

POTENCIAL DE RENDIMIENTO Y FECHA DE SIEMBRA OPTIMA DE MAIZ DE RIEGO EN EL ALTIPLANO DE ZACATECAS

YIELD POTENTIAL AND OPTIMUM SOWING DATE OF IRRIGATED MAIZE IN ZACATECAS, MEXICO, HIGHLAND

Marcial Ortiz Valdez, José Ricardo Gutiérrez Sánchez y Maximino Luna Flores¹

RESUMEN

En el estado de Zacatecas se obtiene un rendimiento medio de maíz de riego de tres toneladas por hectárea; éste se puede mejorar significativamente aplicando mejor tecnología de producción, en la que la fecha de siembra es decisiva. Se analizaron datos de 51 experimentos de maíz de riego desarrollados de 1972 a 1989, en el Campo Experimental Zacatecas; las fechas de siembra variaron desde el 5 de abril hasta el 9 de junio; la dosis de fertilización de 120-60-00 a 140-60-00; la densidad de 50 mil plantas por hectárea para maíces de ciclo intermedio o tardío y de 80 mil para maíces precoces. Para el presente análisis, en cada experimento se eligieron el genotipo de rendimiento más alto, el intermedio y el más bajo, así como los híbridos H-133, H-303, H-311, H-220 y la variedad CAFIME. Se realizaron análisis estadísticos de frecuencias con base en modelos cuadráticos de regresión de las variables medidas y estimadas. Los resultados mostraron que se pueden obtener más de 16 t/ha y el promedio se puede duplicar. La mejor fecha de siembra promedio fue el 27 de abril, excepto para el Cafime; pero cada variedad tiene una fecha óptima.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Zea mays L.; híbridos, variedades, potencial de rendimiento, fecha de siembra.

SUMMARY

The average corn yield under irrigation is 3 t/ha in Zacatecas State (Mexico). It is possible to increase significantly this yield, applying better technology of production where the planting date is decisive. Data from 51 corn irrigated trials established between 1972 to 1989 at the Zacatecas Experimental Station were

analyzed; planting date varied from april 5th to june 9th; fertilization dosis varied from 120-60-00 to 140-60-00; plant density was 50,000 plants per hectárea for later and intermediate varieties and 80,000 for early ones. For this analysis, from each experiment were selected the higher, the intermediate and the lower yield genotypes, the hybrids H-133, H-303, H-311, H-220 and the free polination variety Cafime. Statistical analysis of frequencies and with base on quadratic regression models of the measured and estimated variables were carried out. Results showed that it is possible to obtain more than 16 t/ha and that the average yield could be duplicated; the average planting date for irrigation corn was april 27th, except for Cafime; nevertheless, each variety responds better to its own date.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Zea Mays L., hybrids, varieties, yield potential, planting date.

INTRODUCCION

En los últimos 18 años, en el estado de Zacatecas el INIFAP ha generado tecnología para aumentar la producción agrícola; esta tecnología necesita difusión para que los agricultores puedan conocerla y aplicarla y con ello obtener mejores rendimientos unitarios.

El rendimiento promedio de maíz bajo condiciones de riego en Zacatecas es de 3000 kg/ha. En los últimos cinco años se han sembrado alrededor de 24 mil hectáreas en el Estado, con una producción aproximada de 70 mil toneladas anuales. Desde el punto de vista productivo, este rendimiento se considera bajo, ya que la tecnología disponible demuestra que es factible duplicar

¹ Investigador de Agroclimatología e investigadores de maíz, respectivamente, del INIFAP Zacatecas Apdo. Postal 18, C.P. 98500 Calera, Zac.

la producción estatal de este cultivo. Esto es posible al realizar prácticas adecuadas de manejo y empleando variedades de mayor potencial genético.

Un componente tecnológico que no ha sido afinado de acuerdo a las nuevas variedades mejoradas, es lo referente a la época de siembra, buscando obtener los más altos rendimientos unitarios; en Zacatecas, la época recomendada para sembrar maíz de riego va del 15 de abril al 30 de mayo; sin embargo, puede haber disminución del rendimiento por la fecha de siembra, debido a las condiciones climáticas que se registren en el año y ciclo de cultivo, al genotipo y al manejo que se dé al cultivo. El principal objetivo del presente estudio fue conocer las mejores épocas de siembra para maíz de riego en el Altiplano de Zacatecas, de acuerdo al genotipo, para aspirar a los mejores rendimientos unitarios de grano.

REVISION DE LITERATURA

Bonilla (1889) mencionó que en tales épocas los maíces de nueve meses se sembraban comúnmente en la segunda quincena de febrero, mientras que los de siete meses en los días del equinoccio de primavera (21 de marzo).

Hurtado de la Peña (1973 y 1974) realizó en Zacatecas experimentos de fechas de siembra en maíz de riego y definió que las mejores fueron del 30 y 2 de abril para 1973 y 1974, respectivamente; su análisis se basó en comparación de medias. Los autores del presente escrito realizaron un análisis de regresión con la información de los trabajos de Hurtado y encontraron que las mejores fechas para obtener los máximos rendimientos en 1974 y 1973, fueron el 29 de abril y el 10 de mayo, respectivamente ($R = 0.98$) (trabajo no publicado).

De acuerdo con Castillo *et al.* (1989), en el área de influencia del CIANOC (Aguascalientes, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas) se han alcanzado rendimientos promedio de maíz de riego mayores de seis toneladas por hectárea. En el Cuadro 1 se observa que el rendimiento para ambientes buenos es de 8 a 9.8 toneladas por hectárea o más, cuando se siembran genotipos precoces (H-220), intermedios (H-303) o tardíos (H-366 y H-133). Se observa también que las unidades calor acumuladas para dichos genotipos varían de 1228 (H-220) a 1512 (H-366).

Cuadro 1. Rendimiento de grano de maíz de riego en ambientes buenos (RGRB), ambientes malos (RGAM), e intermedios (X). Días a floración (DF) y unidades calor (UC) (Castillo *et al.*, 1989).

Híbrido	RGAB	RGAM	X	DF	UC	N
H-366	9.3	5.3	6.6	102	1512	41
H-133	5.3	5.4	6.2	95	1444	47
H-303	9.8	6.7	7.7	86	1352	44
H-220	8.0	5.5	6.0	80	1228	52

N = Número de pruebas

Flores *et al.* (1985) emplearon las fechas de siembra del 20 de abril y 20 de mayo para definir que en la zona de Calera, Zac., en la fecha de siembra del 20 de abril, el ciclo vegetativo del maíz H-220 fue más largo que en la fecha de siembra del 20 de mayo. Concluyeron que esa diferencia entre los ciclos vegetativos puede estar relacionada con las unidades térmicas asociadas a cada fecha de siembra; los autores no reportaron rendimientos de maíz.

Hernández y Perales (1989) mencionan que en experimentos realizados durante 1982 a 1985 en la zona media de San Luis Potosí, se probaron 11 fechas de siembra (del 15 de marzo al 15 de agosto); concluyeron que entre más tardías fueron las siembras, el ciclo vegetativo se acortó y el rendimiento disminuyó paulatinamente, entre 30 y 128 kilogramos de grano por hectárea por día.

En Estados Unidos (Iowa), Benson (1982) reportó que la mejor fecha de siembra para maíz oscila alrededor del primero de mayo y que la respuesta típica es de forma cuadrática; el rendimiento de maíz se reduce hasta en un 40% si la siembra se hace próxima al 20 de junio.

Ortiz (1988) estimó que la última helada al 90% de probabilidad en el Altiplano de Zacatecas ocurre el 15 de abril y por lo tanto las siembras de deben ser posteriores a esa fecha. También observó que las mejores temperaturas para germinación de en esta zona se presentan hasta los primeros días del mes de mayo.

MATERIALES Y METODOS

Se analizaron 51 experimentos de maíz de riego realizados en 18 años (1972 a 1989) en el Campo Experimental Zacatecas; se incluyeron principalmente ensayos conocidos en INIFAP como el del Comité Calificador de Variedades de Plantas, así como algunos de materiales experimentales forma-

dos mediante selección o hibridación, del Programa de Mejoramiento Genético del INIFAP. De cada experimento se seleccionaron y codificaron datos de variables para el genotipo que obtuvo el mayor rendimiento (grupo alto), el menor rendimiento (grupo bajo), el rendimiento intermedio del experimento (grupo intermedio), así como para los híbridos H-303, H-311, H-220 y la variedad CAFIME, recomendados para siembras con riegos de auxilio en la zona de estudio.

Las variables codificadas para cada grupo fueron año de prueba, fecha de siembra, primera y segunda fertilización, número de riegos aplicados, distancia entre surcos, distancia entre plantas, días a floración masculina, unidades calor a floración masculina y rendimiento de grano comercial.

El número de genotipos evaluados por experimento varió de seis en bloques al azar, hasta 64 en látice duplicado 8 x 8. Los genotipos se evaluaron en un amplio rango de fechas de siembra, desde el 5 de abril hasta el 9 de junio.

En 43 experimentos se fertilizó con la fórmula 60-60-00 en la siembra y 60-00-00 en la primera escarda y en ocho (maíces precoces y mayor densidad) se utilizó la 70-60-00 en la siembra y 70-00-00 en la primera escarda. El número de riegos varió desde ocho en las siembras tempranas, hasta dos en las tardías; este último es utilizado por productores que disponen de poca agua de riego, siembran variedades precoces y aprovechan el agua de las lluvias.

En el presente análisis solamente se incluyeron los experimentos que fueron sembrados a 76 centímetros entre surcos, mientras que la distancia entre plantas varió de 16 a 25 centímetros, para tener una densidad cercana a 50 mil plantas por hectárea para maíces intermedios y tardíos y 80 mil para maíces precoces.

Se realizaron análisis estadísticos de frecuencias y regresión de modelos cuadráticos entre las variables medidas y estimadas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se evaluaron materiales de porte bajo (133 cm), precoces (58 días de floración), con potencial de rendimiento bajo (1012 kg/ha), hasta genotipos altos (365 cm), tardíos (116 días a floración), con potencial de rendimiento alto (16,567 kg/ha). En el Cuadro 2 se muestran los valores mínimos (VMIN), intermedios (X) y máximos (VMRX), así como la desviación estándar (S) para algunas características de los genotipos evaluados en los últimos 18 años en el Campo Experimental Zacatecas.

Cuadro 2. Altura de planta (AP) días a floración (DF), unidades calor a floración (UCF) y rendimiento de grano (RG) de maíces evaluados en riego en Zacatecas.

Variable	V	V	X	S
	Mín.	Máx.		
AP (cm)	133	365	263	42.9
DF	58	116	87	11.8
UCF	446	923	674	98.4
RG (kg/ha)	1012	16567	6710	2279

V Mfn. = valor mínimo, V Máx. = valor máximo, X = valor intermedio, S = desviación estándar.

El rendimiento intermedio de 6,710 kg/ha pudo haber sido mayor, ya que está relacionado con el número y tipo de genotipos evaluados en los ensayos. Se evaluaron más de 4000 entradas de diferente origen y potencial de rendimiento; sin embargo, este rendimiento es mayor que el reportado por Castillo *et al.* (1989).

Los rendimientos mínimos (RMIN), máximos (RMAX), intermedios (RMED) y

el error estándar de la media (Sx) para cada grupo se presentan en el Cuadro 3. Se puede observar que los rendimientos mínimos variaron de 1,012 a 5,890 kg/ha, los máximos de 6,791 a 16,567 y los intermedios de 4,513 a 9,358.

El rendimiento intermedio (9,358 kg/ha) del grupo alto (Cuadro 3) pudo haber sido mayor; sin embargo, no en todos los años se evaluó el mejor material; los rendimientos se obtuvieron principalmente con materiales tardíos de cruzas de H-309 X Hgo., Ideotipos, H-133, entre otros; aún así, ese rendimiento representa tres veces el rendimiento medio estatal y el 17% más que el rendimiento medio del mejor híbrido (H-311). El rendimiento máximo obtenido fue 16,567 kilogramos por hectárea. El rendimiento medio estatal se menciona únicamente como referencia cuantitativa, puesto que el presente estudio obedece en parte a la necesidad de actualizar y afinar la recomendación tecnológica sobre épocas de siembra para Zacatecas; parece lógico que el bajo rendimiento medio unitario estatal se debe entre otras razones, a la gran diversidad de genotipos y épocas de siembras empleadas.

Respecto al rendimiento intermedio del grupo bajo (4,513 kg/ha), éste se considera agrónomicamente bajo; se obtuvo debido a que en algunos años en los experimentos se incluyeron materiales criollos (precoces) de temporal y riego, así como materiales exóticos del trópico como el H-412 y grupos élite del CIMMYT con deficiente adaptación para la zona de estudio.

Respecto a los híbridos, éstos rindieron en promedio más de 7,300 kg/ha, siendo el más rendidor el H-311, aunque solamente fue evaluado en siete experimentos; el menos rendidor fue el H-133. Estos materiales son de buen potencial y de hecho son los que se recomiendan en la zona de riego de Zacatecas. Estos genotipos rindieron en su

Cuadro 3. Rendimiento mínimo (RMIN), máximo (RMAX) e intermedio (RMED) en kilogramos por hectárea y desviación estándar (Sx) para cada grupo de maíz evaluados en riego en Zacatecas.

Grupo	N	RMIN	RMAX	RMEND	Sx
Alto	51	4738	16567	9358	381
Intermedio	51	2649	13839	6710	319
Bajo	51	1012	9148	4513	288
H-133 (T)	16	3258	12558	7159	685
H-303 (I)	23	3064	10980	7941	456
H-311 (I)	7	5890	10680	7941	628
H-220 (P)	41	3417	13344	7661	336
CAFIME (P)	10	1012	6791	5385	431

N: Número de experimentos analizados

T: Tardío

I: Intermedio

P: Precoz

peor condición más que la media estatal y en su mejor condición superaron las 10 toneladas por hectárea. La variedad de polinización libre CAFIME tuvo un rendimiento medio de 5,024 kg/ha; este material precoz rindió 6,791 kg/ha en su mejor condición.

De acuerdo al análisis de frecuencias (Cuadro 4) se obtuvo que en el 90% de los experimentos (46), el rendimiento más alto fue mayor de 6,000 kg/ha y en el 55% de los experimentos el rendimiento fue mayor de 9,000 kg/ha. En el mismo Cuadro 4 se observa que el rendimiento intermedio fue mayor a 6,000 kg/ha en el 57% de las veces; mientras que para el H-220, en el 71% de los ensayos. Aun en el grupo bajo, en el 22%, el rendimiento fue mayor de 6,000 kg/ha. Se observa también que en el mayor porcentaje del grupo alto se obtuvieron rendimientos mayores a 9,000 kg/ha. Esta información evidenció que los altos rendimientos unitarios alcanzados no son casuales, sino que se pueden lograr con frecuencia.

En la Figura 1 se observa que el rendimiento máximo obtenido experimentalmente está lejos de ser alcanzado; aunque con programas especiales en los que se ha asesorado sucesivamente a los productores, como fue el Programa Nacional de Maíz de Alta Tecnología (PRONAMAT), se han logrado rendimientos de 10 toneladas por hectárea; uno de los aspectos considerados en este programa ha sido el sembrar en la mejor época de acuerdo al genotipo a usar; al respecto, en la Figura 2 se observa de manera general que la respuesta presenta una relación cuadrática la época promedio más favorable para la siembra que resultó ser la tercera decena del mes de abril (27 de abril). Tal vez por las características ecológicas, esta época es similar a la recomendada en la zona maicera de los Estados Unidos (Benson, 1980) y la reportada por Hurtado en 1973 y 1974 para Zacatecas. Se puede inferir que si la siembra se adelanta o atrasa respecto a esta época, puede registrarse una disminución en el rendimiento. En algunos casos se adelantan las siembras para evitar daños por heladas tempranas, como en la

zona media de San Luis Potosí (Hernández y Perales 1989); éstas son acciones de tipo práctico, necesarias para evitar daños, pero que pueden evitarse también empleando ge-

notipos precoces. En el presente trabajo las mejores fechas de siembra resultaron posteriores a las fechas en las que se esperan las últimas heladas según Ortíz (1988).

Cuadro 4. Porcentaje de experimentos en los que los rendimientos intermedios fueron inferiores a 3, entre 3-6, entre 6-9 o superiores a 9 toneladas por hectárea.

Grupo	N	<3	3-6	6-9	>9
Alto	51	0	10	35	55
Intermedio	51	2	39	45	12
Bajo	51	25	53	20	2
H-133	16	0	31	38	31
H-220	41	0	29	49	22
H-303	23	0	17	48	35
H-311	7	0	14	57	29
CAFIME	10	10	70	20	0

N: Número de experimentos analizados.

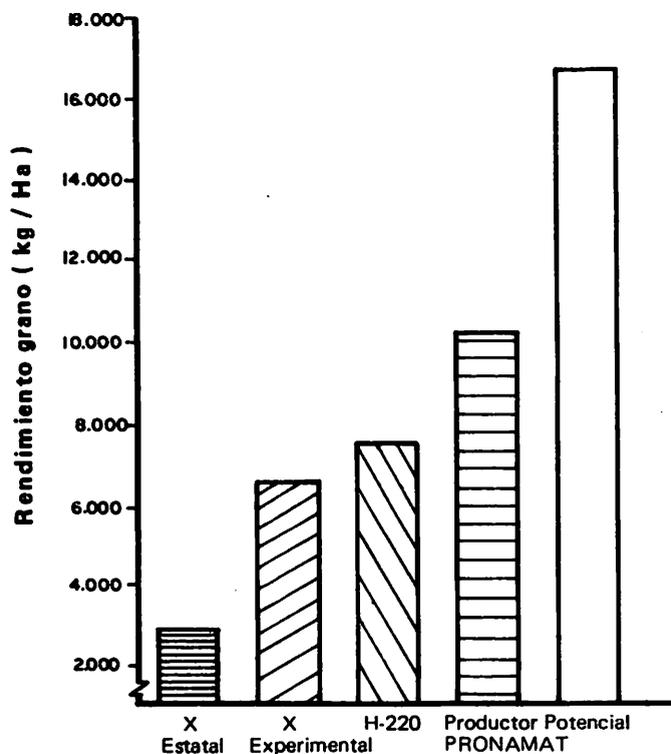


Figura 1. Rendimientos medios de grano de maíz para diferentes condiciones, (INIFAP, 1990)

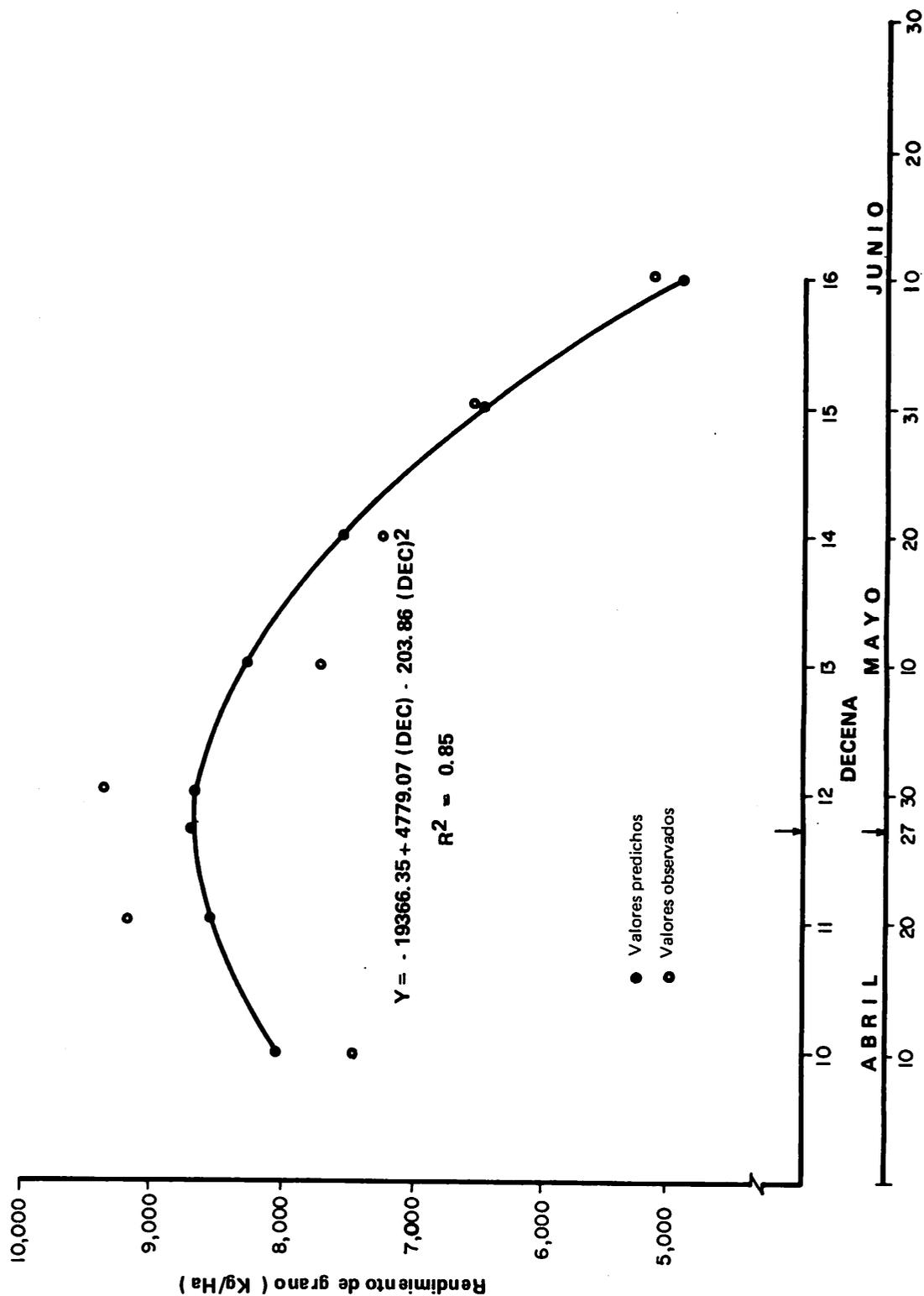


Figura 2. Relación entre el rendimiento de grano de maíz y la fecha de siembra para el valor medio de 51 experimentos de riego en zacatecas (INIFAP - 1990).

Al ajustar una ecuación cuadrática, la cual explicó el 92% de la variación del rendimiento de maíz se encontró que la fecha de siembra para máximo rendimiento por ejemplo para el H-220, fue el 4 de mayo (Figura 3); esta fecha es similar a la reportada por Hurtado en 1974. Por otra parte, de acuerdo a registros climatológicos de varios años, se observó que alrededor del 25 de abril a las ocho de la mañana, se registra una temperatura mayor de 10°C a 5 cm de profundidad del suelo, considerada ya como apropiada para la germinación del maíz; por lo tanto, la época recomendada para siembras de maíz del 15 de abril al 15 de mayo en Zacatecas, comprende la mejor época promedio de siembra encontrada en el presente estudio, que fue del 27 de abril.

En el Cuadro 5 se presentan los parámetros de regresión, así como el coeficiente de determinación (R^2) para cada una de las variedades de maíz recomendables para siembras de riego en el estado de Zacatecas. Se observa que los modelos explican del 73 al 99% de la variación en rendimiento, dependiendo de la variedad. Se maximizaron derivando estas ecuaciones y se determinaron las fechas en las cuales el rendimiento es máximo para cada una (Cuadro 6); las mejores fechas de siembra varían del 27 de abril al 23 de mayo. Respecto a lo que Bonilla (1889) indica de que el maíz se sembraba en febrero o marzo en Trancoso, Zacatecas, debe haberse tratado de condiciones muy específicas, como las siembras actuales de "maíz de húmedo" en varias partes del Altiplano de México (Osuna, 1981).

Aun cuando Flores *et al.* (1985) han mencionado que las zonas productoras de maíz en el mundo cuentan con más de 2500 unidades calor, en la zona del presente estudio es factible producir altos rendimientos con mucho menos unidades calor, ya que se cuenta con genotipos adaptados y no se tienen déficits de humedad en el suelo.

Aunque los resultados de la Fig. 1 se presentan solamente para fines de comparación de rendimientos observados bajo diversas circunstancias, es pertinente señalar, aunque sea de manera general, los porqué de las diferencias en los rendimientos. El rendimiento medio tan bajo a nivel estatal se debe al empleo de una muy deficiente tecnología de producción, que involucra la siembra de variedades criollas o acriolladas de diversa precocidad, variables, susceptibles a enfermedades y al acame y de bajo potencial de rendimiento. Se siembra indistintamente desde fines de marzo hasta junio, en suelos muchas veces preparados con deficiencia, con densidades de siembra en general 20 a 30% inferiores a las recomendadas. La fertilización es deficiente en cantidad y calidad y todavía un 15% del área no se fertiliza, por otra parte los riegos y control de malezas y plagas son deficientes. La tecnología de producción de maíz de riego en Zacatecas es atrasada. Los suelos en general son pobres en nutrientes, materia orgánica, profundidad y capacidad de retención de humedad; pero, la causa que más influye en la obtención de bajos rendimientos es la tecnología de producción; esto se ha confirmado con lo que se ha presentado en el presente escrito, así como la aplicación de programas como el PRONAMAT, el cual, con apoyos gubernamentales especiales para la aplicación de tecnología en forma oportuna y con asesoría constante, motivó que los productores involucrados obtuvieran altos rendimientos unitarios; este programa se llevó a cabo en siembras tempranas, con genotipos mejorados tardíos, alta fertilización y densidad de siembra y riego suficiente. Por esta región los rendimientos alcanzados por algunos productores, de hasta 10 t/ha, son mayores que el alcanzado en promedio con H-220, de ciclo intermedio y que la media experimental que involucra genotipos muy diferentes y diversas épocas de siembra y condiciones de cultivo.

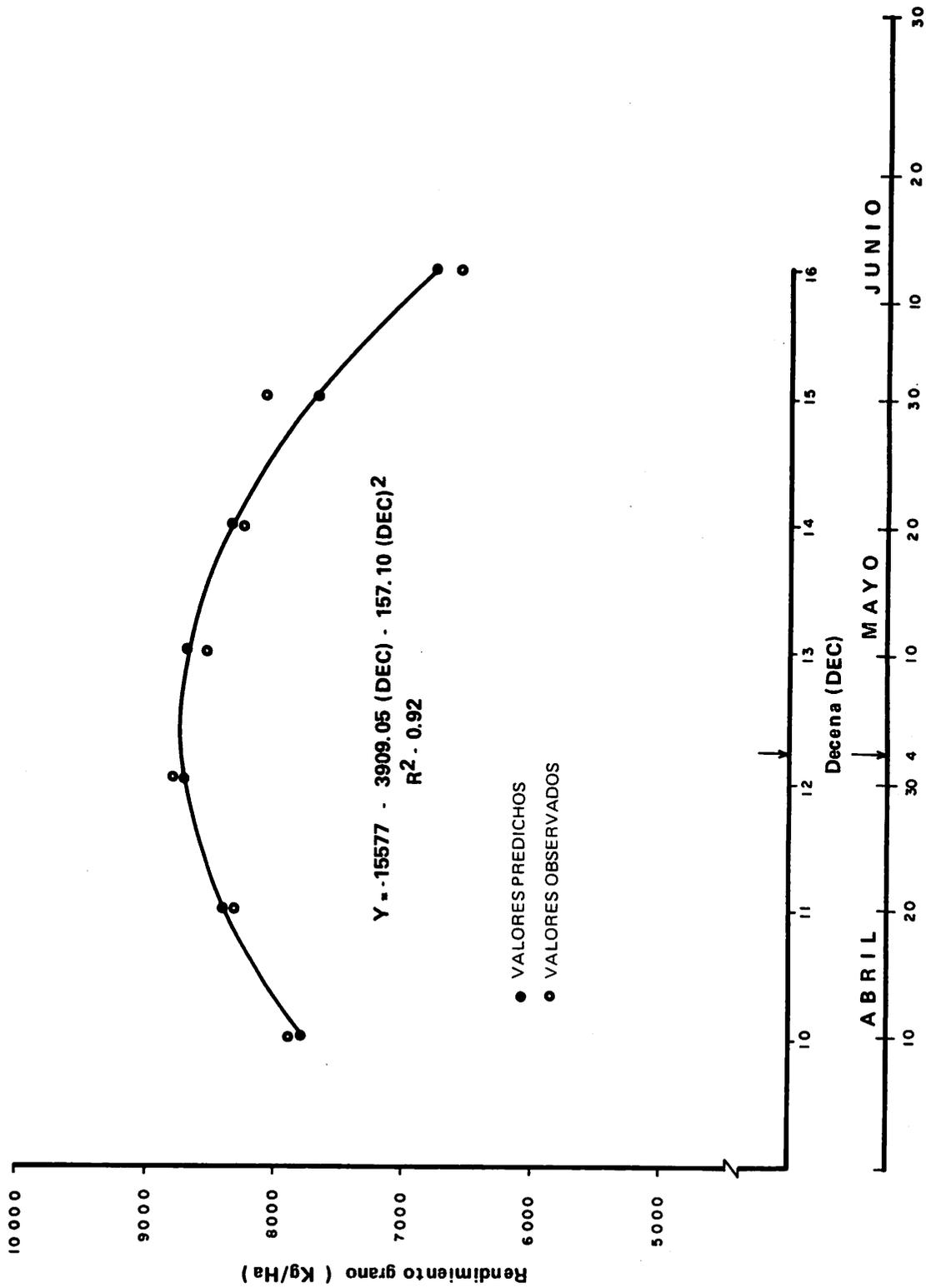


Figura 3. Relación entre el rendimiento de grano de maíz y la fecha de siembra para el Híbrido H-22 bajo condiciones de reigo en Zacatecas. (INIFAP - 1990).

Cuadro 5. Parámetros de regresión para la relación fecha de siembra (DEC) y rendimiento de grano de maíz de riego en Zacatecas.

Grupo	A	DEC	DECXDEC	R ²
Alto	-29443	6857	-286.85	0.73
Bajo	-13639	3282	-138.76	0.83
Intermedio	-19366	4779	-203.86	0.85
H-220	-15577	3909	-157.10	0.92
CAFIME	-122001	17078	-564.32	0.89
H-133	214854	-30992	1156.25	0.67
H-303	-234599	20208	-705.21	0.83
H-311	-239713	37489	-1402.17	0.99

Cuadro 6. Fecha de siembra óptima para obtener el máximo rendimiento de grano de maíz de riego en Zacatecas.

Grupo	Fecha
Intermedio	27 abril
H-220	4 mayo
CAFIME	1 junio
H-133	4 mayo
H-303	23 mayo
H-311	4 mayo

CONCLUSIONES

La mejor fecha promedio de siembra para maíz de riego en el Altiplano de Zacatecas es el 27 de abril.

Cada variedad tiene una fecha adecuada para producir su más alto rendimiento; el H-220 y H-133 deben sembrarse alrededor del 4 de mayo.

Existe potencial para producir altos rendimientos por hectárea de maíz de riego en Zacatecas.

BIBLIOGRAFIA

- Bonilla J., R. 1889.** La agricultura y sus productores en el estado de Zacatecas. Hospicio de Niños de Guadalupe (impreso). Guadalupe, Zacatecas.
- Berson, G. O. 1982.** Profitable corn production. Iowa State University. Cooperative Extension Service. Iowa.
- Castillo R., J R., V. M. Castro R. y J. López H. 1989.** Ensayos uniformes de maíces bajo riego para el CCVP en el Altiplano del CIANOC. En: Investigación de Maíz en el CIANOC: Resultados y Avances hasta 1985. Publicación Especial Núm. 2. Campo Experimental Zacatecas. INIFAP-SARH. Calera, Zac.
- Flores M., J., J. L. Chan C. y R. G. Bravo L. 1985.** Fenología de maíz y frijol en el Altiplano de Zacatecas. II, unidades calor (UC) y desarrollo fenológico. Fitotecnia. 7:66-81.
- Hernández R., J. R. y M. R. Perales de la C. 1989.** Evaluación de variedades de maíz en fechas de siembra bajo riego en la zona media de S.L.P. En: Investigación de Maíz en el CIANOC: Resultados y Avances hasta 1985. Publicación especial Núm. 2. Campo Experimental Zacatecas. INIFAP-SARH. Calera, Zac.

Hurtado de La Peña, S. 1973. Informe anual de agricultura de riego. Campo Experimental Benito Juárez, Calera, Zacatecas. CIAN-INIA-SARH. Calera, Zac.

Ortiz V., M. 1988. Determinación de heladas tardías y tempranas en el estado de Zacatecas. Folleto Misceláneo Número 1. Campo Experimental Zacatecas. INIFAP-SARH. Calera, Zac.

Osuna C., E.S. 1981. Estudio preliminar sobre el sistema de cultivo de maíz de humedad residual en los llanos de Durango. Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Nayarit. Xalisco, Nay.