

Efecto de la Selección Recurrente por Sequía sobre el Rendimiento y Características Agronómicas de Líneas S₁ de Maíz (*Zea mays* L.) Evaluadas en Tres Ambientes de Centro América, 1989

José Luis Zea, José Luis Quemé, Adán Aguiluz, Luis Brizuela, Hugo Córdova²

COMPENDIO

El mejoramiento de cultivares, para adaptación a ambientes adversos implica, el uso de metodologías de selección que permitan capitalizar al máximo la varianza genética aditiva, a la vez reducir la interacción genotipo * ambiente. En el presente estudio se evaluaron 400 líneas S₁ de maíz provenientes de la población resistente a sequía del Proyecto Colaborativo Regional de Mejoramiento de maíz para condiciones de humedad limitada.

Estas líneas fueron evaluadas bajo un diseño de látice 20 x 20 con dos repeticiones por localidad en 3 ambientes diferentes de humedad. La presión de selección fue del 10%. Se obtuvieron diferenciales de selección relativamente altos para la variedad experimental y la fracción seleccionada para recombinación. La magnitud de estas diferencias fue mayor en la condición de humedad limitada, indicando la variabilidad en la población confirmado por las diferencias altamente significativas obtenidas en el análisis de varianza.

El abatimiento en rendimiento (36%) de la variedad experimental y de la fracción seleccionada al pasar de la condición de humedad no limitada a limitada fue menor en comparación con la población (51 %) demostrando con ello la efectividad de la presión de selección aplicada. Entre las variables estudiadas la que más correlacionó con el rendimiento bajo humedad limitada fue la prolificidad y no así la asincronía la cual presentó un intervalo estrecho (-8 hasta 5.9 días) posiblemente debido a que la población ha sido mejorada para este carácter.

Los parámetros de estabilidad ($\beta = 1$ $r = 0.9$) estimados identificaron a las líneas seleccionadas para la variedad sintética como estables con una respuesta consistente a través de los 3 ambientes de humedad.

Los estimadores de heredabilidad en sentido amplio ($H^2 = 0.43$ y $H^2 = 0.64$ **), para rendimiento y prolificidad bajo sequía, indican que se puede esperar un progreso por selección substancial al incrementar las frecuencias de alelos favorables que condicionan la herencia de estos caracteres.

Palabras claves: *Zea mays* L., resistencia a sequía, selección recurrente.

INTRODUCCION

El objetivo del mejoramiento para resistencia a sequía es incrementar el rendimiento subpotencial de un cultivo que es inducido por su incapacidad para llenar sus demandas de evapotranspiración (Blum, 1988). La mayoría de las áreas productoras de maíz en los trópicos se cultivan bajo

ABSTRACT³

Breeding for adaptation to adverse environment should capitalize on additive genetic variance while simultaneously reducing genotype by environment interactions. In the present work, 400 S₁ maize lines from a population resistant to drought from the Collaborative Regional Maize Breeding Project were evaluated under limited moisture conditions.

These lines were evaluated in a lattice design of 20 x 20 with two replications per location in three different moisture environments. Selection pressure was 10%. Selection differentials for the selected fraction for recombination and experimental varieties were high. The selection differential was higher under limited moisture conditions confirming highly significant differences observed in the analysis of variance for lines.

The experimental variety and the selected fraction had yield reductions with drought of 36%, in comparison to the population bulk which was reduced by 51 % with drought, demonstrating the efficacy of applied selection pressure. Within the variables studied, ears per plant correlated the highest with yield under limited moisture conditions. The anthesis-silking interval did not correlate as high with yield (interval of 8 to 5.9 days), possibly because the population had been improved for this characteristic.

Estimated stability parameters ($\beta = 1$ $r = 0.9$) identified the selected lines for synthetic varieties as stable entries with a consistent response across the 3 moisture environments.

Broad-sense heritability estimates ($H^2 = 0.43$ and $H^2 = 0.64$ **) for yield and ears per plant under drought indicate that one can expect to obtain substantial selection progress by increasing the frequencies of favorable alleles which condition the heritability of these characteristics.

lluvias de temporal. Estas áreas sufren de una distribución errática de la precipitación pluvial con períodos prolongados de sequía (canícula) en la época en que el cultivo requiere más humedad para cumplir con sus demandas de evapotranspiración. En adición, los suelos de ladera (más del 60% en C. A.) tienen muy poca capacidad de retención de

¹ Presentado en la XXXVI Reunión Anual de PCCMA. San Salvador. El Salvador 1990.

² Técnicos Programas de Maíz. ICTA-Guatemala; Coordinadores Programas de Maíz, CENTA. El Salvador; Secretaría de Recursos Naturales, San Pedro Sula, Honduras; Coordinador Programa Regional de Maíz de CIMMYT para Centro América y El Caribe.

³ El abstract es traducción del compendio.

Publicado en Agronomía Mesoamericana, Vol. 2 (1991).

humedad 10 que incrementa aún más las pérdidas en las áreas marginales.

El mejoramiento para adaptación a condiciones de humedad limitada debe estar basado en la hipótesis de que existen genes favorables que contribuyen a la estabilidad del rendimiento bajo estas circunstancias y que es posible acumularlos a través de seleccionar y evaluar bajo los ambientes apropiados.

Los objetivos de este trabajo son:

1. Desarrollar y mejorar cultivares con adaptación a condiciones de humedad limitada y estabilidad a través de diversos ambientes.

2. Reducir la frecuencia de genes recesivos deletéreos que limiten el progreso en la selección e incrementar los alelos favorables que determinan la adaptación a condiciones de humedad limitada.

REVISION DE LITERATURA

Turner (1979) cita a May y Milthorpe (1962) quienes identificaron tres tipos de resistencia a sequía en las plantas: 1) Escape a la sequía; 2) Tolerancia a la sequía con altos potenciales hídricos en los tejidos; 3) Tolerancia a sequía con bajos potenciales hídricos en los tejidos.

Slatyer (1957 a) menciona que el estrés de humedad afecta el rendimiento de grano en cereales cuando se producen tres etapas claves: 1) Iniciación floral y desarrollo de la inflorescencia (aquí se determina el número de granos potenciales); 2) Antesis y fertilización; y 3) llenado de grano (cuando el peso de grano se incrementa progresivamente).

Pérez (1979) menciona que Sopher (1973) determinó que la sequía que ocurre en el período de floración del maíz es la más determinante para el rendimiento del grano.

Muñoz (1988) indica que son varios caracteres los que están asociados en las plantas para resistir a la sequía, menciona la tolerancia a marchitez, fecundidad femenina, precocidad, intensidad del color verde bajo sequía y persistencia del área foliar como indicadores que condensan los efectos de varios caracteres, y concluye que la resistencia a sequía debe ser considerada como un carácter cuantitativo, por lo que pueden ser aplicables todos los principios de la genética cuantitativa y los esquemas genotécnicos, relativos a caracteres poligénicos. Menciona además que para evaluar la resistencia a sequía se hace necesario tener al menos dos niveles de sequía: (1 = condición favorable, 2 = deficiencia hídrica). Finalmente, agrega que el efecto de factores adversos como las plagas, las enfermedades, las heladas y los bajos niveles nutrimentales de una u otra manera inciden sobre la resistencia a sequía.

Bolaños y Edmeades (1988) concluyeron que el parámetro más importante a seleccionar es el intervalo entre antesis y extrusión de estigmas (anthesis - silking - intervalo). Sin embargo, mencionan que la sincronización de la floración masculina y femenina no es garantía para la producción bajo estrés y que es necesario un vivero de sequía para lograr la expresión de la variación genética en estas condiciones.

Barrales *et al.* (1984) evaluando familias de medios hermanos de maíz encontró que la precipitación fue la variable de mayor influencia sobre el rendimiento de las localidades que presentaron problemas de sequía mientras que en la localidad sin sequía la temperatura fue la más importante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material Genético

400 líneas S₁ de maíz se derivaron de la población Tuxpeo-sequía adaptada a condiciones de humedad limitada, del proyecto colaborativo Centroamericano para tolerancia a sequía y descrita por L. Brizuela (1987).

Ambientes de Prueba

Ambiente 1: Humedad limitada, presión de sequía a través de riego controlado, realizando el penúltimo riego antes de la floración (43 días después de la siembra, DDS) y el último después de la floración (77 DDS). Con este período de sequía se simula una canícula, logrando con ello, someter a las líneas a limitación de humedad durante el período de floración y llenado del grano.

Ambiente 2: Humedad óptima, mantenimiento de la humedad a niveles adecuados a través de riegos cada ocho días para el desarrollo óptimo del cultivo de maíz. Estos dos ambientes se ubicaron en la localidad de Zacapa, Guatemala; la cual se encuentra a 300 metros sobre el nivel del mar, y dentro de la zona sub-tropical seca. La precipitación es nula durante los meses de noviembre a abril. La siembra de estos ambientes se realizaron en el mes de diciembre de 1989.

Ambiente 3: Condiciones de precipitación pluvial; este ambiente se localiza en Texistepeque, El Salvador, el cual se seleccionó como ambiente de lluvias erráticas. La siembra se realizó en el mes de junio de 1988.

Determinación del contenido de humedad del suelo

Para llevar el control del contenido de humedad del suelo se realizaron muestras hasta una profundidad de 50 cm. en 20 puntos por cada ensayo en los ambientes 1 y 2. Para determinar el contenido de la humedad del suelo se utilizó el método gravimétrico en el cual se emplea una barrena de tornillo para extraer la muestra del suelo la que se

seca en un horno a una temperatura de 105 - 110 ° C durante 24 horas. El contenido de humedad del suelo se calcula haciendo uso del peso de suelo húmedo (PSH) y peso de suelo seco (PSS) aplicando la fórmula siguiente:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{PSH} - \text{PSS}}{\text{PSS}} \times 100$$

Manejo de los experimentos

La unidad experimental en los ambientes 1 y 2 estuvo constituida por un surco de 2.5 metros de largo separados 0.80 metros y 0.50 metros entre plantas para un total de 10 plantas por línea S₁ y una densidad de 40,000 planta por ha. En el ambiente 3 el tamaño de la unidad experimental fue de 22 plantas por línea S₁. Las otras variables no experimentales recibieron un manejo óptimo para el buen desarrollo del cultivo.

Variables experimentales

Días a flor femenina y masculina, altura de planta y marzoca, acame de tallo y raíz, aspecto de sequía (1-10), coeficiente de desgrane, rendimiento de grano en t/ha al 15% de humedad, aspecto de marzoca (1-10), porcentaje mazorcas podridas y porcentaje de prolificidad.

Diseño experimental

Las 400 líneas S₁ fueron evaluadas bajo un diseño de látice simple 20 x 20 con dos repeticiones por ambientes.

Análisis estadístico

El análisis de varianza para cada una de las variables experimentales se realizó bajo el modelo de látice en el cual

$$Y_{ijk} = \mu + R_k + T_i + B_j (R_k) + e_{ijk}$$

Comparaciones de medias entre líneas S₁

Para discriminar las líneas adaptadas a los diferentes ambientes se utilizó la DMS.

Análisis de correlaciones simples

Para determinar el grado de asociación entre rendimiento y variables relacionados con el efecto de sequía se estimaron coeficientes de correlación simple.

Presión de selección

Para seleccionar las líneas superiores adaptadas a los 3 ambientes se tomo como base el ambiente 1 (Humedad limi-

tada) utilizando el criterio de selección el intervalo entre extrusión de estigma y anthesis en un rango de - 2 a 1 día. rendimiento y aspecto de sequía. La presión de selección (PS) utilizada fue de 10% para la fracción de recombinación y 2% para la formación del sintético C₁ o variedad experimental.

Método de selección

Selección recurrente de líneas S₁ con prueba de progenies donde se capitaliza al máximo la varianza aditiva según el modelo siguiente:

$$\sigma_g^2 = \sigma_a^2 + (1 / 4 \sigma_d^2)$$

Estimación de heredabilidad

$$H^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_f^2 / \sigma_g^2}$$

$$= \frac{(CM_T - CM_E) / r}{(CM_E / R) + ((CM_T - CM_E) / R)}$$

Análisis de estabilidad

Para seleccionar las líneas más estables a través de ambientes se usó el modelo de Eberhart y Russell, 1966.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El penúltimo riego se aplicó a los 43 DDS y la primera floración (ver máximos y mínimos, cuadro 1) ocurrió a los 58 DDS, esto hace suponer que la limitante de humedad del suelo se dió aproximadamente 8 días antes de la primera floración y continuó todo el período de floración (18 días). El riego de recuperación se realizó a los 77 DDS. Según la Figura 1, la humedad del suelo no bajó del punto de marchitez permanente, pero sí se aproximó; sin embargo, esta intensidad de sequía se considera adecuada para los objetivos establecidos, ya que se lograron diferencias entre esta y la humedad óptima (Fig. 2) como se verá más adelante. Con una intensidad de sequía extrema quizás no hubiera sido conveniente ya que según Muñoz (1988) con déficit de humedad extrema la variabilidad genética del carácter tienden a cero.

La sequía impuesta coincide con Barales *et al.*, (1984) quien determinó que la deficiencia de agua una semana antes y una semana después de la floración femenina tenía mayor efecto sobre el rendimiento.

Cuadro 1 Resumen del análisis de varianza para siete variables de la evaluación de 400 líneas S₁ de la población Tuxpeño-Sequía sometida bajo condiciones controladas de humedad limitada en la localidad de Zacapa, Guatemala 1989.

Variables	F	\bar{X}	C.V. (%)	DMS (%)	E.R. Lat/BCA (%)	Máximo	Mínimo
Rendimiento (t/ha)	**	1.55	47	1.44	106	3.482	0
Aspecto sequía (1-10)	**	6	11	0.6	110	10.000	2
Prolifricidad (%) +	**	63	35	5.2	104	165	0
Días flor masculin	**	64	3	4	122	73	58
Días flor femenina	**	65	6	7	102	76	58
Altura planta (cm.)	**	116	11	25	126	145	70
Altura mazorca	**	50	12	12	128	73	30

+ Datos transformados $Y = \sqrt{y + 1}$ se incluyen valores transformados solamente para C.V., DMS y E.R. Lat./BCA.

** Diferencia altamente significativa (= 0.01)

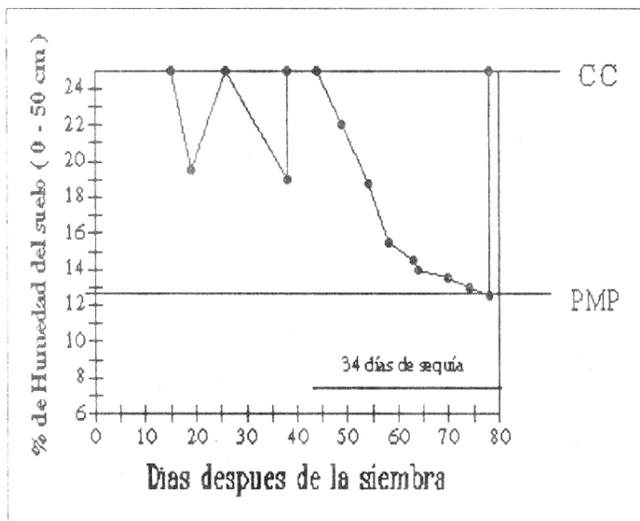


Figura 1. Comportamiento de la humedad del suelo, en sequía prefloración, durante el ciclo de cultivo de las Líneas S₁ de Tuxpeño-Sequía, Zacapa, Guatemala 1989.

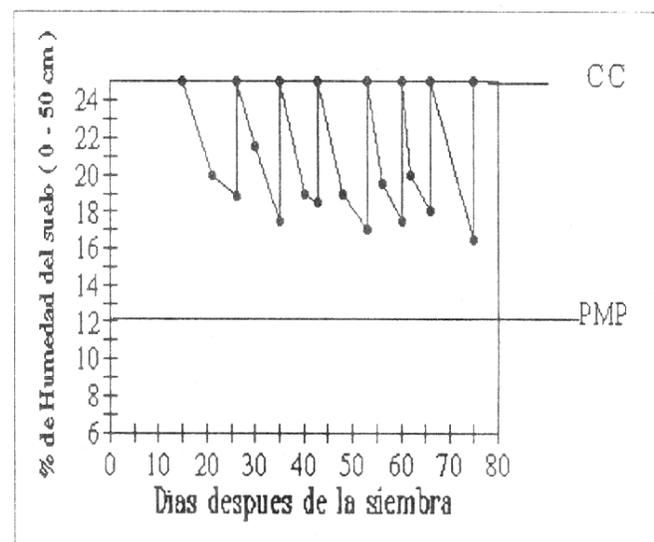


Figura 2. Comportamiento de la humedad del suelo, en humedad óptima, durante el ciclo de cultivo de las Líneas S₁ de Tuxpeño-Sequía, Zacapa, Guatemala 1989.

Análisis de varianza

En los Cuadros 1 y 2 se presentan los resúmenes del análisis de varianza para las tres condiciones, observando a nivel general que el diseño de látice fue más preciso que el diseño de bloques completos al azar tal como lo demuestran los valores de la eficiencia relativa de látice con respecto bloques completos al azar. Los coeficientes de variación para rendimiento y prolificidad en las condiciones 1 y 2 son más altos con respecto a la condición 3, lo cual se puede deber a que es difícil darle uniformidad de riego a ensayos grandes a lo que hay que agregar que las líneas son más susceptibles a los cambios ambientales. En todas las variables analizadas existieron diferencias altamente significativas ($P \leq 0,01$) entre líneas S₁, indicando con ello que la población en estudio presenta variabilidad para dichas variables,

Diferenciales de selección y características agronómicas

Los rendimientos y características agronómicas de las

siete líneas S₁ que se seleccionaron para formar la variedad experimental (VE), así como las medias de las líneas seleccionadas para continuar el ciclo de mejoramiento (L.S.) y la media de la población (pob.) se presentan en los cuadros 3, 4, y 5, los cuales corresponden a los ambientes 1, 2, y 3 respectivamente. La media de rendimiento de la V.E. superó a la media de las líneas seleccionadas y a la poblacional en los tres ambientes de evaluación, por lo que se puede estar seguro que las líneas seleccionadas se comportan bien en condiciones de humedad limitada, bajo riego y en condiciones de temporal o ciclo de lluvias.

Los diferenciales de selección para rendimiento en los tres ambientes se consideran razonables confirmando con ello la variabilidad existente en la población para esta variable, indicando además, que sí existen líneas S₁ resistentes a sequía ya que si consideramos la disminución de rendimiento de la V.E. (37%) y de las L.S. (36%) al pasar de la condición de humedad óptima a limitada, es menor que la disminución observada en la población (51 %) (Fig. 3). Hay que

Cuadro 2 Resumen del análisis de varianza de la evaluación de 400 líneas S₁ de la población Tuxpeño-Sequía evaluada bajo condiciones controladas de humedad no limitada en la localidad de Zacapa y bajo el ciclo normal de lluvias en Textistepeque, 1989.

Localidades y Variedades	F	X	C.V. (%)	DMS (%)	E.R. La/BCA (%)	Máximo	Mínimo
Zacapa (Guatemala)							
Rendimiento (t/ha)	**	3.149	24	1.489	104	5.647	0
Prolificidad (%)	**	87	22	37	101	150	0
Días flor masculina	**	62	3	3	108	75	57
Días flor femenina	**	62	2	3	112	72	93
Altura de planta (cm)	**	128	9	22	115	171	93
Altura de mazorca (cm)	**	54	12	13	106	75	35
Textistepeque (El Salvador)							
Rendimiento (t/ha)	**	3.416	17	1.170	112	6.972	0.889
Prolificidad (%)	**	114	14	31	121	249	44

**Diferencia significativa (= 0.01)

Cuadro 3 Rendimiento y características agronómicas de las líneas S₁ seleccionadas para la variedad experimental de la población Tuxpeño-Sequía evaluada en la localidad de Zacapa bajo condiciones controladas de humedad limitada. Guatemala 1989.

Líneas	Rend. (t/ha)*	Dif. Sel. (%)**	Días flor		Altura (cm)		Proli (%)	Coete. de Desgrane	Aspecto Sequía (1-10)	Pud. Mzca. (%)	IEP**
			Mсна.	Fmna.	Plta.	Mzca.					
11	2.719		61	61	130	58	70	0.79	4.0		0
99	2.383		63	63	110	45	84	0.84	5.5		0
146	2.219		63	63	115	48	78	0.80	5.5		0
206	2.503		61	61	130	55	69	0.79	4.5		0
295	3.025		63	65	135	60	62	0.80	6.0		-2
346	2.900		64	64	138	60	68	0.81	5.5		0
261	2.695		64	65	127	58	73	0.74	4.0		-1
- X V.E	2.635	170	63	63	126	55	72	0.79	5.0	18	0
- X L.S.	2.465	159	63	63	123	53	80	0.78	5.4	14	-1
- X Pob.	1.553	100	64	65	116	50	63	0.70	6.3	19	-1

* t/ha = toneladas métricas por hectárea.

** Dif. Selec = Diferencial de selección en porcentaje para la variable rendimiento.

*** IEP = Intervalo en días entre antesis y extrusión de los estigmas.

notar que se está relacionando la resistencia a sequía con el rendimiento, puesto que según Muñoz (citado por Pérez 1979) un genotipo es resistente si disminuye poco su rendimiento bajo condiciones de sequía.

La reducción del rendimiento de la población (51 %) coincide con el trabajo realizado en maíz por Denmead y Show (citado por Pérez 1979) quienes encontraron una reducción del rendimiento de 50% cuando se provocó la sequía en el período de la floración.

En cuanto a días a floración, si se compara los ambientes 1 y 2 los cuales estuvieron en la misma localidad, se nota que la sequía no afectó a esta variable, debido quizás a

que la población se ha mejorado para condiciones limitantes de humedad. En la condición 3 la media poblacional fue más precoz (más o menos 10 días) sin embargo, se obtuvieron los más altos rendimientos. Esto posiblemente se debió a la localidad y la época de evaluación ya que las condiciones de Zacapa son diferentes a las de Textistepeque. Además, en esta última localidad se evaluó en temporada de lluvias, época en la cual los días son más largos, repercutiendo en un incremento de la actividad fisiológica de las plantas.

A nivel de medias poblacionales, para altura de planta y mazorca también se observa que no fue afectada por la sequía, posiblemente la altura de planta sí presentó diferencias si comparamos los máximos y mínimos en los cuadros 1 y

Cuadro 4 Rendimiento y características agronómicas de las líneas S₁ seleccionadas para la variedad experimental de la población Tuxpeño-Sequía evaluada en la localidad de Zacapa bajo condiciones controladas de humedad no limitada. Guatemala 1989.

Línea	Rend. (t/ha)*	Dif. Sel**	Días a flor		Altura (cm)		Proli (%)	Coete. de Desgrane	IEP***	Pudrición Mzca. (%)
			Msna.	Fmna.	Plta.	Mzca.				
11	4.350		60	60	145	60	89	0.88	0	
99	5.072		60	59	125	50	100	0.82	1	
146	3.966		61	61	120	50	89	0.80	0	
206	3.163		60	60	127	53	75	0.71	0	
295	3.626		63	62	132	58	100	0.82	1	
346	4.396		63	63	142	58	88	0.86	0	
261	4.586		63	63	135	63	100	0.77	0	
\bar{X} V.E.	4.166	132	61	61	132	56	93	0.80	0	8
\bar{X} L.S.	3.874	123	62	62	128	54	97	0.79	0	9
\bar{X} Pob.	3.149	100	62	63	128	54	87	0.73	-1	11

* t/ha = Tonelada métrica por hectárea, ** Dif. Sel. = Diferencial de selección en porcentaje para la variable rendimiento., *** IEP = Intervalo en días entre antesis y extrusión de los estigmas

Cuadro 5 Rendimiento y características agronómicas de las líneas S₁ seleccionadas para la variedad experimental de la población Tuxpeño-Sequía evaluada en la localidad de Textistepeque bajo el ciclo de lluvias. El Salvador 1988.

Líneas	Rend. t/ha*	Difere. Selec. (%)**	Días a flor		Prolif. (%)	Pud. Mzca. (%)	IEP***
			Msna.	Fmna.			
11	4.163		51	53	131	-2	
99	3.802		51	53	112	-2	
146	4.076		53	56	120	-3	
206	3.515		53	53	81	0	
295	3.671		54	55	143	-1	
346	3.964		55	55	114	0	
261	4.362		54	55	148	-1	
\bar{X} V.E.	3.936	115	53	54	122	15	-1
\bar{X} L.S.	3.799	111	53	54	120	16	-1
\bar{X} Pob.	3.412	100	54	55	116	18	-1

* t/ha = Tonelada métrica por hectárea

** Dif. Sel. = Diferencial de selección en porcentaje para la variable rendimiento.

*** IEP = Intervalo en días entre antesis y extrusión de los estigmas

2. Hay que notar que en los ambientes 1 y 2 la altura de planta y mazorca es relativamente baja, explicando esta disminución de altura en gran parte a la endogamia que tienen las líneas S₁.

Las medias del porcentaje de pudrición de mazorca son similares para las tres condiciones. Los valores están ligeramente altos por lo que se recomienda poner más énfasis en esta variable al seleccionar en los ciclos siguientes.

Cuadro 6 Coeficientes de correlación (r) del rendimiento de grano con otras variables, de la evaluación realizada bajo condiciones limitantes de humedad, Zacapa 1989

Variables	r
Días a flor masculina	-0.19 **
Días a flor femenina	-0.21 **
Aspecto de sequía	-0.43 **
Porcentaje de prolificidad	0.58 **
Asincronía de la floración	0.21 **

** Diferencia significativa (P ≤ 0.01)

Cuadro 7 Heredabilidad (%) en sentido amplio (H²) para 7 variables en estudio en dos ambientes de evaluación en la localidad de Zacapa, 1989

	Riego	equía
Rendimiento	0.63**	0.45**
Prolificidad	0.64**	0.44**
Días a flor masculina	0.86**	0.81**
Días a flor femenin	0.83**	0.60**
Altura de mazorca	0.67**	0.76**
Altura de planta	0.78**	0.77**
Aspecto sequía	---	0.24*

* Diferencia significativa (P ≤ 0.05)

** Diferencia significativa (P ≤ 0.01)

Correlaciones:

En el cuadro 6 se presenta las correlaciones (r) de cinco variables con el rendimiento de grano, notando que todas las r son altamente significativas (P ≤ 0.01). Sin embargo, los valores de r son bajos por lo que hay que tomarlos con cierta reserva ya que esta significancia era de suponerse por tener un número alto de grados de libertad. Posiblemente el

aspecto de sequía ($r = 0.43^{**}$) y el porcentaje de prolificidad (0.58^{**}) son los que explican mejor el rendimiento. Los valores de aspecto de sequía oscilaron entre 2 y 10 (cuadro 1) y la media de la VE, LS y poblacional fue de 5.0, 5.4 y 6.3 respectivamente (cuadro 3) lo que hace suponer que a medida que se tenga una calificación mala de sequía (tendiendo a 10) el rendimiento disminuye. En cuanto a la prolificidad existieron valores máximos de 165% y mínimos de 0% siendo las medias de la VE, LS y poblacional den, 80 y 63% respectivamente (cuadro 3), lo cual explica que a menor prolificidad, menor rendimiento. Entre ambientes la condición de humedad limitada presentó el más bajo porcentaje de prolificidad poblacional 63 % (cuadro 3), mientras que la más alta la presentó el ambiente con lluvias con 116%, coincide con lo que menciona Bolaños y Edmeades (1988) en relación a que la sequía afecta al maíz tropical “fundamentalmente reduciendo el número de granos por planta, a través de reducciones en el número de mazorca por planta” o sea la prolificidad.

En cuanto a la asincronía entre floraciones, el intervalo osciló entre -9 a 5 días, intervalo un poco estrecho en comparación con el encontrado por Bolaños y Edmeades (1988) que fue de 25 días. Este intervalo estrecho era de esperarse ya que la población es estudio ha sido mejorada previamente para sequía, por lo que esta característica no está explicando en forma clara la variación en el rendimiento.

Hereditabilidad

Se puede esperar una ganancia substancial como afecto de la selección entre líneas S_1 para rendimiento y otras características agrooómicas cuando se hacen estimaciones de hereditabilidad altas. Esto indica que el componente de varianza genética es más importante que el de varianza genotípica y que se transmite de una generación a otra como consecuencia de la acumulación de alelos favorables que condicionan el carácter en estudio. Los valores de hereditabilidad en sentido amplio estimados en presente trabajo (Cuadro 7) se consideran altos bajo condiciones de humedad óptima. $H^2 = 0.63, 0.64, 0.86, 0.83, 0.67, 0.78$ para rendimiento, prolificidad, días a flor femenina, días a flor masculina, altura de mazorca, altura de planta respectivamente. En el ambiente de humedad limitada los criterios de selección considerados fueron aspecto de sequía, rendimiento y prolificidad con $H^2 = 0.27, 0.45, 0.44$ respectivamente. Estas variables están más estrechamente relacionadas con el rendimiento. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Bolaños (1988) quien encontró $H^2=0.38$ para rendimiento bajo sequía. Penny *et al.*, (1967) y Jinahyon y Russell (1969) encontraron valores de hereditabilidad altos para resistencia a pudrición del tallo y daño de barrenador utilizando selección recurrente de líneas S_1 .

Estabilidad

La estabilidad del rendimiento puede abrir un camino nuevo para el desarrollo de criterios de selección al rendi-

Cuadro 8 Rendimiento de las 36 líneas S_1 superiores (LS) de la población Tuxpeño -Sequía en los tres ambientes de evaluación en C.A. 1989.

Ent.	Humedad Óptima (Zacapa) Rend. t/ha	Humedad Limitada (Zacapa) Rend. t/ha	Ciclo de Lluvias (Texistepeque) Rend. t/ha
9	3.970	1.738	2.990
11	4.350	2.719	4.355
24	3.590	1.706	4.735
46	3.240	2.470	5.265
55	4.504	3.259	3.210
80	3.107	1.935	4.210
88	3.127	2.092	2.960
94	2.487	2.870	2.135
99	5.072	2.383	3.795
103	4.434	2.591	3.535
104	2.741	3.137	3.550
119	3.498	2.076	4.760
123	4.455	2.573	4.455
127	2.838	3.008	2.510
143	3.739	1.876	4.815
146	3.966	2.219	4.360
147	3.817	3.411	4.200
165	3.472	2.433	3.170
168	3.167	2.518	3.440
186	4.213	3.047	3.275
206	3.163	2.503	3.695
251	4.594	2.809	3.480
261	4.586	2.695	4.450
285	4.092	2.717	4.340
287	5.027	2.884	3.965
288	4.383	2.968	4.325
295	3.625	3.025	3.642
300	3.915	2.223	3.685
305	3.048	1.845	2.665
343	4.228	1.643	4.550
346	4.395	1.643	4.260
350	4.412	2.040	4.390
355	3.785	2.510	2.535
382	3.964	1.882	2.890
388	4.245	2.031	2.650
392	4.206	1.998	5.500
X	3.874	2.465	3.599

miento principalmente cuando se relaciona para ambientes adversos. (Blum 1988).

En el cuadro 8 se presentan los rendimientos de las mejores 36 líneas en los tres ambientes de evaluación. Se trató de seleccionar líneas que rindieran bien en buenos ambientes y que no disminuyeran mucho en ambientes pobres (limitante a humedad).

Para visualizar de mejor manera la estabilidad de algunas líneas seleccionadas se realizaron líneas de regresión entre rendimientos e índices ambientales (E), comparando las líneas seleccionadas con una línea no seleccionada (líneas 3), la cual tiene rendimientos bajos en ambientes pobres y buen rendimiento en ambientes ricos, estas líneas de regresión se presentan en las figuras 4, en donde se observa que el intercepto de líneas es arriba de cero y el coeficiente

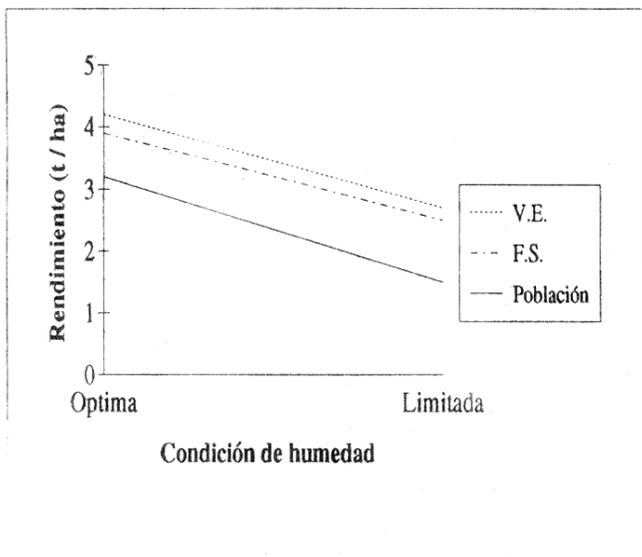


Figura 3 Rendimiento promedio de la variedad experimental, fracción seleccionada, y de la población bajo dos condiciones de humedad, Zacapa, Guatemala 1989.

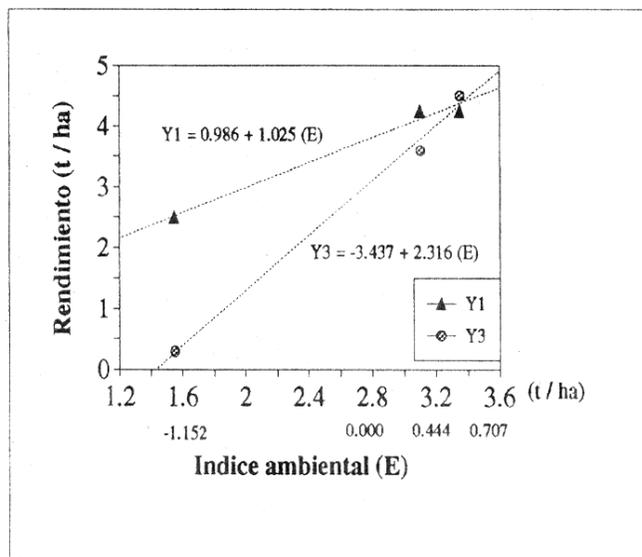


Figura 4 Líneas de regresión entre rendimiento e índices ambientales (E) de una líneas S₁ seleccionada en comparación con una no seleccionada (Y3) en tres ambientes de Centroamerica.

de regresión es cercano a uno con lo cual se está garantizando hacer una selección de líneas que rindan bien en ambientes pobres y ricos, En la Figura 4 se da un ejemplo de líneas que no se deben de seleccionar ya que la línea 1 rinde bien en ambientes pobres pero en ambientes ricos disminuye su rendimiento, mientras que la líneas 3 es todo lo contrario.

CONCLUSIONES

La limitación de humedad impuesta en el ambiente 1 de Zacapa fue el adecuado para cumplir con los objetivos ya que existieron diferencias entre el ambiente 1 y el 2, Esto indica que se puede aprovechar la variabilidad genética que presentó la población en estudio.

Se seleccionaron genotipos resistentes a sequía ya que la fracción seleccionada obtuvo los más altos rendimientos en ambientes favorables y disminuyó poco (36%) bajo condiciones de sequía.

El porcentaje de prolificidad ($r = 58^{**}$) y el aspecto de sequía (-0.43^{**}) fueron las variables que más explicaron la variación del rendimiento de grano.

Se espera tener una buena respuesta a la selección ya que la varianza genética fue importante en los ambientes 1 y 2, aunque en condiciones de sequía la heredabilidad en sentido amplio (H^2) fue un poco menor.

BIBLIOGRAFIA

BARRALES, D. S., A. MUÑOZ O. y D. SOSTRES R. 1984. Relaciones termopluviales en familias de maíz bajo condiciones de temporal. *Agrociencia* 58: 27- 139.

BOLAÑOS, J. A., EDMÉADES, G. O. 1988. Selección para tolerancia a sequía en maíz tropical. Presentado en el Seminario Taller/ Agronomía del Maíz y Tecnología de Producción de Semillas, celebrado del 10 al 16 de enero de 1988. Chitré, Panamá. CIMMYT México p.p. 125/155

BOLAÑOS, J. Y EDMÉADES, G. O. 1988. Estrategia del CIMMYT en Mejoramiento para tolerancia a sequía en maíz tropical Trabajo presentado en el "International Conference on Dryland Farming", Amarillo Bushland, Texas, Agosto 15-19, 1988. ap.

BLUM, A. 1988. Plant breeding for stress environments 18-28. CRC. pres

BRIZUELA B.L 1987. Evaluación de familias de medios hermanos de la población tolerante a sequía en la estación experimental La Lujosa Choluteca. Seminario de sequía 15-18 de febrero, Choluteca. Honduras.

JINAHYON, S.; RUSELL, W.A.. 1968B. Effects of recurrent selection for stalk-rot resistance on other agronomic characters in an open pollinated variety of maize. *Iowa State. J. Scie.* 43:239:-51

MUÑOZOROZCO, A. 1988. Resistencia a sequía en plantas. Copias del Curso de Mejoramiento para Resistencia a Sequía, a Heladas y otros factores adversos, (Gen - 627). Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. (Chapingo México). sp.

PENNY, L.H.; SCOTT,G.E.; GUTIER, W.D. 1967. Recurrent selection for european corn borer resistance in maize. *Crop Sci.* 7:407/408

PEREZ, J. G. 1979. Comportamiento de los maíces de Cajete bajo diversos niveles de humedad. Tesis de M.C. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados, Chapingo México.

SLATYER, R. O. 1957a. Significance of the permanent wilting percentage in studies of plant and soil water relations. *Bol. Re* 23:585-6~6

ITRNER, N.e. 1979. Droughtresistance and adaptation to water deficits IR crop plants. In *estrés physiology in crop plants*. Harry Mussel and Richard Stoples (Eds.). John Wiley R. Sons. pp. 343-372