

IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA GENERADA EN EL CULTIVO DE MAÍZ PARA LA REGIÓN DE AZUERO¹

*Román Gordon-Mendoza²; Jorge Enrique Franco-Barrera³;
Ismael Camargo-Buitrago⁴*

RESUMEN

Los últimos 20 años, el proyecto de maíz en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá ha evaluado híbridos, así como distintas prácticas agronómicas que le permitieron generar tecnología para los productores de la región de Azuero. Para determinar el efecto de las tecnologías generadas en el rendimiento de grano, se analizó la prueba Regional de Maíz de 1995 a 2014, se evaluaron 166 híbridos en 199 localidades. En este lapso se distinguen cuatro etapas (1995-1998, 1999-2002, 2003-2009 y 2010-2014), se modificó la densidad de siembra, el manejo de la fertilización incluyendo el fraccionamiento de la urea, la dosis de nitrógeno y la aplicación de azufre al momento de la siembra. A partir del año 2007 se incluyó el análisis del efecto de la fecha de siembra sobre el rendimiento de grano. Los resultados del análisis indicaron que el rendimiento de grano aumentó de 4,59 t.ha⁻¹ a 7,57 t.ha⁻¹ con una mayor población de plantas al momento de la cosecha, lo que inició con 4,57 plantas.m⁻² y en la actualidad es de 6,45 plantas.m⁻². Al realizar el estudio en 10 híbridos en las distintas fases se observó un aumento del rendimiento de 0,30 t.ha⁻¹ a 1,50 t.ha⁻¹. Se analizó otras características agronómicas como mazorcas/planta, mazorcas cosechadas, tamaño de mazorcas para explicar el aumento del rendimiento obtenido. La fecha de siembra fue un factor condicionante para el rendimiento, al igual que los híbridos y el manejo agronómico.

PALABRAS CLAVES: Cambios tecnológicos, rendimiento, híbridos, manejo agronómico, fecha de siembra.

¹Recepción: 31 de marzo de 2016. Aceptación: 10 de mayo de 2016. Investigación financiada por los Proyectos Manejo Integral del cultivo de maíz y Generación de variedades e híbridos de maíz del IDIAP.

²M.Sc. en Protección Vegetal. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA).
e-mail: gordon.roman@gmail.com

³M.Sc. en Ciencias Ambientales. IDIAP. CIAA. e-mail: joenfra13@gmail.com

⁴Ph.D. en Mejoramiento Genético. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos (CIARG).
e-mail: camargo.ismael@gmail.com

IMPACT OF GENERATED TECHNOLOGY ON CORN CROP FOR AZUERO REGION

ABSTRACT

Over the past 20 years, the Agricultural Research Institute of Panamá evaluated corn hybrids, new agronomic practices and design recommendations for producers of this crop in the Azuero region. With the aim of to determine the effect of new recommendation on grain yield, a Regional Corn Test was analyzed from 1995 to 2014. During this period, 166 hybrids were evaluated in 199 locations. In this period four stages (1995-1998, 1999-2002, 2003-2009 and 2010-2014) have been distinguished. the recommendation of the plant population and management of fertilization were modified including urea fractionation, increasing doses of nitrogen and the sulfur application at planting time. Since 2007 the analysis of the date of planting over grain yield was included. The results of this analysis showed that the yield of the grain come up from 4,59 t.ha⁻¹ to 7,57 t.ha⁻¹ with a major population of plant at harvest time wich did start with 4,57 plantas.m⁻² and at the present is 6,45 plantas.m⁻². In conducting the study in 10 hybrids in the different phases, increased performance thereof between 0,30 t.ha⁻¹ to 1,50 t.ha⁻¹ was observed. The study analyzes other agronomic characteristics as cobs/plant, corn cropped, size of cobs to explain the increased yield obtained. The planting date was a determining factor for the gain due both, to new hybrids and the agronomic management.

KEYWORDS: Technologic changes, performance, hybrids, agronomic management, planting date.

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos más importantes para el País, entre las políticas sectoriales del Ministerio de Desarrollo Agropecuario está considerado como uno de los rubros prioritarios. En el año 2013 se promulgó la Ley 107 denominada la Ley de Granos a través del programa de incentivos de la producción nacional de granos, la cual busca garantizar la

seguridad alimentaria, disminuir el costo de la canasta básica, lograr la autosuficiencia de varios rubros, entre ellos el maíz, así como mejorar la rentabilidad. Adicional, en el sector agropecuario nacional se han organizado cadenas agroalimentarias entre ellas la Cadena de Maíz, creada para coordinar todos los esfuerzos entre los distintos actores de la actividad. Con la generación de tecnologías se fortalece

la base agrotecnológica del país. De esta manera se busca cerrar la brecha entre la demanda y la oferta, tanto para la alimentación humana como para la formulación de piensos para animales.

Ante la situación mundial sobre el uso del grano de maíz para la producción de etanol en los países desarrollados, el valor de la tonelada ha ido en aumento, lo cual es una oportunidad para el productor de incrementar la producción y contribuir con la seguridad alimentaria nacional. Adicional, un clima adverso y desastres naturales derivados, entre otros factores del calentamiento global y la crisis del precio de los alimentos, han aumentado la vulnerabilidad y el riesgo de las comunidades rurales y de los productores en general, causando un impacto significativo en la seguridad alimentaria y la pobreza extrema. Sequías al inicio de los ciclos de siembra, lluvias intensas en algunos períodos de cultivo y la aparición de nuevas plagas están originando trastornos importantes en la productividad y la seguridad alimentaria.

Todos los sistemas de producción de grano se caracterizan por su bajo rendimiento, lo que se refleja en la media nacional. Entre las causas, se debe a diversos factores bióticos y abióticos, además de técnicas de manejo inadecuadas en lo que respecta

a densidad, control de malezas, plagas y fertilización. A pesar de esto, el promedio del rendimiento en la región de Azuero se ha incrementado en los últimos años con alzas y bajas alternadas, coincidiendo con la ausencia o presencia de problemas con la intensidad y la distribución de las lluvias.

En la región de Azuero el área sembrada por este cultivo ha fluctuado en los últimos años, pero la misma alcanzó un promedio de 18 mil hectáreas y una producción de 45 000 t de grano (MIDA 2008). En Los Santos se produce el 74,63% del maíz nacional, por la alta cantidad de hectáreas que se disponen para la siembra, además de los diferentes sistemas de producción emprendidos que permiten la participación desde productores de agricultura familiar hasta comerciales. Esta actividad involucró en promedio 600 productores de las provincias de Los Santos y Herrera en todo el período. Este número se redujo de 694 en el período 1990-1996, a unos 556 entre los años 1998-2004, es decir han salido en promedio 138 productores (MIDA 2010).

El Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) por medio de los proyectos de Investigación e Innovación ha generado tecnología durante los últimos 20 años, tanto en determinar la población óptima de plantas

(Gordon *et al.* 2002a, 2002b y 2000a) y manejo de la fertilización del cultivo (Gordon *et al.* 2016, Gordon y Franco 2013, Gordon *et al.* 2004f, 2004g). También se ha invertido y trabajado en el área de generación y selección de híbridos para el sistema mecanizado de la región (Camargo *et al.* 2004, 2002, Gordon *et al.* 2006). Debido al impacto del cambio climático, se estudió la variabilidad de las lluvias sobre la afectación en la producción de este rubro en Azuero (Gordon *et al.* 2004a, 2004b). El objetivo de este estudio fue determinar el impacto de los resultados de las investigaciones realizadas en los proyectos de maíz del IDIAP, sobre la productividad del cultivo en la región de Azuero.

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 1995 a 2014 (20 años) del proyecto Generación de Variedades e Híbridos de Maíz del IDIAP, en este período se realizaron experimentos en 199 localidades y se evaluaron 341 entradas (Cuadro 1). Para el análisis, se dividió esta base en cuatro períodos. El primer período (A) consistió de cuatro años de 1995 a 1998, el segundo (B) incluyó de 1999 a 2002 con cuatro años, el tercero (C) y cuarto (D) comprendió los períodos

2003-2009 y 2010-2014, siete y cinco años, respectivamente. Durante el primer período se aplicaron las recomendaciones tradicionales que realizaba el IDIAP antes de la implementación de los proyectos de agronomía, mientras que a partir de 1999 la recomendación varió de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos del proyecto Manejo Integral del Cultivo de Maíz.

Descripción de la tecnología por períodos analizados

En el primer período (A) se utilizó una tasa de siembra de 5,33 plantas.m⁻² con un arreglo de 0,75 m entre hileras y una distancia de 0,50 m entre golpes, dejando dos plantas por golpe. La fertilización base fue a razón de 227 kg.ha⁻¹ de fórmula completar al momento de la siembra y la aplicación de fertilizante suplementaria consistió de urea a los 30 días después de la siembra (dds) hasta completar 130 kg N.ha⁻¹, incluyendo ambas aplicaciones (Cuadro 2).

En el segundo período (B) se aumentó la tasa de semillas al momento de la siembra a 6,25 plantas.m⁻², el arreglo topológico de 0,80 m entre hileras por 0,20 m entre golpes, dejando una planta por golpe. Se mantuvo la cantidad de 227 kg.ha⁻¹ de abono completo al momento de la siembra, esta aplicación incluyó el uso de azufre a razón de 20 kg.ha⁻¹. La

fertilización suplementaria de nitrógeno se realizó en dos momentos, la primera a los 21 dds y la segunda entre 35 y 37 dds, se conservó la dosis de 130 kg N.ha⁻¹.

La innovación en el tercer período (C) fue aumentar la dosis de nitrógeno en

forma de urea hasta alcanzar 200 kg N.ha⁻¹ utilizando una aplicación al momento de la siembra junto al fertilizante completo y el fraccionamiento en dos aplicaciones. La innovación del cuarto período (D) consistió en aumentar la población inicial de plantas a 6,66 planta con un arreglo

CUADRO 1. NÚMERO DE LOCALIDADES Y ENTRADAS EVALUADAS EN LOS ENSAYOS DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ, PANAMÁ, 1995-2014.

Año	Período	N° Localidades	N° Entradas	N° Repeticiones	N° datos
1995	A	5	15	4	300
1996	A	11	20	4	880
1997	A	7	20	3	420
1998	A	9	16	4	576
1999	B	11	20	3	660
2000	B	10	19	3	570
2001	B	9	20	3	540
2002	B	11	18	3	594
2003	C	10	15	3	450
2004	C	11	18	3	594
2005	C	9	14	3	378
2006	C	12	10	3	360
2007	C	11	26	3	858
2008	C	11	18	3	594
2009	C	12	20	3	720
2010	D	10	24	3	720
2011	D	10	12	3	360
2012	D	10	12	3	360
2013	D	10	12	3	360
2014	D	10	12	3	360
1995-1998	A	32	71		2 176
1999-2002	B	41	77		2 364
2003-2009	C	76	121		3 954
2010-2014	D	50	72		2 160
Totales		199	341		10 654

CUADRO 2. TECNOLOGÍAS APLICADAS EN LOS CUATRO PERÍODOS DE EVALUACIÓN DE LA PRUEBA REGIONAL DE MAÍZ, PANAMÁ, 1989-2014.

	A	B	C	D
	95-98	99-02	03-08	09-14
Cantidad semilla.ha ⁻¹	53 333	62 500	62 500	66 666
Fertilizante (kg.ha ⁻¹)	227	227	227	273
Azufre (kg S.ha ⁻¹)	0	20	20	20
Aplicación de Urea (dds)	30	21 y 37	21 y 37	21 y 37
Dosis de N (kg.ha ⁻¹)	130	130	200	200

de 0,75 m entre hileras y 0,20 m entre golpes; adicional se aumentó la dosis de fertilizante completo al momento de la siembra a razón de 273 kg.ha⁻¹ y se mantuvo tanto la doble aplicación de urea como la dosis de azufre (Cuadro 2).

Efecto de la fecha se siembra sobre la tecnología

A partir del año 2007 se incluyó el análisis del efecto de la fecha de siembra sobre el rendimiento de grano. Para esto se procedió a la siembra de dos ensayos por año en la estación experimental El Ejido. Se sembró un ensayo a finales de agosto, principios de septiembre (siembra temprana) y otro a principios de octubre (siembra tardía). El estrés esperado estuvo en función de la distribución de lluvias de cada año y principalmente afecta las etapas de floración y llenado de grano del ensayo sembrado tardíamente.

Análisis estadísticos realizados

A cada ensayo se le realizó el análisis estadístico individual respectivo al modelo utilizado (Alfa Látice), así como el análisis combinado a través de localidades por año (Vargas *et al.* 2013). En cada experimento, se calculó los distintos componentes de varianza del modelo lineal. Se utilizó el método REML implementado en el procedimiento MIXED de SAS. Adicional a las varianzas del modelo, se calculó el Coeficiente de variación (CV), Repetitividad (h^2), Rango (R), Diferencia mínima significativa (DMS), Error estándar de la diferencia (EED) para el rendimiento. También, se calculó el cociente sugerido por Gordon-Mendoza y Camargo-Buitrago (2015), entre el DMS y el Rango (D/R).

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de los estadísticos fueron las siguientes:

$$Y_{ijk} = \mu + Rep_i + Block_j(Rep_i) + Gen_k + \varepsilon_{ijk}$$

$$Y_{ijkl} = \mu + Loc_i + Rep_j(Loc_i) + Block_k(Loc_iRep_j) + Gen_l + Loc_i \times Gen_l + \varepsilon_{ijkl}$$

$$h^2 = \frac{\delta_{Trat}^2}{\delta_{Trat}^2 + \frac{\delta_{Error}^2}{No\ rep}}$$

$$h^2 = \frac{\delta_{Trat}^2}{\delta_{Trat}^2 + \frac{\delta_{Trat \times Loc}^2}{No\ loc} + \frac{\delta_{Error}^2}{(No\ loc \times No\ rep)}}$$

$$Indice\ D/R = \frac{DMS}{RANGO}$$

$$DMS_{5\%} = t * S_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}$$

$$CV = \frac{\sqrt{CMError}}{\bar{x}} * 100$$

$$EED = \sqrt{\frac{2\ CM\ Error}{No\ reps \times No\ Loc}}$$

Se analizaron las variables rendimiento de grano, peso de mazorcas, número de plantas y mazorcas cosechadas, número de mazorcas/planta. Se calcularon las estadísticas descriptivas de cada variable por período (promedio, moda, mediana, desviación estándar, varianza, rango, error estándar, curtosis, índice de simetría). Se realizó una prueba de t para determinar diferencias por período de recomendación.

A partir del año 2007 se sembró en la estación experimental El Ejido el ensayo en dos fechas, la primera se considera como temprana (agosto o inicios de septiembre) y tardía (octubre o finales de septiembre) para determinar el efecto del estrés hídrico sobre los híbridos evaluados cada año. Para el análisis del efecto de los híbridos se tomaron los

que se introdujeron en cada período y que ocuparon las posiciones de mayor rendimiento durante la fase evaluada. Luego, se calculó el rendimiento con los distintos cambios tecnológicos evaluados para cada híbrido. Finalmente, se tomaron las estadísticas de producción de maíz en el sistema mecanizado de la región de Azuero que recoge la Dirección Nacional de Agricultura del Ministerio de Desarrollo Agropecuario para evaluar el avance que indican los productores del rubro en la región.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis estadísticos combinados por año e individual por localidad

En relación a los valores de repetitividad calculados por años el valor más bajo fue 0,64 obtenido en el año 2006, seguido por los años 1995 y 2005

con 0,72 y 0,75, respectivamente, el resto fue superior a 0,90 (Cuadro 3). Esto indica la precisión y manejo que se le dio a los ensayos a través de los años como lo muestran Gordon-Mendoza y Camargo-Buitrago (2015). En relación al cociente D/R se encontró valores por debajo de 0,30; lo que revela la precisión para separar los mejores híbridos evaluados

por año. Con respecto al coeficiente de variación, el cual es utilizado en algunos casos para indicar el buen manejo de los ensayos se observa que todos están por debajo del 18% (Cuadro 3).

Los valores de repetitividad promedio por período fueron de 0,75; 0,84; 0,76 y 0,88 para los períodos A, B,

CUADRO 3. CUADRADO MEDIO DE LAS PRINCIPALES FUENTES DE VARIACIÓN DEL ANÁLISIS COMBINADO POR AÑO Y DE PRECISIÓN EXPERIMENTAL, AZUERO - PANAMÁ, 1995-2014.

Año	CM Genotipos	CM Localidad	CM Loc x Gen	CM Error	Error Estándar	Repetitividad	D/R	CV
1995	0,10	0,70	0,09	0,43	0,208	0,72	0,20	17,8
1996	0,30	0,24	0,09	0,35	0,126	0,95	0,14	12,3
1997	0,31	1,68	0,10	0,32	0,174	0,91	0,15	12,7
1998	0,45	1,25	0,14	0,34	0,137	0,95	0,11	12,2
1999	0,34	1,16	0,14	0,31	0,138	0,94	0,12	9,7
2000	0,30	0,63	0,11	0,29	0,138	0,94	0,15	8,6
2001	0,56	0,35	0,21	0,34	0,159	0,94	0,10	9,7
2002	0,88	1,58	0,14	0,28	0,131	0,98	0,01	9,9
2003	0,68	0,46	0,23	0,44	0,170	0,95	0,02	9,0
2004	0,19	0,40	0,11	0,35	0,145	0,91	0,16	8,8
2005	0,12	0,95	0,21	0,46	0,185	0,75	0,24	9,6
2006	0,05	0,86	0,23	0,34	0,138	0,64	0,29	9,6
2007	0,78	1,05	0,29	0,47	0,169	0,95	0,08	10,6
2008	0,49	0,91	0,21	0,49	0,172	0,94	0,12	10,1
2009	0,75	1,84	0,21	0,43	0,154	0,96	0,08	9,4
2010	0,61	2,84	0,33	0,53	0,187	0,92	0,12	9,6
2011	2,90	1,95	0,40	0,32	0,147	0,98	0,05	7,4
2012	0,67	2,62	0,14	0,55	0,192	0,95	0,13	12,0
2013	2,04	2,70	0,42	0,79	0,230	0,97	0,10	13,4
2014	1,18	5,52	0,38	0,38	0,160	0,96	0,08	7,9

C y D, respectivamente, indicando buena precisión y manejo experimental (Figura 1). En relación al cociente D/R el mismo fue similar para los cuatro períodos en donde estuvieron entre 0,27 y 0,36, indicando buena precisión para separar la media entre los híbridos evaluados (Gordon-Mendoza y Camargo-Buitrago 2015). El coeficiente de variación al igual que los otros dos estadísticos presentó promedios generales con una ligera dispersión para los ensayos del primer período.

Análisis de rendimiento de grano y otras variables por período de evaluación

Un avance en la productividad del cultivo en la región de Azuero fue el incremento del rendimiento de 4,58 t.ha⁻¹ a 7,54 t.ha⁻¹, con ganancias intermedias para cada período de 1,24 t.ha⁻¹, 0,98 t.ha⁻¹ y 0,75 t.ha⁻¹. El incremento en rendimiento con el avance del tiempo fue significativo de acuerdo a las Pruebas de t de Student realizadas entre los distintos períodos. Se

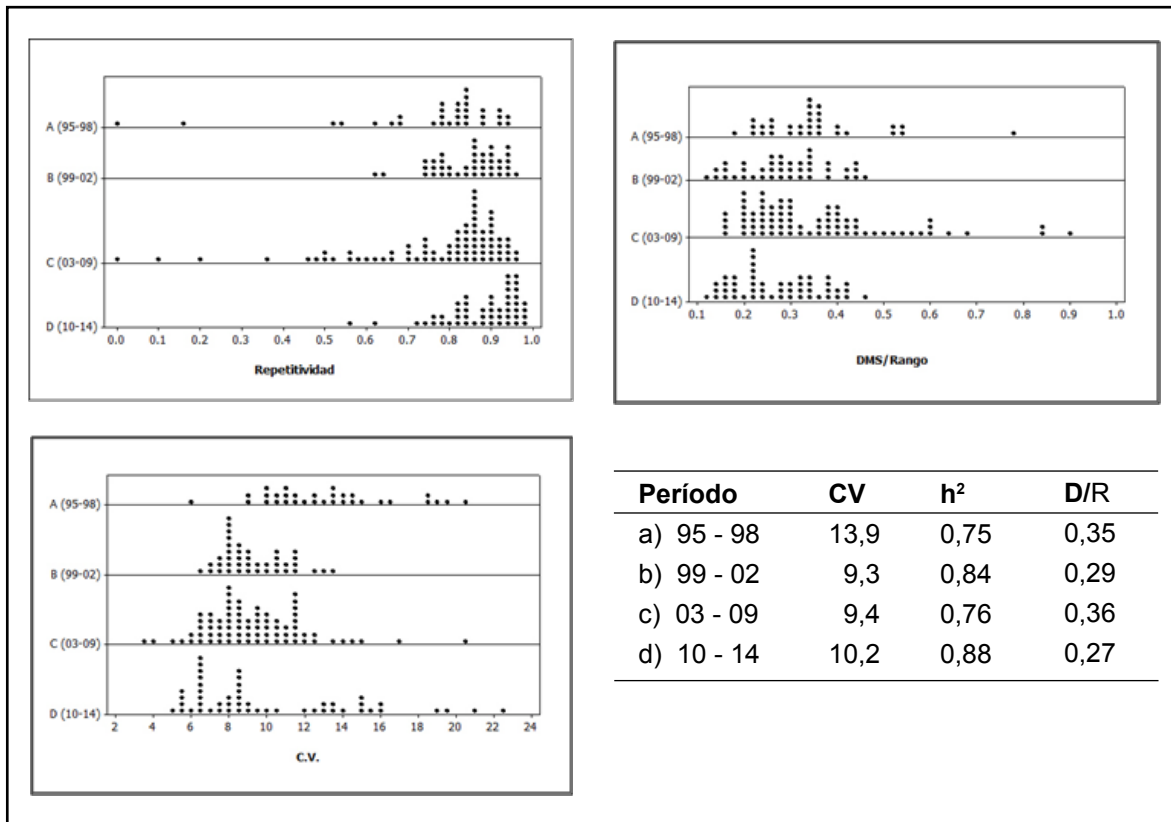


Figura 1. Distribución de los valores de repetitividad, coeficiente de variación y D/R por ensayo individual según período de evaluación.

obtuvo un aumento global de 2,96 t.ha⁻¹ durante las etapas consideradas en el estudio (Cuadro 4).

Cuando se analiza tanto el rendimiento mínimo como el máximo obtenido en los períodos de estudio, se observa un incremento gradual. Los datos para los cuatro períodos presentan una distribución normalizada cuando se observan las cajas de Tukey. El mayor incremento se dio en el primer cambio realizado en el período 1999-2002, con un aumento de 1,24 t.ha⁻¹. Este aumento del rendimiento se explica en parte por los cambios agronómicos del manejo del cultivo (Gordon *et al.* 2002c, 2000b, 1995, 1992), así como por el uso de genotipos de mayor potencial en los distintos períodos evaluados (Gordon *et al.* 2006, 2004c, 2004d, 2004e).

El aumento de la población de plantas al momento de la cosecha cuando pasamos de una media de 4,58 a 5,85 y manteniendo un número de mazorcas por planta similar entre el primer y segundo período de estudio, explica en gran medida la ganancia en rendimiento obtenido con este primer cambio tecnológico (Shapiro y Wortmann 2006, Farnham 2001) (Cuadro 5). En este primer cambio no se encontró diferencias estadísticas entre el peso de mazorcas de los dos períodos. Debido al manejo agronómico que se dio

con el fraccionamiento de la aplicación suplementaria del nitrógeno y azufre al momento de la siembra, se pudo obtener peso de mazorcas similares.

El incremento del rendimiento al pasar del segundo al tercer período de estudio se explica en el mayor peso de las mazorcas (13 g) que se dio al aumentar la dosis de N de 120 a 200 kg N.ha⁻¹ (Binder *et al.* 2000). El incremento entre el número de plantas y mazorcas al momento de la cosecha también es responsable en parte del aumento del rendimiento observado (0,98 t.ha⁻¹). El aumento de rendimiento de 0,75 t.ha⁻¹ al pasar al último período de evaluación se explica tanto por la mayor población al momento de la cosecha (0,17 plantas.m⁻²), así como por el número de mazorcas cosechadas (0,12) y el mayor peso de las mazorcas (9 g) al introducir el cambio en la fertilización inicial.

Efecto de nuevos híbridos en el rendimiento de grano

Los híbridos que fueron evaluados por primera vez en cada período, se puede observar el promedio del rendimiento de los dos mejores años por período (Cuadro 6). Se encontró que la media general de 5,14 t.ha⁻¹ en el primer período se aumentó a 6,56 t.ha⁻¹; luego a 7,25 t.ha⁻¹ y finalmente a 8,34 t.ha⁻¹. Esto demuestra el avance en el potencial genético de los materiales con el transcurrir del tiempo. En el período

CUADRO 4. RENDIMIENTO DE GRANO PROMEDIO, MÁXIMOS Y MÍNIMOS OBTENIDOS EN t.ha⁻¹ POR PERÍODO DE EVALUACIÓN, VALOR DEL ESTADÍSTICO T Y SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA.

Período	Promedio	Diferencia	Valor t	Rendimiento de grano promedio	
				Mínimos	Máximos
1995-1998	4,58			3,15	5,76
1999-2002	5,81	1,24	18,0**	3,86	7,24
2003-2009	6,79	0,98	15,9**	4,97	8,26
2010-2014	7,54	0,75	8,4**	5,10	9,82

** Diferencias estadísticas al 1% de probabilidad.

CUADRO 5. RENDIMIENTO DE GRANO Y OTRAS VARIABLES AGRONÓMICAS SEGÚN CAMBIO TECNOLÓGICO, 1995-2014.

Período	Plantas. m ⁻²	Mazorca/ planta	Mazorca. m ⁻²	Peso Mazorca (g)	Altura planta (cm)	Altura mazorca/ Altura de planta
1995-99	4,62	0,957	4,38	104	220	0,50
Diferencia	(1,23**)	(-0,001 n.s.)	1,23**	(-1 n.s.)	(6**)	(0,03*)
2000-02	5,85	0,956	5,61	103	225	0,53
Diferencia	(0,20**)	(0,006 n.s.)	0,24**	(13**)	(5**)	(0,00 n.s.)
2003-08	6,05	0,962	5,87	117	230	0,53
Diferencia	(0,17**)	(-0,003 n.s.)	0,12**	(9**)	(-4**)	(0,001 n.s.)
2009-14	6,22	0,959	5,97	126	226	0,52

Valores en paréntesis representan la diferencia entre períodos continuos, **, *, n.s. diferencia al 1%, 5% y no difiere estadísticamente de acuerdo a la prueba de t.

CUADRO 6. RENDIMIENTO (t.ha⁻¹) DE LOS DOS MEJORES AÑOS DE LOS HÍBRIDOS SOBRESALIENTES POR PERÍODO, AZUERO, PANAMÁ, 1995-2014.

1995-1998		1999-2002		2003-2008		2009-2014	
Híbrido	t.ha ⁻¹	Híbrido	t.ha ⁻¹	Híbrido	t.ha ⁻¹	Híbrido	t.ha ⁻¹
3018	5,51	C-8007	7,56	30F-35	7,77	P-4226	9,43
P-9490	5,37	3041	6,67	PZ-240	7,53	P-4082W	9,13
XL-380	5,22	30K-75	6,43	30F-32	7,38	P-3862	9,10
3031	5,19	P-0102	6,40	30R-92	7,21	P-3523	8,76
X-3058K	5,05	30F-80	6,31	IDIAP-M-0512	7,15	IDIAP-M-1010	7,70
X-304C	4,84	PB-0105	6,29	30K-73	6,96	DAS-3383	7,40
HS-6	4,83	P-0104	6,28	2B-688	6,73	XB-6012	7,19
Promedio	5,14		6,56		7,25		8,34

2009 a 2014, tres de los mejores siete híbridos presentados superaron la media de 9,0 t.ha⁻¹. En su mayoría estos híbridos de maíz son simples con excepción de algunos generados en el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá como las cruza triples IDIAP-M-1010, IDIAP-M-0512, PB-0105, P-0104, P-0102 y P-9490.

Híbridos como 3018, P-9490 y HS-6 se evaluaron en el primer período y presentan una ganancia de peso entre 1,00 t.ha⁻¹ y 1,50 t.ha⁻¹. Al pasar del segundo al tercer período, los híbridos como X-1358K, P-0102 y PB-0103 mostraron diferencias alrededor de una

tonelada por el cambio tecnológico. Finalmente, el cambio de los híbridos de mayor potencial al aplicarles la tecnología del cuarto período como 30F-80, 30K-73 y 30F-35 muestran incrementos en su rendimiento por arriba de 0,80 t.ha⁻¹. En resumen, el potencial de rendimiento de estos diez híbridos al cambio tecnológico propuesto fue de 4,83; 6,14; 7,08 y 7,57 t.ha⁻¹ al pasar por cada período de evaluación (Figura 2).

Efecto de las fechas de siembra sobre el rendimiento de grano

En los últimos dos períodos del estudio la siembra del ensayo en la estación experimental El Ejido ha mostrado

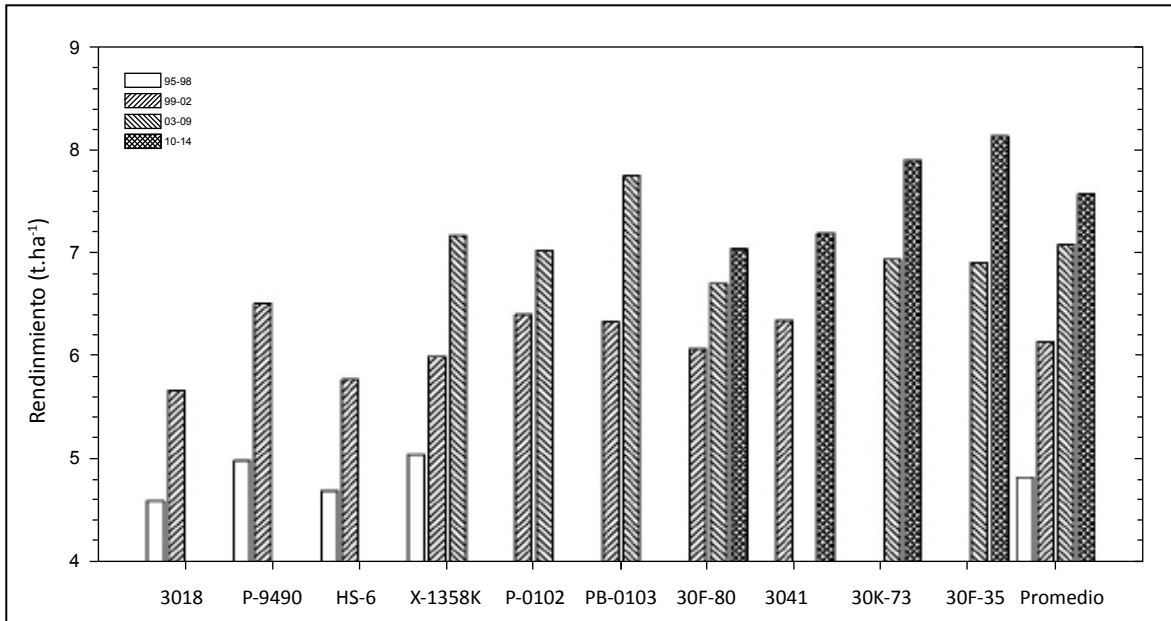


Figura 2. Respuesta del rendimiento de grano de 10 híbridos de mayor potencial por período, Azuero - Panamá, 1995-2014.

el efecto que tiene el estrés hídrico en las etapas críticas de la formación y llenado de grano de los genotipos evaluados (Cuadro 7). El promedio de reducción de los tres años en el período de evaluación 2007-2009 fue de 0,79 t.ha⁻¹ y este aumentó en el siguiente período (2010-2014) a 2,59 t.ha⁻¹. La mayor reducción en el rendimiento (diferencias mayores a 1,00 t.ha⁻¹) se observa cuando la siembra tardía se realiza en octubre como lo fue en los años 2007, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014. La baja precipitación pluvial que se presentó en los últimos cuatro años (2011 a 2014) incidió en el bajo rendimiento (rendimiento promedio menor de 4,00

t.ha⁻¹) obtenido en la siembra tardía en comparación con la temprana, debido principalmente a la escasez de lluvia en la fase posterior a la floración (50 - 80 dds) y llenado de grano (81 - 100 dds), lo que tiene a su vez, efecto en la baja humedad del suelo en las dos fechas de siembra pero con mayor énfasis en la siembra tardía (Figura 3). Este resultado indica que a pesar de tener híbridos con alto potencial de rendimiento y utilizar la mejor tecnología con que cuente el productor, el factor de agua disponible en el suelo para la formación del grano es crítica en la región de Azuero.

CUADRO 7. PRECIPITACIÓN PLUVIAL (ppt) ACUMULADA DESPUÉS DE LA FLORACIÓN (mm) Y RENDIMIENTO DE GRANO (t.ha⁻¹) OBTENIDO POR FECHA DE SIEMBRA SEGÚN PERÍODO DE EVALUACIÓN, EL EJIDO - PANAMÁ, 2007-2014.

Año	Fecha de siembra		Dif. (días)	ppt (50-80 dds) ppt (81-100 dds)				Rendimiento de siembra		Dif. (t.ha ⁻¹)
	Temprana	Tardía		Siembra				Temprana (t.ha ⁻¹)	Tardía (t.ha ⁻¹)	
				Temprana	Temprana	Tardía	Tardía			
2007	30-ago	01-oct	32	189,0	37,0	37,0	18,0	7,02	5,74	-1,28
2008	29-ago	24-sep	26	59,0	78,0	78,0	0,0	6,89	6,28	-0,61
2009	03-sep	29-sep	26	153,0	31,0	31,0	14,0	7,81	7,51	-0,31
2007-2009			28,0	133,7	48,7	48,7	10,7	7,23	6,45	-0,79
2010	01-sep	01-oct	30	255,0	131,0	131,0	0,0	8,92	7,83	-1,09
2011	02-sep	07-oct	35	101,0	68,0	68,0	0,0	7,65	3,91	-3,73
2012	30-ago	03-oct	34	182,0	37,0	37,0	0,0	6,62	2,44	-4,18
2013	04-sep	03-oct	29	131,8	42,3	42,3	0,0	6,42	3,68	-2,74
2014	25-ago	07-oct	43	38,2	49,0	49,0	0,0	5,34	2,62	-2,71
2010-2014			34,2	141,6	65,5	65,5	0,0	7,31	4,72	-2,59

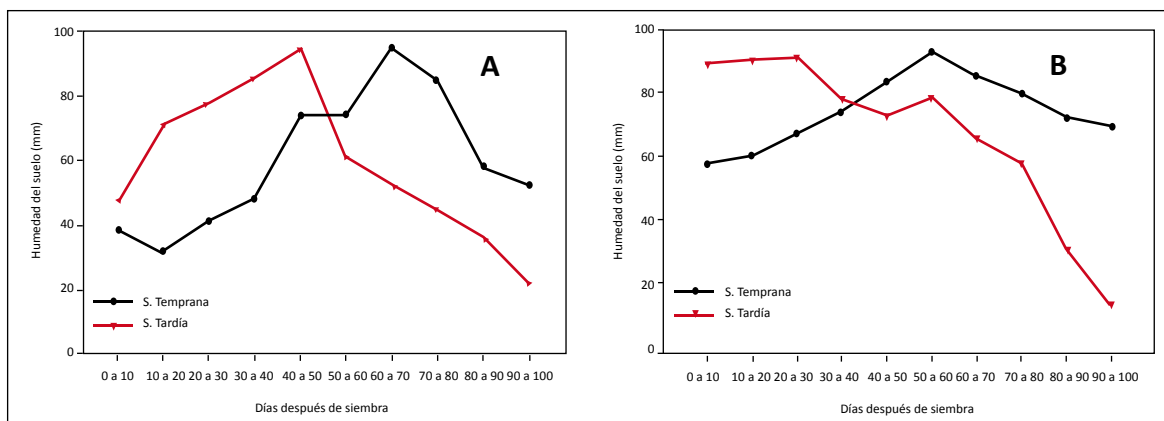


Figura 3. Humedad del suelo promedio en mm por fecha de siembra según los períodos de evaluación de la tecnología del proyecto 2007-2009 (A) y 2010-2014 (B), El Ejido, Panamá.

Rendimiento por año Tecnología IDIAP vs Registro anual MIDA

El progreso del rendimiento de grano anual de los ensayos con Tecnología IDIAP y el registrado por el Programa de Maíz de la Dirección Nacional de Agricultura del MIDA es similar pero distinto en magnitud (Figura 4). A diferencia de los datos experimentales, el rendimiento de los productores de maíz de la región de Azuero es obtenido por encuesta oral.

Se observa que en la fase previa (1995 – 1998) a la ejecución y divulgación de los resultados de los proyectos de IDIAP a productores, la tasa de crecimiento del rendimiento en los ensayos era nueve veces mayor al reportado por los productores de la región. A partir del año 1999 se observa

en las dos curvas de crecimiento una pendiente similar (0,093 vs 0,091) en los dos registros, sugiriendo un crecimiento de aproximadamente 90 kg/año. A pesar de presentar la misma tasa existe una diferencia de aproximadamente 2 t.ha⁻¹ entre los dos registros. Lo que sugiere que se debe identificar el factor que limita la adopción de la tecnología por parte de los productores o que se debe mejorar en el sistema de recopilación de la información pasando de un sistema de encuesta al productor por uno que capte realmente cuál es el rendimiento obtenido en campo por los productores de este rubro.

Independientemente del resultado de un estudio de brecha, las causas deben ser analizadas para ir cerrando la misma, de tal manera que la actividad

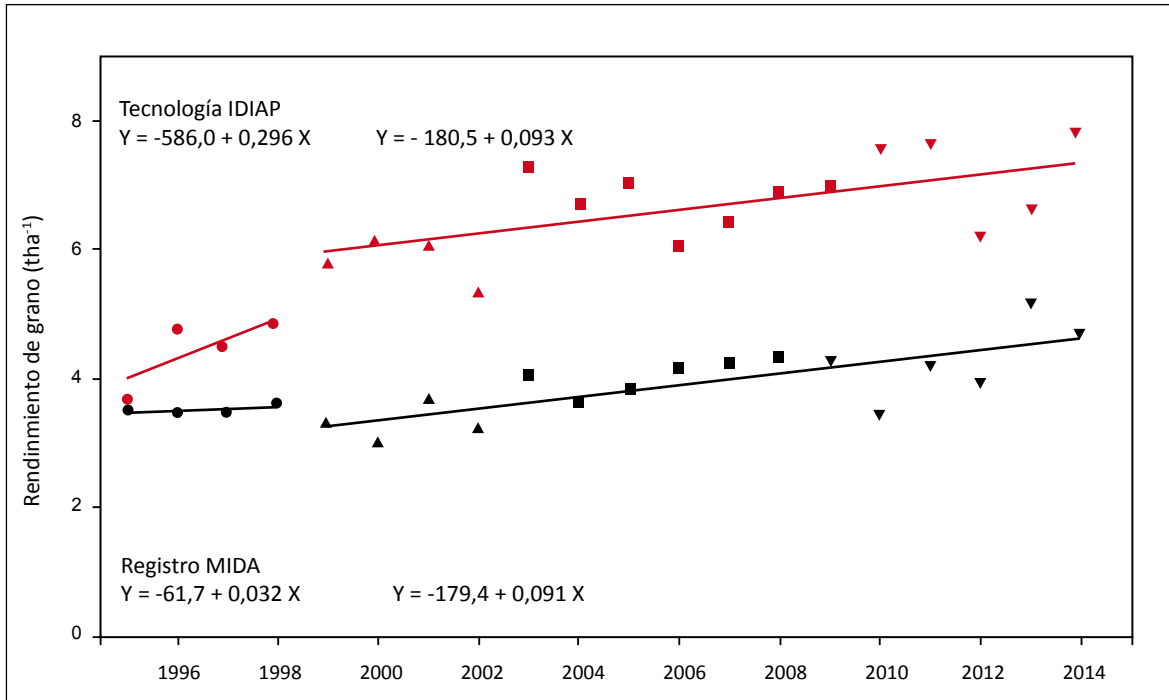


Figura 4. Progreso del rendimiento promedio anual de los ensayos con tecnología IDIAP vs el registro de producción de grano de los productores de maíz de la región de Azuero, 1995-2014.

siga siendo atractiva para los productores del rubro. También se debe realizar una mayor difusión de la Tecnología IDIAP por parte de extensionistas MIDA, así como de otros entes dedicados a la extensión de tecnología agropecuaria en el país.

CONCLUSIONES

- Se ha observado y documentado un continuo crecimiento del potencial de rendimiento del cultivo en la región de Azuero debido a factores de manejo agronómico como factores genéticos que son producto

de la Investigación del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.

- El potencial de rendimiento obtenido está influenciado fuertemente por la fecha de siembra que se utilice en la región, principalmente por la distribución de las lluvias en el período de siembra.
- Existe una brecha entre el rendimiento potencial de la Tecnología IDIAP y el rendimiento reportado por los productores de la región.

BIBLIOGRAFÍA

- Binder, DL; Sander, DH; Walters, D. 2000. Maize Response to Time of Nitrogen Application as Affected by Level of Nitrogen Deficiency. *Agron. J.* 92: 1228–1236.
- Camargo, I; Gordon, R; Franco, J; González, A. 2004. Interpretación de la interacción genotipo-ambiente y Confiabilidad de la respuesta de cinco híbridos de maíz en 30 ambientes de Azuero, Panamá, 2001-2003. *Revista Ciencia Agropecuaria* 16: 1-16.
- Camargo, I; Gordon, R; Franco, J; González, A. 2002. Confiabilidad de nuevos híbridos de maíz en Panamá. *Agronomía Mesoamericana* 13(1): 7-11.
- Farnham, DE. 2001. Row Spacing, Plant Density, and Hybrid Effects on Corn Grain Yield and Moisture. *Agron. J.* 93: 1049–1053.
- Gordon-Mendoza, R; Franco, JE; Villarreal, JE; Smyth, TJ. 2016. Manejo de la fertilización fosforada en el cultivo de maíz, El Ejido, Panamá, 2004-2013. *Revista Agronomía Mesoamericana* 27(1): 95-10.
- Gordon-Mendoza, R; Camargo-Buitrago, I. 2015. Selección de estadísticos para la estimación de la precisión experimental en ensayos de maíz. *Agron. Mesoam.* 26(1): 55-63.
- Gordon, R; Franco, J. 2013. Manejo de la fertilización suplementaria y efecto de dos mejoradores de suelo en maíz. *Revista Ciencia Agropecuaria* 21: 1-24.
- Gordon, R; Camargo, I; Franco, J; González, A. 2006. Evaluación de la adaptabilidad y estabilidad de 14 híbridos de maíz, Azuero, Panamá. *Agronomía Mesoamericana* 17(2): 189-199.
- Gordon, R; Camargo, I; Franco, J; González, A. 2004a. Impacto de la Precipitación Pluvial en el Rendimiento de Grano del Maíz en la Región de Azuero, Panamá, 1995-2003. I. Análisis de la Distribución de Lluvias y su Relación con la Época de Siembra. *Revista Ciencia Agropecuaria* 16: 17-30.
- Gordon, R; Camargo, Franco, J; González, A. 2004b. Impacto de la Precipitación Pluvial en el Rendimiento de Grano de Maíz en la Región de Azuero, Panamá, 1995-2003. II. Análisis del

- Rendimiento y su Relación con la Época de Siembra. *Revista Ciencia Agropecuaria* 16: 31-44.
- Gordon, R; Camargo, I; Franco, J; González, A. 2004c. Evaluación de la estabilidad de 15 híbridos de maíz en diez ambientes de Azuero, Panamá, 2003. *Revista Ciencia Agropecuaria* 16: 45-62.
- Gordon, R; Camargo, I; Franco, J; González, A. 2004d. Determinación de la adaptabilidad y estabilidad de 18 híbridos de maíz de grano blanco, a través de ambientes contrastantes, Azuero, Panamá, 2002. *Revista Ciencia Agropecuaria* 16: 63-80.
- Gordon, R; Camargo, I; Franco, J; González, A. 2004e. Determinación de la adaptabilidad de híbridos de maíz, utilizando el análisis Biplot GGE, Azuero, Panamá, 2002. *Revista Ciencia Agropecuaria* 15: 17-36.
- Gordon, R; Franco, J; González, A. 2004f. Uso del clorofilómetro SPAD-502 en el manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz, Azuero, Panamá, 2000-2002. *Revista Ciencia Agropecuaria* 17: 1-16.
- Gordon, R; Franco, J; González, A. 2004g. Determinación de la dosis óptima de Nitrógeno para el cultivo de maíz con tres modelos de respuesta, Azuero, Panamá, 2000-2002. *Revista Ciencia Agropecuaria* 15: 1-16.
- Gordon, R; Camargo, I; Franco, J; González, A. 2002a. Respuesta de dos cultivares de maíz a la densidad de plantas bajo dos niveles contrastantes de N, Panamá. 1993-1994. *Revista Ciencia Agropecuaria* 12: 71-84.
- Gordon, R; Franco, J; González, A. 2002b. Determinación de la densidad óptima de plantas de los cultivares de maíz P-9422, P-9490 y X-3018, Panamá. 1997. *Revista Ciencia Agropecuaria* 12: 113-124.
- Gordon, R; Franco, J; González, A. 2002c. Evaluación de diferentes fuentes y época de aplicación de azufre en el cultivo de maíz en la Región de Azuero, 1997-1998. *Revista Ciencia Agropecuaria* 11: 1-12.

- Gordon, R; González, A; Franco, J. 2000a. Determinación de la densidad óptima de plantas de los cultivares de maíz P-9490, CB-HS-8GM2 y X-1358K. Azuero, Panamá, 1998. *Revista Ciencia Agropecuaria* 10: 113-122.
- Gordon, R; González, A; Franco, J. 2000b. Manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Azuero, Panamá, 1996 – 1998. *Revista Ciencia Agropecuaria* 10: 123-134.
- Gordon, R; De Gracia, N; González, A; Franco, J; de Herrera, A. 1995. Respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de Fósforo y Azufre, Panamá 1989-1992. *Revista Ciencia Agropecuaria* 8: 193-214.
- Gordon, R; González, A; Franco, J; De Gracia, N; Raun, W. 1992. Evaluación de dosis y métodos de aplicación de azufre y su efecto residual en el cultivo de maíz en dos localidades de Azuero, Panamá. *Revista Agronomía Mesoamericana* 3: 52-56.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Pa). 2008. Estadísticas de las principales variables de los rubros agrícolas de Panamá, 1998. Dirección Sectorial de Planificación y Política Agropecuaria. 30 p.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, Pa). 2010. Estadísticas de Productos agrícolas (en línea). Consultado mayo 2013. Disponible en <http://www.mida.gob.pa>
- Shapiro, CA; Wortmann, CS. 2006. Corn Response to Nitrogen Rate, Row Spacing, and Plant Density in Eastern Nebraska. *Agron. J.* 98: 529–535.
- Vargas, M; Combs, E; Alvarado, G; Atlin, G; Mathews, K; Crossa, J. 2013. META: A suite of SAS Programs to Analyze Multi environment Breeding Trials. *Agron. J.* 105: 11–19.