del cultivo (Gregory y col., 2000). En el período que precede a la siembra, conviene que las precipitaciones mantengan el área

de las raíces en un estado cercano a capacidad de campo. Es importante considerar que para tener un buen rendimiento de grano a la cosecha, la cantidad de agua disponible para las plantas debe ser suficiente durante el período anterior y posterior a la floración y la polinización (Llanos, 1984).

El efecto del agua sobre la producción de maíz en las zonas tropicales es determinante; su falta durante la etapa de crecimiento puede matar las plantas jóvenes y reducir la densidad de población. El efecto principal

de la sequía en el período vegetativo se observa en la reducción del crecimiento de las hojas, de modo que el cultivo capta menos radiación solar. En la floración (unas dos semanas antes de la emisión de estigmas hasta dos semanas después de éstas), el maíz es muy sensible al estrés hídrico y el rendimiento de grano puede ser seriamente afectado, si el agua escasea durante este período. Durante el llenado de granos, el principal efecto de la sequía es reducir el tamaño de éstos (Lafitte, 1994; Hall y col., 1981). Este efecto ha sido estudiado y se ha demostrado que está estrechamente relacionado con las épocas de siembra (Lauer y col., 1999; Norwood, 2001).

El umbral mínimo de precipitación, del cual puede esperarse cosecha de granos, es de 150 mm. A partir de éste puede producirse, de media, unos rendimientos de 730 kg/ha de forraje y 300 kg/ha de grano, por cada 25 mm de lluvia adicionales. Estudios realizados en la faja maicera de los Estados Unidos, valoraban las necesidades de agua del maíz en los meses del cultivo en las siguientes cifras: 100 mm el primer mes, 175 mm el segundo y 100 mm el tercer mes (McIlrat y Earley, 1961).

Según Lafitte (1994), el maíz necesita por lo menos 500 a 700 mm de precipitación bien distribuida durante el ciclo de cultivo. Sin embargo, aún esa cantidad de lluvia no es

suficiente si la humedad no puede ser almacenada en el suelo, debido a la poca profundidad de éste o del escurrimiento, o si la demanda evaporativa es muy grande por las temperaturas elevadas y la escasa humedad relativa.

El objetivo de este trabajo fue medir el impacto de la lluvia sobre el rendimiento de grano de maíz en el período 1995-2003, tomando en cuenta las distintas épocas de siembra. Un segundo objetivo fue medir el impacto que los cambios tecnológicos, implementados en este período, han tenido sobre el rendimiento del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de los datos experimentales

Para la realización de este estudio, se tomó la base de datos del ensayo de evaluación de cultivares de maíz (Prueba Regional de Maíz), que incluye los ensayos de los años 1995 a 2003 (nueve años). En este período se realizaron experimentos en 85 localidades y se evaluaron 161 entradas, para un total de 1,497 datos (Cuadro 1).

Datos de Precipitación

Los registros de lluvia para este análisis provienen de ocho pluviómetros ubicados a lo largo de la zona

maicera de la región de Azuero. Los mismos estaban localizados en los distritos de Pedasí (1), Pocrí (1), Las Tablas (2), Guararé (2), Los Santos (1) y Parita (1). Los pluviómetros de El Regadío en Guararé, Tablas Abajo, Las Cocobolas (ambos en Las Tablas) y Pedasí tuvieron registros los nueve años del estudio. Los pluviómetros de Ciénega Larga en Guararé y el de Pocrí tuvieron registros de ocho años (1996-2003), en tanto que en los de El Ejido y París de Parita presentan datos de cuatro (2000-2003) y dos años (2002-2003).

Efecto de la lluvia sobre el rendimiento de grano

Para el análisis del efecto de la lluvia sobre el rendimiento, cada año

en estudio se dividió en dos períodos; el primero consistió en los ensayos sembrados en fechas tempranas, es decir, fechas antes del límite para sufrir estrés hídrico, establecido por Gordón y col. (2004). El segundo período incluyó los ensayos sembrados tarde o sembrados después de la fecha límite para sufrir estrés hídrico, de acuerdo a los datos de cada año.

Se procedió a realizar el cálculo de la lluvia acumulada en los períodos que van de los 31-50, 51-80 y 81-100 días después de la siembra (dds) para cada ensayo. Para este cálculo, se tomó en cuenta la fecha de siembra de cada ensayo y la información de los pluviómetros ubicados en el distrito donde estaban sembrados los experimentos.

CUADRO 1. NÚMERO DE LOCALIDADES Y ENTRADAS EVALUADAS EN LOS ENSAYOS DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ EN LA REGIÓN DE AZUERO, PANAMÁ. 1995-2003.

Año	Nº Loc	Nº Entradas	Nº datos
1995	10	15	145
1996	11	20	220
1997	7	20	140
1998	9	16	144
Total	37	71	649
1999	8	19	152
2000	10	19	190
2001	9	20	180
2002	11	17	175
Total	38	75	697
2003	10	15	150
Totales	85	161	1,497

Los tres períodos utilizados para el cálculo, corresponden a los períodos críticos del desarrollo del rendimiento del cultivo de maíz, según McWilliams y col. (1999), en donde el potencial del rendimiento se puede reducir en 25, 50 y 25%, respectivamente, por sequía. Se realizó una prueba de "t" para determinar si los promedios de cada época de siembra fueron estadísticamente diferentes entre sí.

Confiabilidad estadística de las respuestas física y económica

Para el análisis de la confiabilidad de la respuesta, debido al efecto de las recomendaciones agronómicas sobre estos datos, se dividieron los datos en tres períodos.

Durante el período 1995-1998, los ensayos se sembraron a una densidad de 5.33 plantas/m² y una sola aplicación de N, a razón de 130 kg/ha. En el período 1999 a 2002, la densidad de plantas utilizada se incrementó a 6.25 plantas/m², se aplicó 20 kg de S/ha al momento de la siembra y la urea se aplicó a los 21 y 37 dds en dosis de 130 kg/ha. El tercer período consistió de los ensayos sembrados en el 2003; en el mismo se incrementó la dosis de N a razón de 200 kg/ha y los otros componentes fueron similares al período 1999-2002. En el Cuadro 2 se observan las recomendaciones de los tres períodos en estudio.

Para el cálculo de la confiabilidad de la ganancia de las nuevas alternativas tecnológicas se utilizó la metodología propuesta por Eskridge y col. (1993). 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 de la i-ésima práctica, se determina a partir de los diferenciales de rendimiento (d_i) con respecto al testigo, o sea:

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

donde:

- $P(.)$ = representa la probabilidad
- Y_i = respuesta de la nueva alternativa
- Y_c = respuesta del testigo
- d_i = es la diferencia entre ambos

Para probar las hipótesis, se calculó primero los valores promedios de la diferencia (d_i) y la desviación estándar de las diferencias a través de todas las localidades (S_{di}). Posteriormente, se calculó el valor estandarizado (d_i/S_{di}), 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_i) (Córdova y col., 1993).

CUADRO 2. TECNOLOGÍAS APLICADAS EN LOS TRES PERÍODOS DE EVALUACIÓN DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ. PANAMÁ. 1995-2003.

Tecnología usada inicialmente (TUI ¹)	Alternativa Tecnológica 1 (NAT ₁ ²)	Alternativa Tecnológica 2 (NAT ₂ ³)
1995-1998	1999-2002	2003
N= 130 kg/ha P= 60 kg/ha K= 20 kg/ha	N= 130 kg/ha P= 60 kg/ha K= 20 kg/ha S= 20 kg/ha	N= 200 kg/ha P= 60 kg/ha K= 20 kg/ha S= 20 kg/ha
27% N a la siembra 73% N a los 30 dds	10% N a la siembra 40% N a 21 dds 50% N a 37 dds	10% N a la siembra 40% N a 21 dds 50% N a 37 dds
53,333 plantas/ha	62,500 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 13-26-6-7 más 250 kg de urea.

³ Se aplicó 227 kg de 13-26-6-7 más 364 kg de urea.

El valor de la CN_i para las alternativas tecnológicas 1 y 2 (NAT₁ y NAT₂) representa la probabilidad de que éstas superen en promedio el nivel de producción establecido por la tecnología usada inicialmente (TUI), en el conjunto de todos los sitios y años donde se efectuaron las evaluaciones. De acuerdo a Córdova y col. (1993), la tecnología se clasificó en las siguientes categorías, según la CN_i estimada: a) Superior: $0.9 > CN_i < 1.0$; b) Buena: $0.8 > CN_i < 0.9$; c) Promedio: $0.6 > CN_i < 0.8$; y d) Baja: $CN_i < 0.6$.

Para el análisis de confiabilidad económica se utilizó el procedimiento propuesto por Córdova y col. (1993), el cual se basa en que el ingreso obtenido, debido a la diferencia en rendimiento con el testigo (TUI),

deberá superar los costos de implementar las nuevas alternativas tecnológicas (NAT₁ y NAT₂). Para este análisis se consideró que el valor de un kilogramo de maíz es de B/.0.209.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del rendimiento por período

En el Cuadro 3 se muestra el rendimiento de grano y otras características agronómicas de los ensayos realizados en todo el período en estudio. Se puede observar que el rendimiento de grano en el período 1995-1998 (TUI) fue menor de 5.0 t/ha, siendo la media general de 4.67 t/ha. Por el contrario, en los cuatro años en

CUADRO 3. RENDIMIENTO DE GRANO Y OTRAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE LOS ENSAYOS DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ. PANAMÁ. 1995-2003.

Año	Rend (t/ha)	Altpt (cm)	Pt/m ²	Mz/Pt	Pmz (g)	Aca (%)	Pud (%)
1995	4.66	216	4.57	0.92	106.4	8.1	7.9
1996	4.77	227	4.76	0.95	107.0	6.1	8.4
1997	4.45	224	4.51	1.00	99.1	33.0	10.3
1998	4.79	218	4.61	0.95	109.5	15.3	8.6
Prom	4.67	221	4.61	0.96	105.5	15.6	8.8
1999	6.17	219	5.92	0.96	106.5	14.9	5.3
2000	6.17	225	5.88	0.97	108.6	11.6	3.6
2001	6.03	232	5.82	0.93	109.6	22.0	6.2
2002	5.57	227	5.87	0.98	97.2	33.3	5.9
Prom	5.99	226	5.87	0.96	105.4	20.4	5.2
2003	7.35	238	5.95	0.96	128.3	28.4	6.6

Altpt = Altura de planta, Ptm² = Plantas por metro cuadrado, Mz/Pt = Mazorcas por planta, Pmz = Peso de mazorcas, Aca = % plantas acamadas, Pud = % mazorcas podridas.

promedio fue de 5.99 t/ha y para el año 2003 (NAT₂) la media se incrementó a 7.35 t/ha. Estos aumentos del rendimiento representaron incrementos por el orden de 28.3 y 57.4% con respecto a la TUI.

Con relación a la población de plantas, se observó que la media para el primer período fue de 4.61 y para los dos períodos subsiguientes aumentó a 5.87 y 5.95 plantas/m², respectivamente. Variables como mazorcas/planta, porcentaje de mazorcas podridas, mazorcas/planta y porcentaje de acame, no se vieron afectadas por el aumento en el número de plantas. Contrariamente a que Duncan (1958); Bolaños y col. (1993); Gordón

y col. (2000) han explicado que el rendimiento por planta (rend/planta), decrece de manera exponencial con la densidad (plantas/m²), los otros dos componentes introducidos en este cambio tecnológico (manejo del N e inclusión del S) permitieron mantener el peso de las mazorcas (105.5 vs 105.4), a pesar del aumento del número de plantas (de 4.61 a 5.87 plantas/m²), traduciéndose en ganancias por el orden de 1.32 t/ha en favor de la NAT₁ con respecto a la TUA. Por otro lado, el aumento de la tecnología NAT₂ con respecto a NAT₁, se explica con el aumento en el peso de las mazorcas de 105.4 a 128.3 g y poblaciones de plantas similares (5.87 vs 5.65 plantas/m²), debido, en este caso, al ajuste de la fertilización nitrogenada.

Análisis de Confiabilidad

El análisis de confiabilidad o probabilidad de respuesta normalizada (CN), realizada a las alternativas tecnológicas 1 y 2 (NAT₁ y NAT₂) en comparación a la TUI, indicó que ambas tecnologías presentan valores de confiabilidad considerados de buena a superior (0.86 y 0.99, respectivamente) (Cuadro 4). Las probabilidades normalizadas con estos dos cambios tecnológicos significa que al menos en 8 ó 9 de cada 10 localidades hay una respuesta o diferencia con respecto a la TUI, igual o superior a 1.32 y 2.68 t/ha, respectivamente. Al comparar las nuevas alternativas tecnológicas entre sí (NAT₁ vs NAT₂) se encontró una respuesta normalizada de 87% a favor de esta última.

El resultado del análisis indicó que la confiabilidad económica normalizada de los datos es considerada superior a buena, ya que, el CN_i calculado fue de 0.84 y 0.98 de las dos alternativas, en comparación con la tecnología usada al inicio. En el tercer análisis, el CN_i fue de 0.83 a favor de la NAT₂ comparado con el NAT₁ (Cuadro 4). Al igual que en la respuesta física, existe alto grado de confianza para que las nuevas alternativas sean adoptadas por los productores, ya que, en 8 ó 9 de cada 10 casos se espera una ganancia de más de B/.253.40 y B/.495.40 por hectárea, en comparación a la TUI.

Se realizó un análisis del efecto de las tres tecnologías sobre algunos cultivares que fueron evaluados en los

CUADRO 4. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD LA RESPUESTA DE LAS NUEVAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS (CN_i). PANAMÁ. 1995-2003.

Período	n	d _i	S _{di}	d/Sd _i	CN _i
Respuesta física					
TUI vs NAT ₁	697	1.21	1.219	1.08	0.86
TUI vs NAT ₂	150	2.57	1.199	2.24	0.99
NAT ₁ vs NAT ₂	150	1.37	1.199	1.14	0.87
Respuesta económica					
TUI vs NAT ₁	697	253.4	254.7	1.00	0.84
TUI vs NAT ₂	150	495.4	250.7	1.98	0.98
NAT ₁ vs NAT ₂	150	242.1	250.7	0.97	0.83

períodos en estudio. En el mismo se observó que la ganancia promedio en rendimiento por utilizar la NAT₁ fue de 1.24 t/ha con un rango de 0.61 a 1.43 t/ha. Esto confirma el hecho de que la NAT₁ fue superior a la TUI independientemente de los genotipos evaluados. El mismo resultado se obtuvo cuando se comparó la NAT₂ vs NAT₁, en donde la ganancia de la NAT₂ fue de 1.36 t/ha con rangos de 0.79 a 1.85 t/ha (Cuadro 5).

Análisis por época de siembra

En el Cuadro 6 se puede observar el rendimiento obtenido en los ensayos desde 1995 hasta 2003, así

como la variación en número de plantas cosechadas y la precipitación acumulada en el período de septiembre a diciembre de cada año. Durante este período, se observó como el rendimiento aumentó a partir del año 1999; este aumento ha sido explicado por el aumento de la población de plantas al momento de la cosecha.

Al analizar la columna del registro de lluvias, se puede observar una gran variabilidad entre los distintos años, observándose rendimientos similares tanto con precipitaciones altas como bajas (1999 y 2000). Al separar las medias del rendimiento por año, según

CUADRO 5. RENDIMIENTO DE GRANO DE CULTIVARES EVALUADOS CON LAS TRES TECNOLOGÍAS, PANAMÁ, 1995-2003.

Cultivar	TUI	NAT ₁	NAT ₂	Diferencias (t/ha)	
				TUI vs NAT ₁	NAT ₁ vs NAT ₂
HS-8	5.59	6.19		0.61	
3031	5.06	5.84		0.78	
3018	4.75	5.75		1.00	
HS-6	4.72	5.76		1.03	
X-304C	4.50	5.65		1.15	
P-9490	5.21	6.56		1.35	
X-1358K	5.05	6.48	7.32	1.43	0.84
PB-0103		7.37	8.16		0.79
30K-75		5.95	6.90		0.95
30F80		6.08	7.13		1.05
PB-0107		6.77	7.84		1.07
PB-0105		6.29	8.14		1.85
Promedio	4.98	6.22	7.58	1.24	1.36

la época de siembra (temprana vs tardía), se observó que en la mayoría de los años, con excepción de 1997 y 1999, las siembras realizadas en épocas tardías presentaron un rendimiento inferior a las siembras de los ensayos sembrados al inicio de la época de siembra. La reducción observada en este período varió de 7.5 a 35.3%. También se observó que las mayores reducciones se han dado a partir del año 1999 (promedio de 14.9%). El aumento de la población puede ser un factor que esté incidiendo en el aumento de las reducciones, dado que, el aumentar el número de plantas por hectárea im-

plica una mayor cantidad de agua requerida por el cultivo.

En el Cuadro 6 se presentan los datos del análisis de la Prueba de "t" para determinar las diferencias estadísticas entre los promedios, según época de siembra. Este análisis indicó que los rendimientos en los ensayos que fueron sembrados al inicio de la época de siembra, superaron estadísticamente a los ensayos sembrados tardíamente, con excepción de los años 1997 y 1999, en donde no se encontró diferencia estadísticas entre ambos promedios.

CUADRO 6. RENDIMIENTO Y NÚMERO DE PLANTAS AL MOMENTO DE LA COSECHA PROMEDIO POR AÑO Y DE ACUERDO A LA ÉPOCA DE SIEMBRA DE ENSAYOS SEMBRADOS EN LA REGIÓN DE AZUERO, PANAMÁ. 1995-2003.

Año	Pt/m ²	Ppt ¹ (mm)	Fecha Límite ²	Rend (t/ha)			Reducción (%)	t _{calc}	Prob t
				Prom	Siembras Temprana	Siembras Tardía			
1995	4.57	458	10 sep	4.66	4.69	4.28	8.4	1.959	0.026
1996	4.76	689	9 sep	4.77	4.86	4.12	15.2	3.830	0.000
1997	4.51	524	9 sep	3.71	3.70	3.74	-1.1	0.246	0.403
1998	4.61	588	16 sep	5.31	5.58	5.04	9.7	3.119	0.001
Prom				4.61	4.71	4.30	8.1		
1999	5.92	1004	10 sep	6.17	6.03	6.21	-3.0	0.770	0.221
2000	5.88	439	15 sep	6.17	6.43	5.17	19.6	8.374	0.000
2001	5.82	664	10 sep	6.03	6.24	5.77	7.5	2.911	0.002
2002	5.87	474	10 sep	5.57	6.78	4.38	35.3	16.180	0.000
Prom				5.99	6.37	5.38	14.9		
2003	5.95	700	12 sep	7.35	7.58	6.45	14.9	6.246	0.000

¹ Precipitación acumulada de septiembre a diciembre de cada año.

² Corresponde a la fecha de siembra del último ensayo considerado época temprana.

Al descomponer la precipitación capturada en el período de desarrollo del cultivo de acuerdo a las etapas críticas en la formación del rendimiento de acuerdo a McWilliams y col. (1999). En los años 1995 y 1996 se observó una diferencia de 82.4 y 125.1 mm en la fase de 31-50 dds entre las dos épocas de siembra de los ensayos, explicando el déficit de 8.4% y parte del 15.2% a favor de los ensayos sembrados en la época temprana. En los años subsiguientes las cantidades acumuladas en esta fase fueron suficientes para cubrir las demandas del cultivo y por lo tanto no afectaron el rendimiento del cultivo en ninguna de las dos épocas de siembra en que se dividió el estudio (Cuadro 7).

Cuando se analizó la precipitación acumulada en el período de 51-80 dds, se encontró que los ensayos sem-

brados tardíamente en los años 2000 y 2002 sufrieron un severo estrés hídrico (62.7 y 36.3 mm de lluvia, respectivamente) en comparación con los ensayos sembrados antes del 15 y 10 de septiembre de cada año respectivamente (168.5 y 203.9 mm, respectivamente). Este déficit hídrico explica las reducciones de 19.6 y 35.3% del rendimiento en dichos años.

En el año 2001 los ensayos sembrados después del 10 de septiembre (época tardía) presentaron un déficit de 69.9 mm con respecto a los ensayos sembrados antes de esta fecha (206.8 vs 136.9 mm), lo que se reflejó en una reducción del 7.5% con respecto a los ensayos sembrados antes de esta fecha.

Las reducciones del rendimiento de los años 1996, 1998 y 2003, se explican al analizar la lluvia acumulada entre los

CUADRO 7. PRECIPITACIÓN ACUMULADA SEGÚN FASE FENOLÓGICA DEL CULTIVO EN LOS ENSAYOS SEMBRADOS EN AZUERO, PANAMÁ. 1995-2003.

Año	Red %	Ppt 31-50 dds		Ppt 51-80 dds		Ppt 81-100 dds	
		S. Temp	S. Tardía	S. Temp	S. Tardía	S. Temp	S. Tardía
1995	-8.4	193.0	110.6	94.0	88.1	48.5	48.6
1996	-15.2	176.6	51.5	198.3	220.8	131.8	95.8
1997	1.1	233.9	130.5	291.8	168.3	24.7	1.3
1998	-9.7	93.1	116.0	193.4	182.2	115.5	70.9
1999	3.0	170.9	240.4	438.1	250.7	112.8	77.4
2000	-19.6	78.2	172.5	168.5	62.7	20.3	4.8
2001	-7.5	137.2	141.2	206.8	136.9	88.4	73.1
2002	-35.3	146.2	109.9	203.9	36.3	31.6	3.0
2003	-14.9	162.4	165.3	165.2	215.1	134.4	48.4

81 a 100 dds en las dos épocas de siembra. En estos años, el déficit hídrico se presentó en esta fase en las siembras realizadas a finales de septiembre, con láminas acumuladas menores de 95.8, 70.9 y 48.4 mm, respectivamente. Las siembras realizadas antes del 10 de septiembre no fueron sometidas a estrés hídrico, presentando láminas de agua acumulada de 131.8, 115.5 y 134.4 mm para cada año en el mismo período fenológico de la planta, respectivamente. Esta diferencia en la acumulación de lluvia en el período 81-100 dds se reflejó en un aumento en el rendimiento (Cuadro 7). De acuerdo a este análisis, el efecto del estrés hídrico ha tenido su efecto en las ganancias observadas por las mejoras tecnológicas, resultados similares encontraron Andresen y col. (2001). El rendimiento de grano con la tecnología NAT₁ en los ensayos que no tuvieron estrés hídrico en el período 1999-2002 aumentó de 5.99 a 6.37 t/ha, mientras que con el cambio realizado en el año 2003 con la tecnología NAT₂ fue de 7.35 a 7.58 t/ha.

De acuerdo a estos resultados, las siembras en la región de Azuero deben estar comprendidas entre el 1 de agosto al 15 de septiembre. En este período se encontró que las siembras pueden escapar de la escasez de lluvias en las etapas críticas del cultivo. Sin embargo, Gordón y col. (1993) en un muestreo realizado a parcelas comerciales de productores de maíz de la región de

Azuero en el año 1992 encontraron que existe una relación bien marcada entre la época de siembra y la incidencia de la enfermedad conocida como achaparramiento. Estos mismos resultados encontraron Gordón y col. (1998) en dos localidades de la Región.

En ambos trabajos se concluyó que siembras antes del 15 de agosto están propensas a ser afectadas fuertemente por esta enfermedad. Estos mismos autores encontraron que la población del *Dalbulus maydis* que existe en la Región es altamente virulenta, ya que a pesar de las bajas poblaciones encontradas, se observa un alto porcentaje de plantas afectadas con el síntoma de la enfermedad. Debido a esta información, las siembras de este cultivo en la región de Azuero están limitadas en una parte por el régimen de lluvias y en el otro lado por la existencia del achaparramiento. Esto indica, que a pesar de que en los primeros días del mes de agosto (1 al 15) se puede escapar del estrés hídrico, el riego de ser afectados por la enfermedad limita la siembra en este período.

CONCLUSIONES

- ❖ Los cambios tecnológicos han impactado positivamente el rendimiento, no obstante, la época de siembra también juega un rol importante para minimizar el efecto del estrés hídrico sobre los

períodos fenológicos críticos y que afectan negativamente el rendimiento de grano.

- ❖ En las siembras tardías o realizadas después del 15 de septiembre se aumenta la probabilidad de obtener rendimientos inferiores que las realizadas antes de esta fecha.
- ❖ No se han identificado cultivares comerciales que toleren el estrés hídrico.

RECOMENDACIÓN

- ❖ En la región de Azuero se recomienda sembrar el cultivo de maíz entre el 15 de agosto al 15 de septiembre.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRESEN, J.; ALAGARSWAMY, G.; ROTZ, C.A.; RITCHIE, J.T.; LEBARON, A.W. 2001. Weather impacts on Maize, Soybean, and Alfalfa production in the Great Lakes Region, 1895-1996. *Agron. J.* 93: 1059-1070.
- BOLAÑOS, J.; OBANDO, M.; URBINA, R.; MENDOZA, M. 1993. Respuesta a densidad en cultivares del PRM. *En Síntesis de los Resultados Experimentales del PRM*, 1992. Vol. 4. pp. 20-26.
- 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 selección de testigos regionales. *En Síntesis de resultados experimentales del PRM*, 1992. Vol. 4:3-10.
- DUNCAN, W.G. 1958. Corn response to density. *Agronomy Journal* 43: 23-32.
- 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.; CAMARGO, I.; FRANCO, J.; GONZÁLEZ, A. 2004. Impacto de la precipitación pluvial en el rendimiento de grano de Maíz en la Región de Azuero, Panamá, 1995-2003. I. Análisis de la distribución de lluvias y su relación con la época de siembra *Ciencia Agropecuaria (Panamá)* 15: 17-30.
- GORDÓN, R.; GONZÁLEZ, A.; FRANCO, J. 2000. Determinación de la densidad óptima de plantas de los cultivares de maíz P-9490, CB-HS-8GM2 y X-1358K. *Azuero, Panamá*. 1998. *Ciencia Agropecuaria (Panamá)* 10: 113-122.

- GORDÓN, R.; DE GRACIA, N.; FRANCO, J.; GONZÁLEZ, A. 1998. Evaluación de distintas épocas de siembra y su relación con la incidencia del achaparramiento en el cultivo de maíz. Azuero, Panamá. 1993-1994. *Ciencia Agropecuaria* (Panamá) 9: 59-72.
- GORDÓN, R.; DE GRACIA, N.; GONZÁLEZ, A.; PÉREZ, D.; ALVARADO, A.; FRANCO, J. 1993. Situación del achaparramiento en el cultivo de maíz en Azuero, Panamá, 1992-93. *En Síntesis de Resultados Experimentales del PRM*, 1992, Vol. 4: 239-246.
- GREGORY, P.J.; SIMMONDS, L.P.; PILBEAM, C.J. 2000. Soil type, climatic regime, and the response of water use efficiency to crop management. *Agron. J.* 92: 814-820.
- HALL, A.J.; LEMCOFF, J.H.; TRAPPANI, N. 1981. Water stress before and during flowering in maize and its effect on yield, its components and their determinants. *Maydica* 26: 19-38.
- LAFFITE, H.R. 1994. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. *Guía de Campo*. México D.F. CIMMYT. 122 p.
- LAUER, J.G.; CARTER, P.R.; WOOD, T.M.; DIEZEL, G.; WIERSMA, D.W.; RAND, R.E.; MLYNAREK, M.J. 1999. Corn hybrid response to planting date in the Northern Corn Belt. *Agron. J.* 91: 834-839.
- LLANOS, M. 1984. El maíz. Su cultivo y aprovechamiento. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 318 p.
- McILRATH, W.O.; EARLEY, E.B. 1961. Effect of shading corn plants during several periods of growth on yield of grain and other factors. *Agronomy Abstract* 63.
- McWILLIAMS, D.A.; BERGLUND, D.R.; ENDRES, G.J. 1999. Corn grow and management quick guide. North Dakota State University. *Disponible en:* www.ext.nodak.edu/extpubs/plantsci/rowcrops/a1173/a1173w.htm
- NORWOOD, C.A. 2001. Planting date, hybrid maturity and plant population effects on soil water depletion, Water use and yield of dryland Corn. *Agron. J.* 93: 1034-1042.