

Agraria

AGRARIA VOL 16, NUMERO 1; ENERO-JUNIO DE 2000

ISSN 0186-8063



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRRO
Buenavista, Saltillo., Coah., México
www.uaan.mx

DIRECTORIO

Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe
Rector

M.C. Luis Lauro de León González
Director General Académico

Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Director de Investigación

Dr. Andrés Martínez Cano
Subdirector de Programación y Evaluación

Ing. Pedro Recio del Bosque
Subdirector de Operación de Proyectos

UNIDAD LAGUNA

Dr. Esteban Favela Chávez
Subdirector de Investigación

Diseño y Formación
Miguel A. Estrada Villarreal

Comité Editorial

Dr. Miguel Angel Capó Arteaga
Editor en Jefe

Dr. Jesús Valdés Reyna
Editor Ejecutivo

Secretario de Producción
M.Ed. Víctor M. López González

Editores Técnicos

Dr. José L. Puente Manriquez
Fitomejoramiento, UL

Dr. Raúl Rodríguez García
Riego y Drenaje

Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez
Producción Animal

Colaboradores

M.C. Cecilia Burciaga Dávila
Dr. Angel Cepeda Dovala
M.C. Ricardo Cuellar Flores

La Revista Agraria es una publicación científica semestral, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con domicilio conocido en Buenavista, Saltillo, Coah., México.

http://www.uaaan.mx/DirInv/portal_agraria/portal.htm

E-mail: agraria_ne@uaaan.mx

Tel (844) 411-02-12 y 411-02-80 · Fax 411-02-11



Centéotl. Deidad azteca de la agricultura, es una advocación de Chicomecóatl, diosa del maíz. La UAAAN, en su afán de rescatar los valores del pasado histórico de México la ha adoptado como logotipo de esta revista científica, como símbolo que evoca y reafirma nuestras raíces culturales.

Agropapia

AGRARIA VOL 16, NUMERO 1; ENERO-JUNIO DE 2000

ISSN 0186-8063



UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRRO
Buenavista, Saltillo., Coah., México
www.uaaan.mx

CONTENIDO

SELECCIÓN RECÍPROCA RECURRENTE EN POBLACIONES DE MAÍZ PARA TRÓPICO SECO Y BAJÍO MEXICANO	1
VALIDACIÓN DEL MODELO EPIC, PARA SIMULAR LA MEDICIÓN DE RASGOS AGRONÓMICOS EN EL CULTIVO DE MAÍZ BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD EN EL SUELO	27
COMPACTACIÓN DEL SUELO Y NOGAL PECANERO (<i>CARYA ILLINOENSIS</i> KOCH)	47
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA DE ALFALFA BAJO DIFERENTES NIVELES DE FERTILIZACIÓN Y DENSIDADES DE SIEMBRA	59

SELECCIÓN RECÍPROCA RECURRENTE EN POBLACIONES DE MAÍZ PARA TRÓPICO SECO Y BAJÍO MEXICANO

Armando Muñoz Urbina, Enrique Navarro Guerrero, José Espinoza Velázquez.

Programa de Doctorado en Fitomejoramiento, Subdirección de Postgrado, Universidad
Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo Coahuila, México. 25315

RESUMEN

En este trabajo se consideró el patrón heterótico correspondiente al tipo de grano: dentado/cristalino, observable en dos experimentos de selección recíproca recurrente (SRR), en las poblaciones de madurez intermedia, denominadas: Pob. A y Pob. B, en el experimento I, y las poblaciones de madurez tardía, denominadas: Pob. 43 y Pool 23, en el experimento II. Los ensayos fueron evaluados en Celaya, Gto., y Gómez Palacio, Dgo. para medir en ellas comportamiento agronómico y heterosis. Los análisis de varianza combinados permitieron detectar diferencias ($P < 0.05$ o $P < 0.01$) entre mestizos, para todas las variables bajo estudio. También se practicó un Análisis de Componentes Principales, lo cual permitió agrupar a los mestizos con respecto a los tres primeros componentes, mismos que explicaron más del 80% de la variabilidad de los datos. La ganancia genética estimada para rendimiento mediante la SRR fue mayor para las poblaciones de madurez intermedia ($AG = 1.637 \text{ t ha}^{-1}$), superior en 43% al observado en las poblaciones de madurez tardía. Cabe señalar que aunque se espera una mayor ganancia entre las poblaciones de madurez intermedia, también se espera que se suscite una mayor heterosis entre las poblaciones de madurez tardía, ya que éstas presentaron una mayor distancia genética (D^2 de Mahalanobis); de ellas, la mayor divergencia se presentó entre Pob. A y Pool 23, por lo que un programa de hibridación que las incluya pudiera resultar en combinaciones heteróticas sobresalientes.

Palabras clave: *Zea mays*, heterosis, ganancia genética, componentes principales, distancia genética.

ABSTRACT

Reciprocal recurrent selection in maize populations for dry tropic and Mexican Bajío. This assay deals with the heterotic dent-flint pattern in two experiments of reciprocal recurrent selection (RRS). The populations under study are of intermediate maturity, named as follows: Pob. A and Pob. B in the Experiment I, and the late maturity populations Pob. 43 and Pool. 23, in the Experiment. II. These experiments were established at locations in Celaya, Gto. and Gómez Palacio, Dgo., Mexico, in order to evaluate the populations agronomic performance and heterosis. The combined analysis of variance detected differences ($P < 0.05$ and $P < 0.01$), among top crosses for all traits. An analysis of main components was also practiced through which the top crosses were grouped according to the first three main components, which explained more than 80% of the variability. The estimated genetic gain for yield through the RRS was higher by 43% for the populations of intermediate maturity ($AG = 1.637 \text{ t ha}^{-1}$) as compared to the ones of late maturity. In spite of these, the highest heterosis is expected between the late maturity populations given the greater genetic distance (D^2 of Mahalanobis) among them; however, the greater divergence was shown between the groups Pob. A and Pool. 23 which could be eligible for a hybridization program that includes them in outstanding heterotic combinations.

Key words; *Zea mays*, heterosis, genetic gain, main components, genetic distance.

INTRODUCCIÓN

El objetivo central en la aplicación de esquemas de selección recíproca recurrente (SRR), en poblaciones de maíz, es el de generar fuentes de germoplasma que permita identificar materiales sobresalientes, de utilidad en la obtención y derivación de líneas con mayor potencial heterótico para la formación de híbridos de alta productividad.

Entre los patrones heteróticos en uso, se encuentra el de contraste entre grupos de maíces de grano dentado y cristalino, procedimiento que ha permitido identificar materiales de buen comportamiento y alta heterosis para la cruce poblacional. Martín y Hallauer (1980) señalan que con el uso de poblaciones mejoradas a través de la SRR aumenta la probabilidad en el desarrollo de líneas e híbridos superiores, logrando además que a través de la cruce entre poblaciones se confiera mayor énfasis a la selección para la expresión de heterosis.

Por otra parte, cuando se desea generar mayor información acerca de los materiales y de las características evaluadas en conjunto, la aplicación de una prueba multivariada puede ser, generalmente, un mejor procedimiento, ya que ésta tiene la ventaja adicional de valorar correctamente la correlación entre las variables (Manly, 1990). Entre las pruebas multivariadas que se utilizan para medir similitud morfológica se encuentra la "distancia generalizada de Mahalanobis" que puede ser útil para explicar las relaciones entre poblaciones.

Por otra parte, el análisis de componentes principales (CP), permite reducir la cantidad de datos por interpretar sin perder mucha de la información que se busca; por lo tanto, es una herramienta adecuada para analizar la estructura de observaciones multivariadas cuando se busca la dependencia entre ellas y se desconocen los patrones de interrelación.

En el programa de mejoramiento genético del Instituto Mexicano del Maíz Dr. Mario E. Castro Gil (IMM) se aplicó la metodología de SRR en cuatro poblaciones sintéticas de maíz para las regiones de Trópico Seco y Bajío con el fin de : a) predecir el avance genético por SRR; b) determinar las variables más importantes y la relación que permita explicar la variabilidad existente; y c) medir la divergencia genética entre las poblaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material genético utilizado se originó de los complejos germoplásmicos provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), los cuales fueron sintetizados por investigadores del IMM en nuevas poblaciones con base en características de interés (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de los complejos germoplásmicos.

Población ¹	Origen ²	Tipo de grano ³	
Poblaciones de Madurez Intermedia (Exp. I)			
Pob. A	Cl Sint—2	Tep. 93-94	D
\times			
Pob. B	Cl Sint—2	Tep. 93-94	C
Poblaciones de Madurez Tardía (Exp. II)			
Pob. 43	Cl Sint—2	Tep. 93—94	D
\times			
Pool 23	Cl Sint—2	Tep. 93—94	C

1. Pob AC1 Sint-2=(Pob 43 x Pool 20); Pob BC1 Sint-2=(Pool 19 x Pool 3).

2. Tep. = Tepalcingo, Morelos. Ciclo 1993-1994.

3. D= Dentado, C= Cristalino.

De cada población se obtuvieron las familias de medios hermanos a través del procedimiento de selección recíproca recurrente (SRR), siguiendo la propuesta de Comstock *et al.*, (1949).

Procedimiento Experimental

En el ciclo B (P-V 1995) se evaluaron las familias de medios hermanos (mestizos), bajo condiciones de riego en las localidades de Celaya, Gto. y Gómez Palacio, Dgo. Se establecieron cuatro experimentos por localidad. El Experimento I constituido por el complejo germoplásmico dentado Pob. A(B) (Pob. B como probador) y el Experimento II por el complejo germoplásmico cristalino Pob. B(A) (Pob. A como probador). El Experimento III se refiere al complejo germoplásmico dentado Pob. 43(23) (Pool 23 como probador), y el Experimento IV por el complejo germoplásmico cristalino Pool 23(43) (Pob. 43 como probador). En ambas localidades se utilizó el diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones y en cada experimento se incluyeron como testigos los híbridos AN-447, AN-EXP.1 y AN-EXP.2, que son híbridos sobresalientes generados por el IMM. La parcela experimental consistió de un surco por entrada con una longitud de 4.40 m y una distancia entre surcos de 0.75 m, siendo la distancia entre plantas de 0.22 m, determinándose así una densidad de población de 60 600 plantas ha⁻¹. Se efectuó un análisis combinado para evaluar las características agronómicas relativas a rendimiento (REN), porcentaje de mazorcas podridas (MZP), porcentaje de mazorcas con *Fusarium* (MZF), días a floración masculina (FMA), días a floración femenina (FFE), altura de planta (APL) y altura de mazorca (ANZ). A las variables en porcentaje se les aplicó la transformación

angular: $x' = \text{Arco Seno } (x + 0.5/100)^{1/2}$.

El análisis de varianza combinado (Cuadro 2), que conjunta a las localidades de prueba, se realizó de manera correspondiente al diseño de bloques al azar, bajo el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = m + L_k + R_{jk} + M_i + (ML)_{ik} + E_{ijk}$$

donde:

$i = 1, 2, \dots, m$ (mestizos)

$j = 1, 2, \dots, r$ (repeticiones)

$k = 1, 2, \dots, l$ (localidades)

Y_{ijk} = Observación del i -ésimo mestizo en la j -ésima repetición en la k -ésima localidad.

m = Media general.

L_k = Efecto de la k -ésima localidad.

R_{jk} = Efecto de la j -ésima repetición, en la k -ésima localidad.

M_i = Efecto del i -ésimo mestizo.

$(ML)_{ik}$ = Efecto de la interacción del i -ésimo mestizo con la k -ésima localidad.

E_{ijk} = Error experimental.

La ganancia genética esperada por ciclo para rendimiento, se determinó con la ecuación siguiente:

$$\Delta G = k_1 l/4\sigma^2 A_{12} / \sigma P_{12} + k_2 l/4\sigma^2 A_{21} / \sigma P_{21}$$

donde:

K = Coeficiente de selección estandarizado.

σ^2A = Varianza aditiva.

σ^2P = Desviación estándar fenotípica.

Cuadro 2. Componentes del análisis de varianza combinado, considerando los mestizos y localidades como efectos aleatorios.

Fuentes de variación	g.l.	C.M.	E.C.M.
Localidades	(l-1)		
R:L	(r-1)l		
Genotipos ¹	(g-1)		
-Mestizos (M)	(m-i)	M8	$\sigma^2e + r\sigma^2ml + rl\sigma^2m$
-Testigos (T)	(t-1)	M7	$\sigma^2e + r\sigma^2t1 + r1\sigma^2t$
M vs T	1	M6	$\sigma^2e + r\sigma^2m\prime st \times 1 + rl\sigma^2m\prime st$
Gen. x Loc.	(g-1) (l-1)	M5	$\sigma^2e + r\sigma^2gl$
-Mest x Loc	(m-1) (l-1)	M4	$\sigma^2e + r\sigma^2ml$
-Test x Loc	(t-1) (l-1)	M3	$\sigma^2e + r\sigma^2tl$
-M vs T x Loc	1 (l-1)	M2	$\sigma^2e + r\sigma^2m\prime st \times 1$
Error	(r-1) (g-1)1	M1	σ^2e

¹Genotipos= M + T.

Las correlaciones fenotípicas entre los caracteres evaluados en el análisis combinado, se estimaron utilizando las fórmulas propuestas por Miller *et al.* (1958).

Análisis de Componentes Principales

En el análisis de componentes principales (CP) se toman p variables X1, X2, . . . , Xp con el fin de encontrar combinaciones de ellas para producir índices Z1, Z2, . . .

, Z_p , que no están correlacionados. Los pasos en un análisis de componentes principales comprenden:

1. Codificar las variables X_1, X_2, \dots, X_p para obtener media cero y varianza uno.
2. Calcular la matriz de covarianza C . Esta es una matriz de correlación una vez realizado el paso 1.
3. Encontrar los valores eigen $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ y los correspondientes vectores a_1, a_2, \dots, a_p . Los coeficientes del i -ésimo componente principal son dados por a_i mientras que λ_i estima su varianza.
4. Descartar los componentes principales que sólo representan una pequeña proporción de la variación en los datos.

Distancia Generalizada D^2 de Mahalanobis

La formula cuadrática de la distancia de Mahalanobis se describe de la siguiente manera:

$$D^2 = (\mu_i - \mu_j)' V^{-1} (\mu_i - \mu_j)$$

donde:

$$\mu_i = \begin{bmatrix} \mu_{1i} \\ \mu_{2i} \\ \vdots \\ \mu_{pi} \end{bmatrix}$$

Ahora bien, V^{-1} es igual a la matriz de covarianza, que es el estimador conjunto de todas las muestras de las variables; por lo tanto, se supone que hay m muestras, siendo

la i -ésima muestra de tamaño n_i , con una matriz de covarianza C_i , por lo que es apropiado tomar $C = S(n_i - 1) C_i / S(n_i - 1)$ como estimador conjunto de la matriz de covarianza común. Manly (1990) indica que cuando las covarianzas son estimadas con 100 o más grados de libertad, existe alta confiabilidad en las estimaciones obtenidas con el estadístico D^2 de Mahalanobis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza combinados presentaron diferencias significativas en niveles de probabilidad de $P < 0.05$ y $P < 0.01$, entre mestizos, para las características evaluadas en los cuatro grupos de mestizos. Con respecto a la interacción $Loc \times M$, se observaron diferencias ($P < 0.05$ y $P < 0.01$) en las variables REN y MZF debido, principalmente, a que en la localidad de Celaya, Gto. se presentó una mayor incidencia de *Fusarium*. Aunque en Gómez Palacio, Dgo. se tuvieron condiciones de sequía, el comportamiento en REN de mestizos en las poblaciones de madurez intermedia fue similar al de Celaya, Gto. Por otra parte, las poblaciones de madurez tardía presentaron mejor comportamiento en Gómez Palacio, Dgo. Esta cualidad positiva de las tardías en el ambiente de Gómez Palacio, Dgo. podría ser un efecto del mejoramiento a la tolerancia a sequía que se ha efectuado en la Pob. 43 (CIMMYT, 1986).

Al comparar los mestizos con los testigos (M vs T) en la población PA(B) se observó, que en promedio para las dos localidades, los mestizos fueron más precoces ($P < 0.01$) y tuvieron menor APL ($P < 0.05$), aunque presentaron menor rendimiento y

mayor porcentaje de MZF ($P < 0.01$) (Promedios Cuadro 3). Por otra parte, la población PB(A) presentó menor promedio en REM ($P < 0.01$) y mayor porcentaje de MZF ($P < 0.01$) que los testigos. En este experimento, los mestizos no mostraron mayor precocidad que los testigos, pero si presentaron menor APL y ANZ ($P < 0.01$)

Cuadro 3. Medias de mestizos y testigos, y coeficiente de variación del análisis combinado para cada grupo.

	REN (t ha⁻¹)	MZP^a	MZF^d	FMA (días)	FEE (días)	APL (cm)	AMZ
Complejo dentado PA(B)							
Mestizos	7.63	11.2	19.5	69.1	71.1	205.8	113.7
Testigos	13.25	13.0	11.6	70.7	72.7	214.3	120.1
C.V.	20.62	71.9	48.9	3.7	3.6	9.8	14.9
Complejo cristalino PB(A)							
Mestizos	7.71	13.4	19.4	69.9	71.9	209.6	114.8
Testigos	13.27	14.2	11.9	69.7	71.7	229.5	128.8
C.V.	21.41	59.9	52.9	3.5	3.4	9.6	14.9
Complejo dentado P43 (23)							
Mestizos	7.69	14.0	19.6	72.9	74.9	204.8	111.9
Testigos	11.98	18.4	12.4	71.7	73.7	228.8	120.3
C.V.	24.09	63.0	54.9	3.3	3.2	10.2	16.3
Complejo cristalino Pool 23(43)							
Mestizos	7.78	9.0	12.4	73.1	75.1	205.9	104.9
Testigos	11.92	13.5	12.7	70.4	72.4	214.8	111.7
C.V.	19.69	75.6	69.0	3.5	3.4	9.8	16.5

^dDatos con transformación angular.

El contraste M vs T indicó que la población P43(23) presentó menor REM y

APL que los testigos, y presentó mayor porcentaje de MZF. La población Pool 23(43) también presentó menor rendimiento que los testigos, pero presentó mayor sanidad con menor porcentaje de MZP y un valor de MZF similar al de testigos. Aunque los testigos presentaron mayor promedio en REM y menor porcentaje de MZF, algunas poblaciones de mestizos presentaron características sobresalientes, como menor porcentaje de MZP, mayor precocidad y menor APL y ANZ. Las variables MZP y MZF presentaron coeficientes de variación altos en los análisis combinados; por lo general, estas características son afectadas por las condiciones ambientales, y a pesar de la transformación de datos (arco seno) no siempre se consigue forzar hacia la normalidad de los datos.

En las poblaciones PA(B), PB(A), P43(23) y Pool 23(43) la media general (que comprende el promedio de mestizos y testigos) fue superada por 63, 75, 65 y 45 mestizos, respectivamente. En las poblaciones de madurez tardía, se presentaron mestizos que superaron los promedios de los testigos, con un comportamiento muy competitivo en Gómez Palacio, Dgo. En los cuadros 4 y 5 se puede observar que en los cuatro complejos germoplásmicos se cuenta con mestizos que presentan buen comportamiento agronómico para la mayoría de las características evaluadas, lo que permite seleccionar líneas adecuadas para su precombinación y así obtener el material básico con buen rendimiento y adaptabilidad para el siguiente ciclo de selección.

Cuadro 4. Promedios de algunos de los mejores mestizos de los complejos dentado PA(B) y cristalino PB(A), con respecto a rendimiento en el análisis combinado.

Entrada	REN (t ha⁻¹)	MZP^d (%)	MZF^d (%)	FMA (días)	FEE (días)	APL (cm)	AMZ (cm)
Complejo dentado PA(B)							
AN-447 ^t	14.12	8	11	72	74	230	134
48	13.18	0	6	70	72	210	111
AN—EXP1 ^t	12.93	6	1	70	72	213	116
AN—EXP2 ^t	12.70	6	5	71	73	201	112
23	12.52	1	6	70	72	263	149
28	10.78	1	2	68	70	211	98
116	10.76	1	13	67	69	206	116
78	10.69	6	5	70	72	219	121
6	10.20	3	5	68	70	225	120
106	9.98	0	2	68	70	193	105
13	9.95	0	8	69	71	214	118
33	9.82	0	4	70	72	205	114
79	9.79	1	4	67	69	209	108
109	9.65	0	2	67	69	230	125
3	9.44	1	6	68	70	193	99
113	9.40	3	3	68	70	201	109
x General	7.8	5	15	69	71	206	114
Tukey(0.05)	5.2	21.7	39.1	8.3	8.3	65.2	54.7
Complejo cristalino PB(A)							
AN_447 ^t	13.59	9	7	70	72	237	134
AN-EX P1 ^t	13.37	7	4	70	72	227	126
AN- EX P2 ^t	12.45	5	5	70	72	221	126
21	11.24	4	10	69	71	216	118
129	11.16	0	5	69	71	234	135
58	11.06	7	6	71	73	224	121
57	11.05	0	3	70	72	213	121
114	10.99	9	6	69	71	219	133
4	10.94	3	6	68	70	200	108
147	10.81	1	10	69	71	219	113
142	10.56	12	6	67	69	213	108
82	10.37	3	6	69	71	206	109
128	10.28	6	8	68	70	218	109
80	10.07	6	7	71	73	231	129
74	9.99	4	8	72	74	225	123
161	9.77	4	8	71	73	215	124
x General	7.9	7	15	70	72	210	115
Tukey(0.05)	5.45	23.1	40.8	7.9	7.9	65.4	55.5

T Testigos

Cuadro 5. Promedios de algunos de los mejores mestizos de los complejos dentado P43(23) y cristalino Pool 23(43), con respecto a rendimiento en el análisis combinado.

Entrada	REN (t ha ⁻¹)	MZP (%)	MZF (%)	FMA (días)	FEE (días)	APL (cm)	AMZ (cm)
Complejo dentado P43(23)							
86	13.37	7	5	72	74	209	115
AN—EXP1 ^t	13.35	9	8	72	74	228	118
4	12.88	4	2	73	75	215	114
99	12.76	7	5	71	73	199	110
66	12.41	3	3	73	75	230	131
114	11.76	10	9	74	76	208	114
AN-447t	11.73	16	6	72	74	235	123
2	11.63	4	5	71	73	210	106
26	11.45	3	9	74	76	223	126
33	11.25	0	2	72	74	189	104
AN-EXP2 ^t	11.13	7	6	73	75	218	119
45	10.93	6	8	72	74	205	120
25	10.79	6	2	72	74	210	113
63	10.21	4	8	70	72	190	103
× General	7.8	8	16	73	75	206	112
Tukey(0.05)	5.98	26.9	42.6	7.7	7.7	66.8	58.2
Complejo cristalino Pool 23(43)							
AN-447t	12.78	11	13	72	74	228	125
AN-EXP1 ^t	12.42	3	1	70	72	216	115
83	11.98	0	1	73	75	226	104
50	11.63	6	0	72	74	206	100
25	11.45	5	0	73	75	221	103
1	11.03	5	7	71	73	210	108
35	10.88	0	2	72	74	205	108
49	10.82	4	2	74	76	220	115
2	10.71	0	5	70	72	210	115
AN-EXP2 ^t	10.57	7	6	70	72	201	95
73	10.27	2	3	74	76	231	114
37	10.18	4	3	71	73	206	103
100	10.14	1	7	72	74	192	97
48	9.28	5	2	74	76	228	118
12	9.14	6	8	71	73	203	105
107	9.03	4	10	72	74	204	94
34	8.99	3	1	74	76	222	136
98	8.43	0	12	72	74	201	93
× General	7.9	4	7	73	75	206	105
Tukey(0.05)	4.87	17.3	26.2	8.1	8.1	63.2	54.2

T: Testigos

La ganancia genética estimada para rendimiento en el primer ciclo de SRR fue mayor en las poblaciones de Madurez Intermedia ($DG = 1.637 \text{ t ha}^{-1}$) que para las poblaciones de madurez tardía ($DG = 1.146 \text{ t ha}^{-1}$). Menz y Hallauer (1998) reportan una $DG = 1.42 \text{ t ha}^{-1}$ para el programa de SRR iniciado con las poblaciones BS28 y BS29, el cual se sitúa como valor intermedio a los observados en este trabajo.

Correlaciones Fenotípicas

En las dos poblaciones de madurez intermedia se observaron valores calculados similares (Cuadro 6). De los niveles más significativos, destaca la correlación positiva entre FMA y FFE, APL y ANZ, y MZF con MZP, mientras que la variable REN presentó una alta correlación negativa con MZF. En las poblaciones de madurez tardía, P43(23) y Pool 23'(43), (Cuadro 7) también se presentaron valores altos de correlación fenotípica entre las mismas variables. Con excepción al caso de la población Pool 23(43), donde REN presentó valores más reducidos de correlación negativa con MZP ($r = -0.18$) y MZF ($r = -0.37^{**}$). Esta población obtuvo los promedios más bajos de MZP y MZF de las cuatro poblaciones de mestizos. Por otra, parte la presencia de correlaciones negativas obtenidas entre REN con MZP, MZF, FMA y FFE, tanto en los complejos dentados como cristalinos, es una condición que pudiera favorecer la selección ya que al elegir los mestizos más rendidores, indirectamente se seleccionan materiales más precoces y con menor porcentaje de MZP y MZF.

Cuadro 6. Correlaciones fenotípicas para la población PA(B) y PB(A), arriba y abajo de la diagonal, respectivamente.

	REN	MZP	MZF	FMA	FEE	APL	AMZ
REN		-0.31**	-0.65**	-0.24*	-0.24*	0.25*	0.08
MZP	-0.35**		0.38**	0.11	0.12	-0.01	0.06
MZF	-0.71**	0.40**		0.20*	0.20*	-0.19	-0.09
FMA	-0.25*	0.22*	0.15		1.00**	-0.14	-0.04
FEE	-0.25*	0.22*	0.14	1.00**		-0.13	-0.03
APL	0.25*	-0.01	-0.11	0.04	0.04		0.72**
AMZ	0.21*	-0.02	-0.12	0.13	0.13	0.70**	

*Diferencias al 5%; ** Diferencias al 1%.

Cuadro 7. Correlaciones fenotípicas para la población P43(23) y Pool23(43), arriba y abajo de la diagonal, respectivamente.

	REN	MZP	MZF	FMA	FEE	APL	AMZ
REN		-0.37**	-0.69**	-0.41**	-0.41**	0.33**	0.18
MZP	-0.18		0.38**	0.17	0.17	-0.05	0.04
MZF	-0.37**	0.19		0.26**	0.25**	-0.22*	-0.05
FMA	-0.37**	0.15	0.01		1.00**	-0.02	0.16
FEE	-0.37**	0.14	0.01	1.00**		-0.01	0.17
APL	0.32**	-0.01	-0.32**	0.13	0.13		0.70**
AMZ	0.12	0.08	-0.21*	0.15	0.15	0.72**	

*Diferencias al 5%; ** Diferencias al 1%.

Las correlaciones fenotípicas entre REN y APL fueron positivas y significativas en las cuatro poblaciones de mestizos; en promedio, la altura de planta de las poblaciones

fue más baja que la de los testigos. En el programa de mejoramiento de maíz del CIMMYT (1986) la reducción en la altura de planta, lejos de perjudicar otras características convenientes, mejoró la capacidad de la población de responder a densidades mayores de plantas, lo cual indica que la reducción en este carácter puede influir positivamente en cuanto a resistencia al estrés calórico.

Análisis de Componentes Principales

A través del análisis de CP se observó que las variables FMA, FEE, y REN presentaron una mayor influencia sobre el CP1 en las cuatro poblaciones de mestizos (Cuadros 8 y 9), teniendo siempre una relación opuesta, es decir que los mestizos con alto rendimiento tienden a ser más precoces (REN se correlacionó negativamente con FMA y FEE). El CP2 separó a los mestizos con respecto a APL y AMZ las cuales presentaron un comportamiento opuesto a MZF, indicando que existen mestizos con altos promedios de APL y ANZ, que presentaron bajos porcentajes de MZF (MZF se correlacionó negativamente con APL y ANZ). Las variables MZP y MZF son las que tuvieron mayor influencia en el CP3 en las cuatro poblaciones de mestizos y presentaron un comportamiento opuesto a REM, FMA y FEE; es decir que de acuerdo al porcentaje de variabilidad explicado por este componente, existen mestizos con alto rendimiento y tardíos que presentan bajos porcentajes de MZP y MZF; la relación negativa de REM con MZP y MZF también se detectó en la estimación de las correlaciones fenotípicas (Cuadros 6 y 7)

Cuadro 8. Elementos del vector propio asociados a los primeros tres componentes principales de los mestizos de madurez intermedia.

Característica Agronómica	CP1		CP2		CP3	
	PA(B)	PB(A)	PA(B)	PB(A)	PA(B)	PB(A)
REN	-0.428	0.469	-0.022	-0.244	-0.403	0.263
MZP	0.247	-0.358	-0.147	0.029	0.463	-0.356
MZF	0.413	-0.424	0.010	0.210	0.465	-0.459
FMA	0.477	-0.474	-0.300	-0.358	-0.423	0.374
FEE	0.476	-0.471	-0.307	-0.358	-0.419	0.381
APL	-0.302	0.134	-0.602	-0.546	0.141	-0.427
AMZ	-0.198	0.088	-0.657	-0.584	0.178	-0.356
Valor propio	2.567	2.544	1.640	1.937	1.477	1.253
Var. explicada	36.671	36.348	23.431	27.671	21.099	17.897
Var. acumulada	36.671	36.348	60.101	64.019	81.200	81.916

Cuadro 9. Elementos del vector propio asociados a los primeros tres componentes principales de los mestizos de madurez tardía.

Característica agronómica	CP1		CP2		CP3	
	P43(23)	P23(43)	P43(23)	P23(43)	P43(23)	P23(43)
REN	-0.494	0.352	0.186	0.388	-0.198	-0.111
MZP	0.292	-0.185	-0.031	-0.100	0.556	0.733
MZF	0.421	-0.078	-0.157	-0.432	0.419	0.425
FMA	0.475	-0.631	0.322	0.022	-0.385	-0.226
FEE	0.476	-0.628	0.330	0.019	-0.376	-0.237
APL	-0.197	-0.118	0.578	0.605	0.308	0.205
AMZ	-0.047	-0.171	0.626	0.535	0.303	0.346
Valor propio	2.711	2.299	1.875	2.073	1.194	1.100
Var. explicada	38.728	32.847	26.788	29.616	17.051	15.709
Var. acumulada	38.728	32.847	65.516	62.463	82.567	78.172

La ordenación de los mestizos de acuerdo al CP1 y CP2 (mestizos considerados en los Cuadros 4 y 5) facilita que los patrones de variabilidad dentro de un gran conjunto de datos puedan ser más fácilmente comprendidos. En la Figura 1 se observa que el CP1 separó a los mestizos de la población PA(B) en dos grandes grupos, ubicando a los de mayor precocidad y rendimiento en el extremo superior izquierdo (-,+) del CP1 (28, 106, 79, 3, 113), y los de menor rendimiento y más tardíos en el extremo inferior opuesto (+,-). El CP2 separó a los mestizos de acuerdo a la altura de planta y de mazorca ubicando a los de menor altura (106, 3, 113) en la parte superior (-,+) del CP2 y a los de mayor altura (23, 48, 109) en la parte inferior (-,-). Con respecto a los mestizos de la población P3(A) se observó un comportamiento similar al complejo dentado excepto

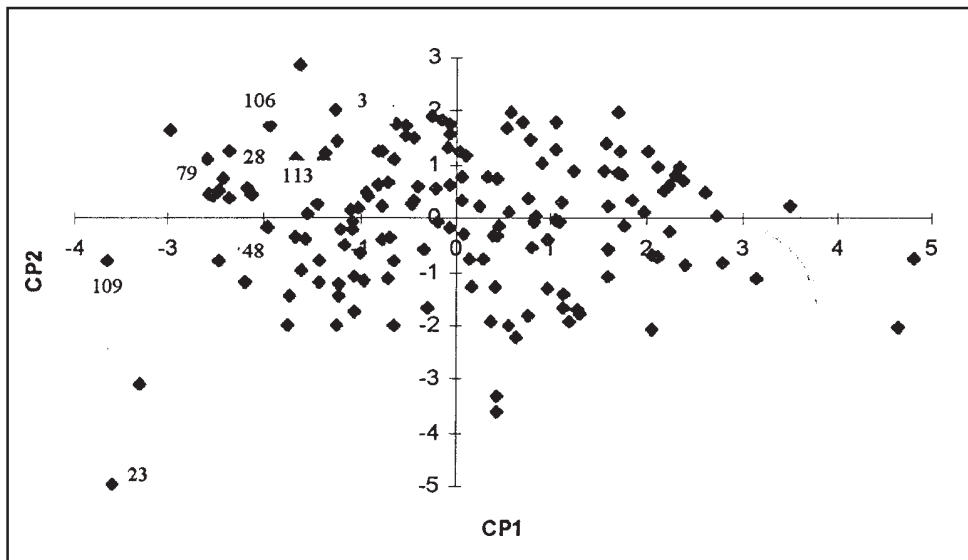


Figura 1. Distribución de los 154 mestizos del complejo dentado PA(B), sobre el primer (CP1) y segundo (CP2) componente principal.

que los mestizos de mayor precocidad y rendimiento (4, 142, 82, 128), se ubican en el extremo superior derecho (+,+) del CP1 (Figura 2) y los de menor rendimiento y más tardíos (80, 74, 161) en el extremo inferior derecho (+,-).

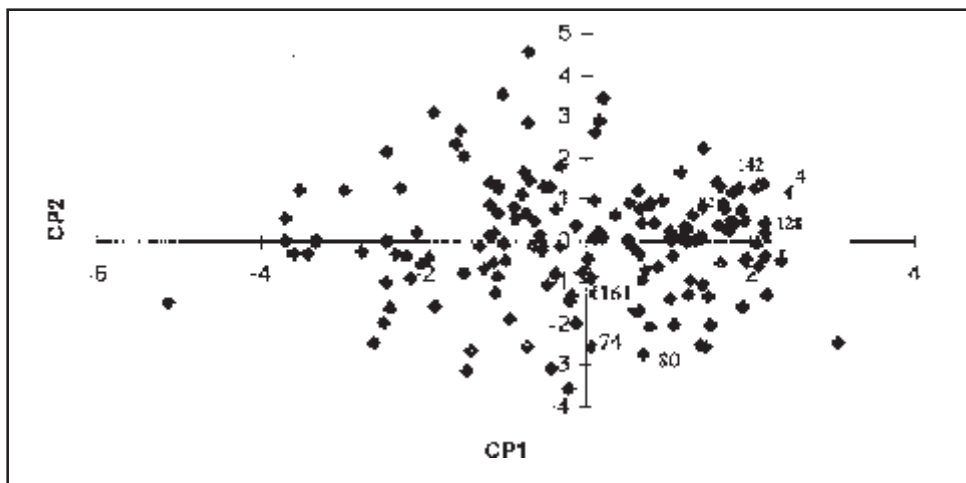


Figura 2. Distribución de los 164 mestizos del complejo cristalino PB(A), sobre el primer (CP1) y segundo (CP2) componente principal.

Con respecto a la distribución de los 135 mestizos de la población P43(23) se observa que los mestizos 86, 4, 66 y 114, que poseen alto rendimiento y mayor altura de planta y de mazorca, se sitúan en el cuadrante superior izquierdo (-,+). El cuadrante inferior izquierdo (-,-) contiene aquellos mestizos de alto rendimiento, menor altura de planta y de mazorca como son los mestizos 99, 33 y 63 (Figura 3). Por otra parte, la distribución de los 113 mestizos de la población Pool23(43) se presenta en la Figura 4. En el cuadrante superior izquierdo (-,+), se sitúan los mestizos 49, 73, 48 y 34, que son

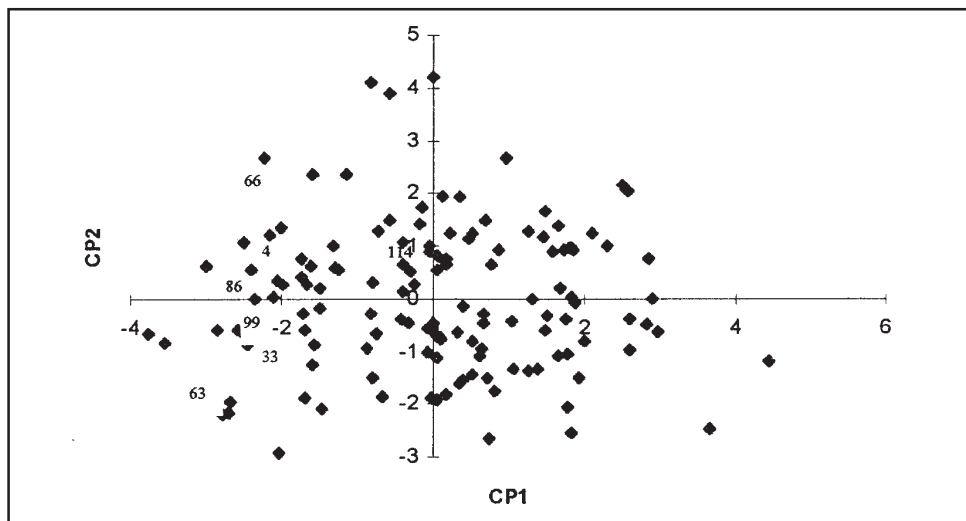


Figura 3. Distribución de los 135 mestizos del complejo dentado P43(23), sobre el primer (CP1) y segundo (CP2) componente principal.

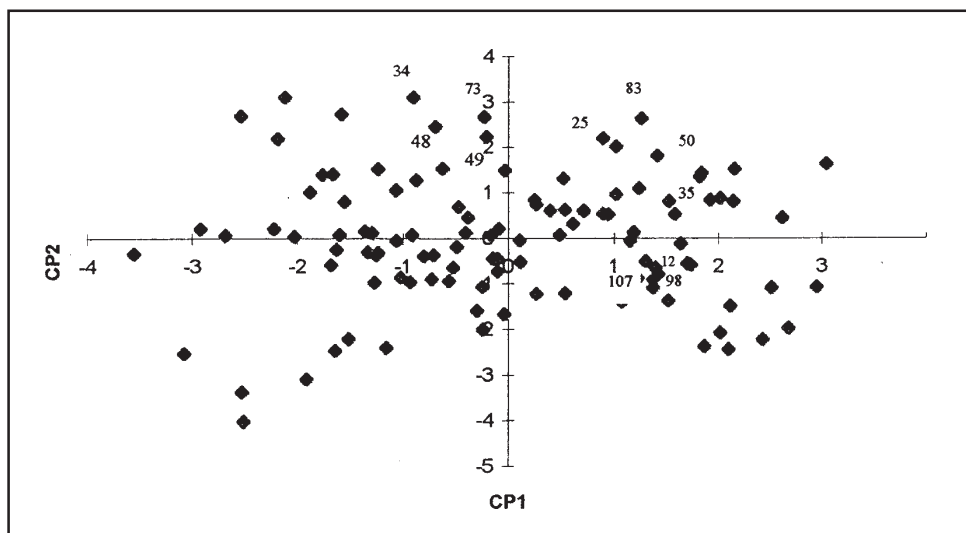


Figura 4. Distribución de los 113 mestizos del complejo cristalino Pool23(43), sobre el primer (CP1) y segundo (CP2) componente principal.

más tardíos y de mayor altura de planta y mazorca. Los mestizos 83, 50, 25 y 35 que presentan alto rendimiento y bajo porcentaje de mazorcas con *Fusarium* se localizan en el cuadrante superior derecho (+, +). Los mestizos con alta precocidad y menor altura de planta y mazorca, pero con alto porcentaje de mazorcas con *Fusarium* se sitúan en el cuadrante inferior derecho (+, -) y comprenden las entradas 12, 107, y 98. Como puede apreciarse, el análisis de componentes principales fue eficiente para ubicar los diferentes grupos de mestizos conforme a las características evaluadas en cada experimento, lo que permite seleccionar mestizos que presentan características agronómicas deseables.

Distancia Genética

La distancia calculada por la D^2 de Mahalanobis entre las 4 poblaciones permite señalar un rango de valores de D^2 de 0.670 a 10.670 (Cuadro 10), y que las poblaciones PA(B) y PB(A) fueron las de menor divergencia con distancia $D^2 = 0.670$. La mayor divergencia se dió entre las poblaciones PA(B) y Pool 23(43) con un valor de $D^2 = 10.670$, seguida de las poblaciones PB(A) y Pool 23(43) donde $D^2 = 8.389$.

Cuadro 10. Distancia D^2 de Mahalanobis entre las cuatro poblaciones de mestizos.

	Población		
	PA(B)	PB(A)	P43(23)
Pool23(43)			
PA(B)		0.670	6.930
PB(A)			4.221
P43(23)			3.380
Pool 23(43)			

El método encadenamiento completo (Gutiérrez, 1994) del análisis de conglomerados se utilizó para construir el fenograma representado en la Figura 5. Los resultados indican que la asociación entre las poblaciones se inicia a valores $D^2=0.670$ formando tres grupos [PA(B), PB(A)], [P43(23)] y [Pool 23(43)]. Al nivel $D^2=3.380$ se forman dos grupos [PA(B), PB(A)] y [P43(23), Pool23(43)], y finalmente al nivel $D^2= 10.670$ se formó un solo grupo [PA(B), PB(A), P43(23), POO123(43)]. El nivel de divergencia estimado entre las poblaciones de madurez tardía fue mayor que el estimado entre las poblaciones de madurez intermedia, por lo que se espera presenten mayor heterosis. Las poblaciones de madurez tardía, presentaron mestizos que superaron en rendimiento a varios de los testigos y el promedio de los 10 mestizos con alto rendimiento

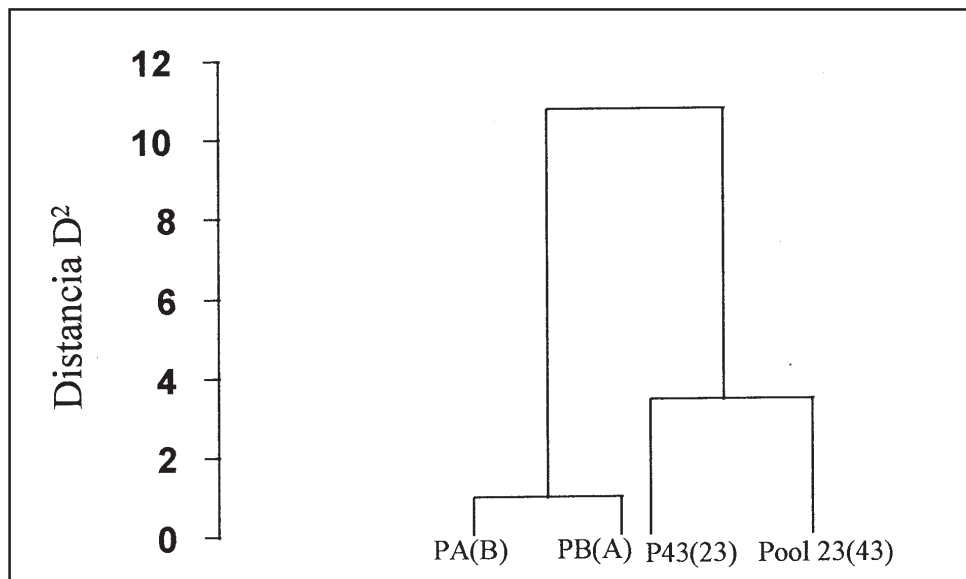


Figura 5. Fenograma que sitúa la divergencia entre las cuatro poblaciones de mestizos utilizando el estadístico D^2 .

comprendieron el 98.7 y 91.4% del rendimiento promedio de los testigos, mientras que las poblaciones de Madurez Intermedia comprendieron el 81.2 y 83.0% (poblaciones dentada y cristalina, respectivamente). Entre las poblaciones PA(B) (complejo dentado) y Pool 23(43) (complejo cristalino) se detectó la mayor divergencia, estas poblaciones pueden ser consideradas en la obtención de híbridos con alto rendimiento. Cortez *et al.* (1985) señalan que la práctica de considerar tipo de grano, como criterio de clasificación de poblaciones heteróticas, proporciona buenos resultados, obteniendo la mejor respuesta heterótica en la cruce de cristalino por dentado. En el caso de las poblaciones P(A) y Pool23, también se aprovecharía el patrón heterótico de madurez intermedia por tardío, ya que los materiales divergentes, dan las mejores respuestas heteróticas, y mejoran la eficiencia en la creación de híbridos. Finalmente, se señala con respecto a la formación de híbridos, que los que se desarrollan a partir de poblaciones mejoradas, producen rendimientos más altos. Por lo tanto, este esquema de SRR debe ser continuado por más ciclos, antes de iniciar la selección de líneas.

CONCLUSIONES

El primer ciclo de SRR redituó en avance genético estimado para rendimiento y fue 43 % más alto para las poblaciones de madurez intermedia.

El análisis de componentes principales permitió ubicar grupos de mestizos con características sobresalientes, con alto rendimiento y resistencia a enfermedades.

El estadístico D^2 de Mahalanobis permitió clarificar la relación entre las poblaciones y detectó divergencia genética entre las poblaciones originales (poblaciones de madurez

tardía) con las poblaciones que incluyen parte de su germoplasma (poblaciones de madurez intermedia). La notable distancia entre las poblaciones P(A) y Pool 23, ciclo intermedio y tardío, respectivamente, es un indicador útil para probar el patrón heterótico en cuanto a madurez de ciclos vegetativos.

LITERATURA CITADA

- CIMMYT Personal de Maíz. 1986: Mejoramiento de la excelencia: Logros en el mejoramiento con la raza Tuxpeño. CIMMYT, México, D.F. México. 27 pp.
- Comstock. R.E.; H.F. Robinson; P.H. Harvey. 1949. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Agron. J.* 41:360—367.
- Cortez, H.; A. Rodríguez; M. Gutiérrez; J. Durón; R. Girón; M. Oyervides .1985. Evaluation of broad-base improved populations of maize (*Zea mays* L.) I. Cumulative gene effects and heterosis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 43p.
- Gutiérrez, G.P. 1994. Análisis Estadístico Multivariado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México. 92 pp.
- Manly, B.F.J. 1990. *Multivariate Statistical Methods a Primer*. Chapman and Hall. London. 159 pp.
- Martin, J.M.; A.R. Hallauer. 1980. Seven cycles of reciprocal recurrent selection in BSSS and BSCB1 maize populations. *Crop Sci.* 20:599-603.
- Menz, M.A.; A.R. Hallauer. 1998. Reciprocal recurrent selection of two tropical corn popu-

lations adapted to Iowa. Literature Update on Maize. 4:25.

Miller, P.A., J.C. Williams, H.F. Robinson, and R.E. Comstock. 1958 Estimates of genetic and environmental variances and covariances in upland cotton and their implications in selection. Agron. J. 50:126—131.

**VALIDACIÓN DEL MODELO EPIC, PARA SIMULAR LA
MEDICIÓN DE RASGOS AGRONÓMICOS EN EL CULTIVO DE
MAÍZ BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD EN
EL SUELO**

Orlando Segundo Téllez Obregón
Raúl Rodríguez García
Diana Jasso Cantú
Edmundo Peña Cervantes

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

RESUMEN

Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar la capacidad del modelo de simulación EPIC propuesto por Williams *et al.* (1984), para predecir índice de área foliar, la acumulación de materia seca y nitrógeno, el rendimiento de grano en el cultivo de maíz bajo tres condiciones de humedad de suelo o tratamientos. Los resultados de simulación indicaron que el modelo simuló adecuadamente el índice de área foliar y la acumulación de materia seca, las desviaciones entre valores observados y simulados en su mayoría se encontraron dentro de un rango $\pm 15\%$. En el caso de la acumulación de nitrógeno, el 50 % de las observaciones tuvieron desviaciones fuera del rango $\pm 20\%$. El modelo subestimó el rendimiento de grano en un rango del 35 al 50 % .

Palabras clave: Simulación, *Zea mays* L., maíz, riego, niveles de humedad, materia seca, rendimiento de grano, nitrógeno en la planta.

ABSTRACT

Validation of the EPIC model, to simulate the measuring of some agronomic traits in maize under different conditions of soil moisture. This assay was performed in order to evaluate the prediction capacity of the EPIC model proposed by Williams *et al.* (1984) to predict leaf area index, dry matter and nitrogen accumulation and grain yield of maize under three different soil moisture conditions or treatments. The simulation results indicated

that the model simulated correctly the leaf area index, and the dry matter accumulation deviations among the observed and the simulated values were found in a range of $\pm 15\%$. As to the nitrogen accumulation and grain yield the deviations were out of the rank $\pm 20\%$ for nitrogen. For grain yield the model underestimated the yield in a rank between 35 to 50%.

Key words: Simulation, *Zea mays* L., maize, irrigation, moisture levels, dry matter, grain yield and plant nitrogen.

INTRODUCCIÓN

El maíz es un cultivo importante dado que constituye la base de a dieta para gran parte de la población humana, la cual lo consume en forma directa. En forma indirecta los productos y subproductos del maíz, son utilizados por la población urbana y rural, para el consumo humano, animal, transformación industrial y otros.

En los países en vías de desarrollo, en donde existe gran urgencia por aumentar la capacidad de producción del cultivo de maíz en forma sustentable, y en donde a la vez suele haber recursos limitantes para la persecución de investigación agrícola, existe un gran potencial para el uso beneficioso de las tecnologías de simulación agrícola. Dado que existen simuladores para este cultivo, y que la adaptación del modelo usado requiere tan solo un microcomputador y unas cuantas temporadas de crecimiento para recolectar datos y calibrarlos al ambiente correspondiente.

Generalmente los modelos de simulación se dividen en icónicos, empíricos o correlativos, analógicos y mecanistas o exploratorios; los primeros son una representación física a escala, los segundos describen las relaciones entre cultivo y ambiente sin referirse a un seguimiento biológico o físico que existe entre las variables gobernantes del crecimiento y desarrollo del cultivo, el tercero se basa en la analogía entre los sistemas, en tanto que los mecanistas se basan en conocimientos detallados del funcionamiento del sistema (Whisler *et al.*, 1986).

Objetivo General

Evaluar la capacidad del modelo EPIC para simular razonablemente el índice de área foliar, la acumulación de materia seca y nitrógeno y rendimiento de grano en el cultivo de maíz, bajo diferentes calendarios de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

Esta investigación se llevó a cabo en terrenos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, municipio de Saltillo, Coah. y cuyas coordenadas geográficas son 25° 21' 20" de latitud norte y 101° 01' 30" de longitud oeste y a una altitud msnm de 1743 m.

Material Genético

El material genético utilizado fue el híbrido AN-447, cuyas características agronómicas principales son: altura de planta 2.8 m, altura de mazorca 1.3 m, floración masculina de 75 a 80 días, de 140 a 150 días a madurez fisiológica, el color de la hoja es verde claro, la forma de la mazorca es cilíndrica y el tipo de grano es blanco, semidentado.

Tratamientos Evaluados

El estudio consistió en evaluar tres condiciones de humedad de suelo, con la finalidad de someter a la planta a diferentes grados de estrés hídrico durante su ciclo vegetativo, para así evaluar el índice de área foliar, la acumulación de materia seca y nitrógeno en la parte aérea de la planta, y rendimiento de grano. Estos tratamientos fueron:

Tratamiento 1. Tratamientos EIM-RE F (evapotranspiración máxima del cultivo-referencia), en el cual el cultivo se desarrolló bajo condición de menor déficit hídrico en el suelo, con la finalidad de satisfacer las necesidades máximas de consumo de agua por la planta, para lo cual se aplicaron 9 riegos durante el desarrollo del cultivo, en el Cuadro 1, se presenta la distribución de los riegos durante el ciclo del cultivo y la cantidad de agua aplicada al momento del riego.

Tratamiento 2. Se aplicaron 6 riegos durante el desarrollo del cultivo, la distribución de riegos durante el ciclo del cultivo y la cantidad aplicada se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Calendario de riegos de auxilio aplicados a los tratamientos evaluados.

N° Riegos	DDS	Etapas (Nomenclatura)	Lámina de riego (mm)
Tratamiento 1			
1	17	V5	30.00
2	20	V6	30.00
3	39	V10	32.00
4	58	V14	72.00
5	70	V15	84.50
6	79	VT	43.10
7	91	R1	41.00
8	104	R1	32.00
9	110	R2	20.00
Tratamiento 2			
1	16	V5	20.00
2	20	V6	20
3	46	V12	23
4	59	V14	52.00
5	65	V15	96.70
6	77	VT	34.50
Tratamiento 3			
1	16	V5	20
2	35	V8	20.00
3	59	V14	70.00
4	72	V15	80.50

Tratamiento 3. Se aplicaron 4 riegos durante el ciclo del cultivo, la distribución de riegos y cantidad de agua aportada se presenta en el Cuadro 1.

A los tres tratamientos se les aplicó un riego con lámina igual de 13 cm antes de

la siembra. Se aplicaron riegos durante el desarrollo del cultivo, 5 riegos en la etapa vegetativa, 4 riegos en el período comprendido en el estado VT (floración), se aplicaron 4 riegos distribuidos en las etapas vegetativas.

Manejo del cultivo

El día 16 de junio se efectuó el aclareo de plantas, dejando 6 plantas por metro lineal para una población de 70, 200 p1/ha.

La labor de apoque se efectuó el día 3 de julio, cuando el cultivo se encontraba en la etapa de 11 hojas (V11), previo a la labor se realizó la segunda incorporación de fertilizante con la dosis 100-0-40, como fuente el sulfato de amonio (20.5-0-0) y el sulfato de potasio (0-0-50).

Medición de la humedad

Se determinaron las constantes de humedad del suelo capacidad de campo y punto de marchitez permanente por estrato mediante el método de las ollas de presión.

Para la medición del contenido de humedad del suelo, se utilizó el método del aspersor de neutrones (Troxler-4300).

Anteriormente se realizó la calibración del aparato, para esto se instalaron dos tubos de aluminio, enterrándose a una profundidad de 120 cm, en una superficie de 1 m² por tubo, uno de los tubos se encontraba en condiciones de capacidad de campo (punto húmedo), el otro tubo se encontraba en punto de marchitez permanente (punto seco). Se tomaron medidas de humedad con el aspersor de neutrones y con el método gravimétrico en

estrato de 20 en 20 cm hasta llegar a los 120 cm, con estos puntos se realizó una regresión lineal para calibrar el aparato, de tal manera que permitió detectar las constantes de capacidad de campo y punto de marchitez permanente para el suelo del área experimental. Se obtuvieron dos ecuaciones, una donde representa al primer estrato (0 - 20 cm) y la otra ecuación representa a los demás estratos (20-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-120 cm).

Control de Riegos

Los riegos se aplicaron una vez que se presentaron las condiciones de humedad permitidas para los tratamientos, los estratos de 0-20 cm hasta llegar a 120 cm se utilizaron como indicador de riego. Para determinar la lámina de riego a aplicar, se utilizó la siguiente ecuación:

donde:

L_r = es la lámina de riego por aplicar (cm)

l = número de estratos (6 de 0 a 120 cm)

CC_i = contenido de humedad en el por ciento volumen a capacidad de campo en el estrato i

Hr_i = Contenido de humedad en por ciento volumen en el momento de muestreo en el estrato i

P_i = Profundidad del estrato i (20 cm)

Los riegos se efectuaron por aspersión; cada parcela contaba con 4 aspersores colocados en las esquinas de la parcela, y regaban sectorialmente en un ángulo de 90° , el alcance de cada aspersor era de 10 m. Se colocaron pluviómetros en el interior de la parcela para llevar un mejor control de la cantidad de agua aportada por los aspersores.

Variables para validar el modelo

Las variables del cultivo para validar el modelo fueron: índice de área foliar, acumulación de materia seca, y nitrógeno en la parte aérea y rendimiento de grano, el procedimiento para determinar cada una de las variables es el siguiente: del día 21 DDS hasta el día 158, se realizaron 12 muestreos de plantas a un intervalo promedio de 11 días. En cada muestreo se colectaron 6 plantas por tratamiento y se identificó la etapa de desarrollo, del cultivo (número de hojas y aparición de otros órganos).

Las plantas fueron llevadas al laboratorio donde se separaron las hojas, se midió el área de cada hoja en un integrador automático marca Denko, modelo AAM-7. Una vez conocida el área foliar por planta, se sumó el de las 6 plantas y se dividió entre 0.85 m^2 , que es el área ocupada por ellas en el campo, el resultado representa el índice de área foliar (IAF) del cultivo.

Posteriormente, a la medición del área foliar, las plantas completas se introdujeron a la estufa a una temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 48 horas, para luego pesarlas y obtener el peso seco o contenido de materia seca por planta.

Una vez que se obtuvo la materia seca, se molieron las muestras y se procedió a determinar el contenido de nitrógeno en por ciento, por el método de Kjeldhal.

Para evaluar el rendimiento de grano, de las parcelas se recolectaron separadamente las mazorcas en una superficie de 2 m^2 , representando cada área una superficie de (5). Posteriormente se desgranó 1 mazorca, se pesó el grano, se le determinó el contenido de humedad y se corrigió el peso, a un contenido de humedad en el grano de 14%.

Entradas de Datos al modelo

EPIC simula una gran cantidad de números de diferentes fenómenos, pero como un resultado requiere un gran número de entradas de datos del cultivo y datos de suelos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Simulación

Índice de área foliar simulado

En cuanto al Índice de área foliar para las tres condiciones, la tendencia de los valores simulados y observados que se presentan en la Figura 2, la magnitud de las desviaciones superiores a 20 % , son para valores menores de IAF, que corresponden al inicio del cultivo, para valores observados y simulados que se encuentran dentro de un rango de ± 15 %, y en su mayoría no sobrepasan el 20 % , al final del ciclo las desviaciones entre el IAF simulado y observado fue de un ± 10.74 % para el Tratamiento 1, de un ± 14.93 % y ± 3.44 % para los Tratamientos 2 y 3 respectivamente

Cabelguenne *et al.* (1986) citan que una desviación de ± 15 %, es el limite de la variabilidad corriente en experimentación agrícola, y que este rango de desviación, debe ser considerado como un límite confiable de simulación.

Es importante señalar que durante el desarrollo del experimento se presentaron tres granizadas, que afectaron a las plantas, provocando el rasgamiento de las hojas, y por lo tanto al crecimiento de las plantas, y dificultó la medición del área foliar en las hojas

rasgadas. La primera granizada ocurrió a los 28 DDS, esta podría ser una de las causas que motivaron que al inicio del cultivo, se presentaron las mayores desviaciones en por ciento, aunque, en valor absoluto no sean muy representativas por el tamaño de la planta. Tomando en cuenta lo anterior se puede considerar que el modelo simuló convenientemente el IAF, hasta los 130 DDS.

La Figura 1 también muestra que en los valores observados de IAF, la duración

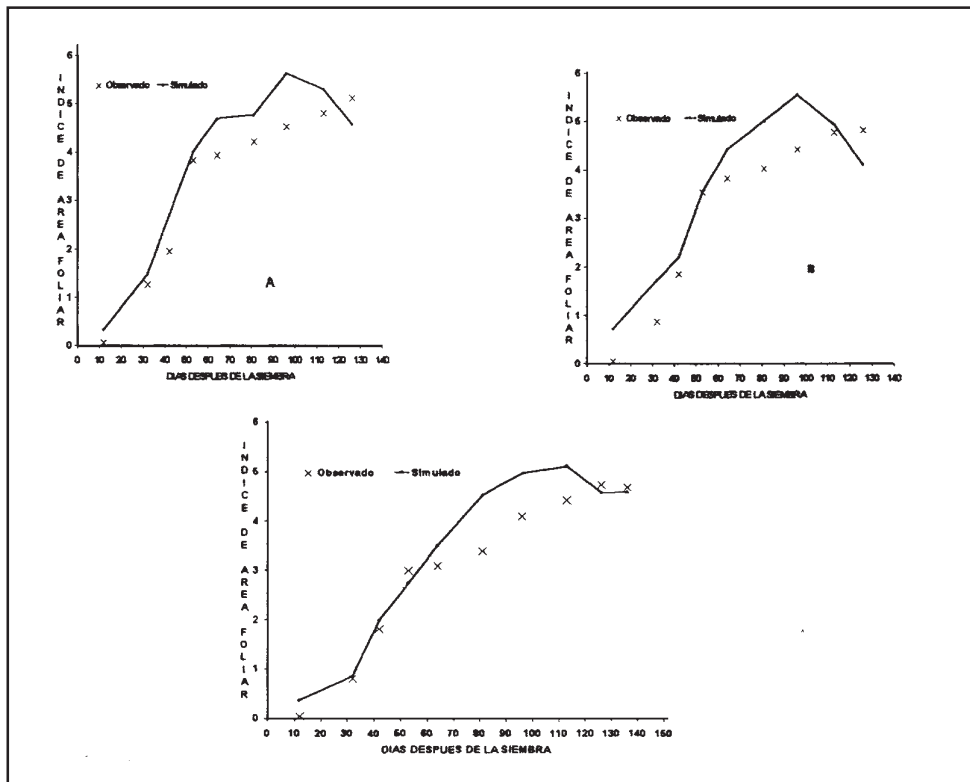


Figura 1. Índice de área foliar observado y simulado, en las tres condiciones de humedad de suelo, ETM-RE (A), T2 (B) y T3 (C), durante el desarrollo del cultivo.

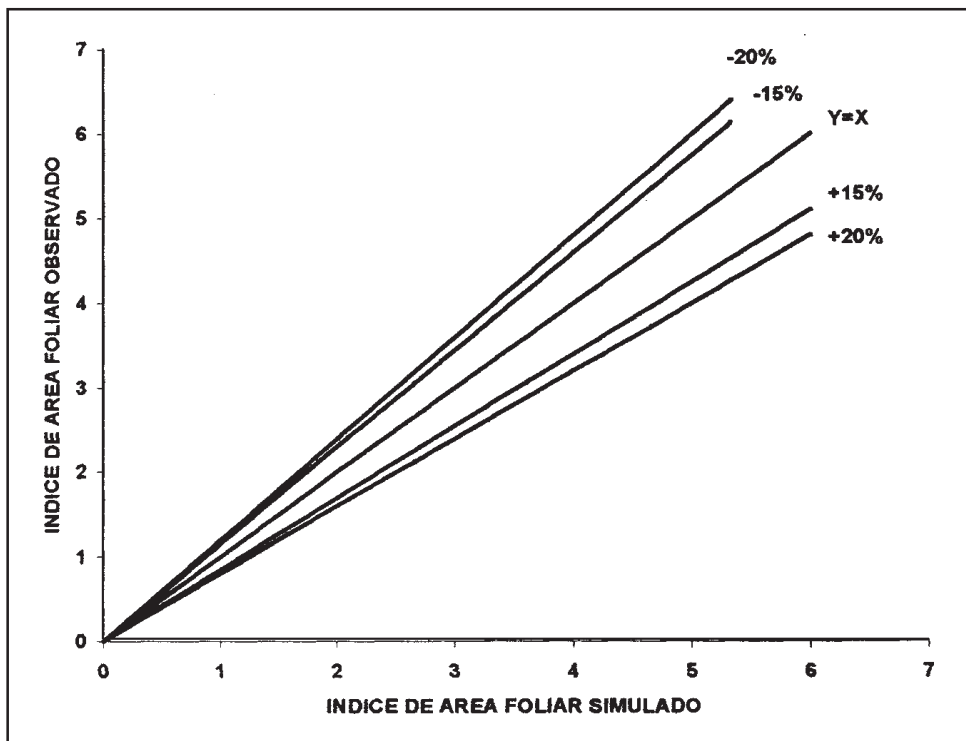


Figura 2. Capacidad de predicción del modelo en la variable índice de área foliar, en las tres condiciones de humedad evaluada, durante el desarrollo del cultivo.

de la superficie foliar fue mayor, por que hasta los 130 DDS, se denota que el cultivo mantiene un nivel alto de índice de área foliar; mientras que para los valores simulados, el decremento del IAF comienza alrededor de los 100 DDS.

El inicio del decremento del IAF en el modelo, está determinado por un parámetro denominado DLAI que, en el caso de la simulación, subestima el inicio de cuando el cultivo

comienza a declinar el índice de área foliar. Lo anterior nos indica que para trabajos futuros, se considere obtener los valores para esta variedad de los parámetros que definen la tasa de variación de IAF durante el desarrollo del cultivo, como es el caso del DLAI, y que en este trabajo no se efectuaron, debido a que el área foliar del cultivo fue afectada por las granizadas.

Materia seca simulada

De acuerdo a los supuestos del modelo, y tomando en cuenta que la simulación permite reproducir la esencia de un sistema, pero no el sistema en si, los resultados que se presentan a continuación tratan de simular las condiciones reales de campo, reflejadas en parámetros y variables de respuesta, que son aproximaciones a la realidad, pero que difícilmente serán idénticos a la naturaleza.

En la Figura 4., se presentan las tendencias de la materia seca, tanto simuladas como observadas, en las tres condiciones de humedad de suelo, ETM-REF, 12 y T3 (A, B, y C, respectivamente).

Con la información de las variables observadas en el campo (índice de área foliar, materia seca, acumulación de nitrógeno en la planta), se procedió a compararlas con los valores simulados del modelo EPIC. La comparación se realizó para las tres condiciones de humedad de suelo (definidas por el número de riegos y las precipitaciones pluviales que se presentaron durante el ciclo del cultivo).

Para la materia seca, en la condición EIM-REF, la predicción del modelo sobreestima ligeramente los valores en el período de 88 a 120 días, esta situación no fue similar para las otras dos condiciones, en las cuales el ajuste del modelo fue mas preciso. En términos generales se puede decir que el modelo hace una buena simulación de la materia

seca a través del tiempo, en las diferentes condiciones del estudio, puesto que los valores observados tienen las mismas tendencia que los simulados, tal como se observa en la Figura 3.

Los valores máximos del peso seco observados en el campo en las condiciones ETM-RE, T2 y 13, fueron de 19, 17 y 15 ton/ha, los cuales muestran que el estrés hídrico a que fueron sometidos los Tratamientos 2 y 3 en las etapas de floración y formación del grano, influyeron en el rendimiento de materia seca y de grano, siendo el efecto del estrés hídrico mas acentuado en el tratamiento 3, que estuvo bajo condiciones más críticas

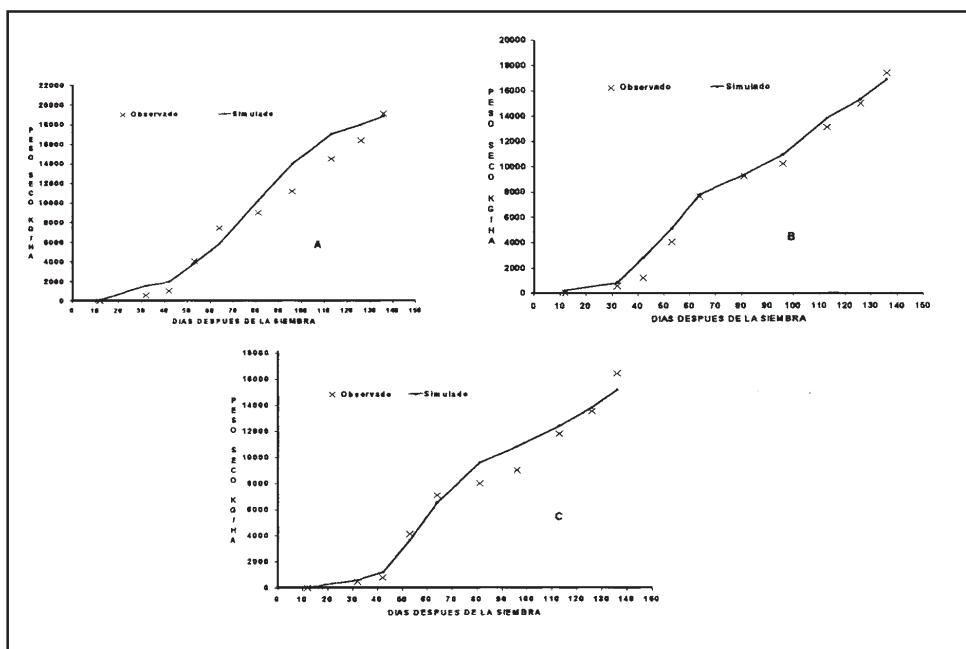


Figura 3, Acumulación de materia seca observada y simulada , en las tres condiciones de humedad de suelo, ETM-REF (A), 12 (B) y 13 (C), durante el desarrollo del cultivo.

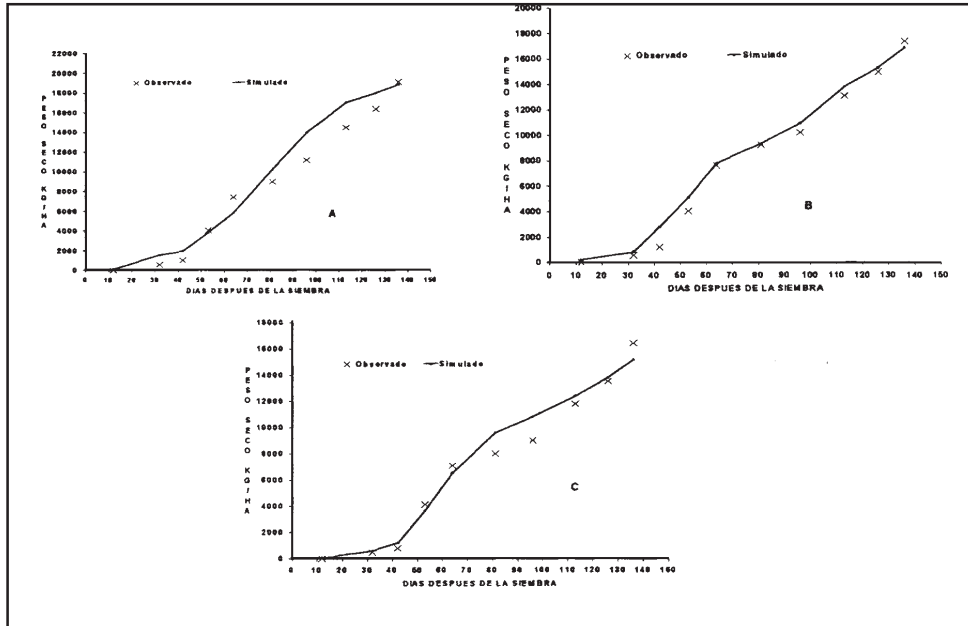


Figura 4. Capacidad de predicción del modelo en las tres condiciones de humedad de suelo evaluado, ETM-REF (A), T2 (B) y T3 (C), durante el desarrollo del cultivo.

de déficit de agua en el suelo. Respectivamente dichos valores son similares a los valores máximos que simuló el modelo. Los valores máximos de peso seco, en las tres condiciones, no son tan diferentes como se pudo haber esperado de acuerdo a los números de riegos, ya que las precipitaciones influyeron al no detectar diferencias más marcadas. Los valores altos de materia seca observados en el campo, se debieron principalmente a que el material de maíz sembrado presentó un buen vigor, elevada altura de planta (3.20 m en promedio) y un considerable número de hojas por planta (22 hojas por plantas aproximadamente).

Simulación de nitrógeno

La Figura 5 presenta los valores de nitrógeno acumulado y simulado, en función del tiempo. La cual denota que para los tres tratamientos los valores simulados se desvían fuertemente de los observados, en la Figura 6 se observan desviaciones entre las dos variables superiores a un $\pm 20\%$ en 50% de los datos.

Este resultado no puede ser atribuible únicamente al modelo que tiene baja

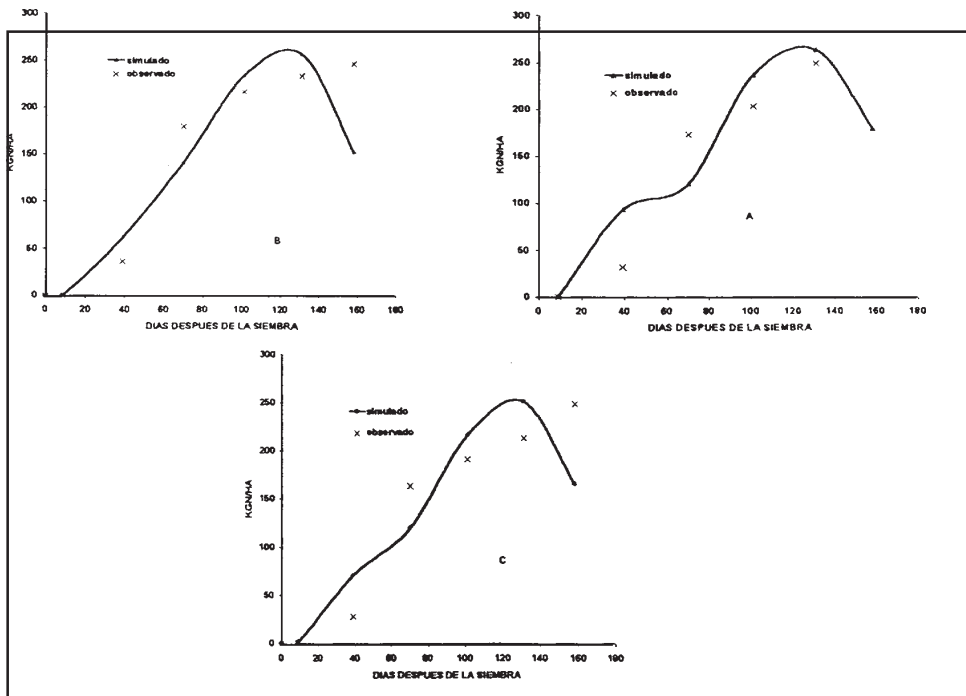


Figura 5. Acumulación de nitrógeno simulado y observado de los tratamientos ETM-REF (A), tratamiento 2 (B) y tratamiento 3 (C), durante el desarrollo del cultivo.

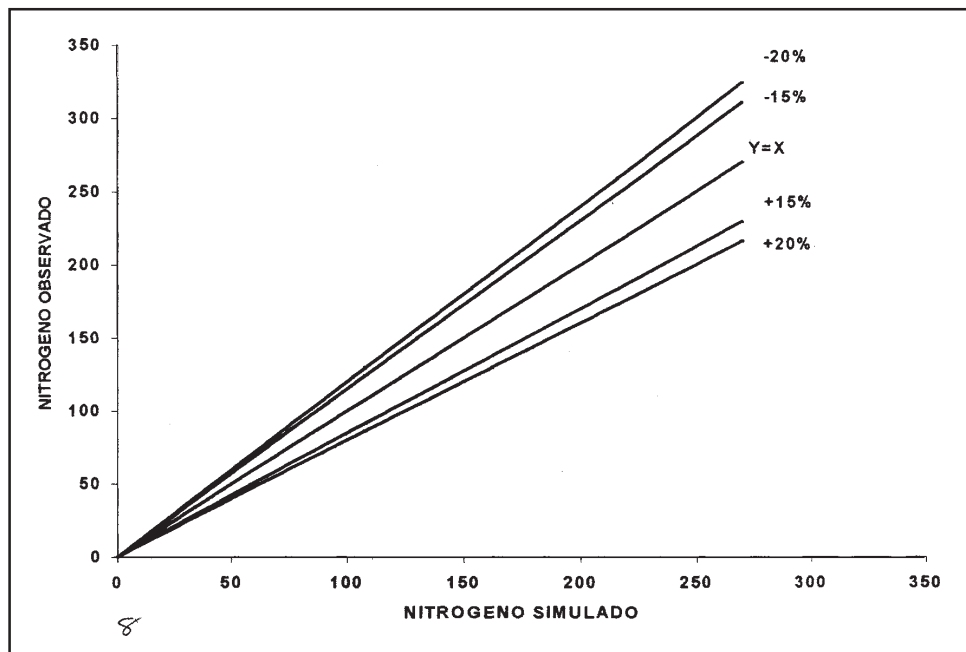


Figura 6. Capacidad de predicción del modelo en las tres condiciones de humedad de suelo evaluada, ETM-REF (A), T2 (B) y 13 (C), durante el desarrollo del cultivo.

capacidad de predecir en contenido de nitrógeno, es importante considerar que el nitrógeno es un parámetro que no es fácil de evaluar cuantitativamente en el campo, y en la planta por la variabilidad existente, requiriéndose para estudios futuros llevar un mejor control del contenido de nitrógeno en el suelo y del aportado por otras fuentes.

Rendimiento de Grano simulado y observado

En el Cuadro 2 Se presentan los valores de rendimiento de grano observado y simulado y las desviaciones

Cuadro 2. Rendimiento de grano observado y simulado en kg/ha y la desviación entre ellos en kg/ha y en por ciento del valor observado.

Tratamiento	R. observado	R. simulado	
Desviaciones	kg/ha	kg/ha	kg/ha
%			
1	10554	6502.3	-4051.7
-38.3			
2	9612	6227.3	3384.7
-35.2			
3	8740	4284.0	4456.0
-50.9			

Los resultados muestran que el modelo subestima el rendimiento en un 38.3; 35.2 y 50.9 % para los Tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente, siendo la desviación elevada, indicando con esto, que el modelo no simuló convenientemente el rendimiento.

Como se citó anteriormente, el rendimiento al momento de la cosecha es calculado en base a un índice de cosecha (IC), multiplicado por la materia seca total en ese momento.

Consideramos que el comportamiento de la variable índice de área foliar, fue una de las causales, para que el modelo simulara el rendimiento de grano inferior al observado, siendo necesario en trabajo futuros determinar para esta variedad los parámetros que definen la tasa de variación del índice de área foliar (DLAI, DLAP y RLAP) para que el modelo simule convenientemente el rendimiento de grano.

CONCLUSIONES

- El modelo EPIC simuló correctamente el índice de área foliar en parte del desarrollo del cultivo, así como la acumulación de materia seca, las desviaciones entre valores simulados y observados en su mayoría se encuentran en un rango de ± 15 %.
- El modelo no simula convenientemente la acumulación del nitrógeno, desviaciones fuera del rango ± 15 % son detectadas en el 50 % de las observaciones. Siendo difícil separar las faltas del modelo, de aquellas proporcionadas por los datos con que se alimenta éste, así como posibles errores de muestreo en los datos observados se considera que, para mejorar el grado de precisión es necesario perfeccionar los procedimientos de muestreos para esta variable.
- El modelo subestima el rendimiento de grano en un 38.3 % , 35.2 % y 50.9 % para los Tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente. Como se citó en el caso anterior es difícil separar los errores del modelo de aquellos ocasionados por los datos con que se alimenta el modelo. Pero en este caso hemos detectado que una de las posibles causas que influyen en que el modelo subestime el rendimiento, es debido a que el IAF, al final del ciclo del cultivo subestime la acumulación de materia seca y el índice de cosecha, ya que el IAF determina estas dos variables. Correcciones en las variables que definen la tasa del IAF en el tiempo como son DLAI, DLAP y RLAD son necesarias efectuar a un futuro.
- Muchos procesos quedan por cumplir en el caso de la simulación de maíz, tanto en la adquisición de conocimientos como en la simulación. La respuesta del cultivo a

diferentes condiciones de manejo y ambiente son poco comprendidas, ofreciendo grandes perspectivas para la simulación como una herramienta de simulación que permita comprender el comportamiento de la planta bajo diferentes situaciones.

LITERATURA CITADA

- Cabelguenne M., Charpentreau J.L. Jones C.A., Marty J.R. Rellier J.P. 1986. Conduite des systemes de grande culture et prevision des rendements: tentative de modelization. II. Etalonnage du modele: resultats et perspectives.-C.R. Acade. Agric. Fr. 72, p. 125-1 32
- Whisler, F. D. Acock, D.N Baker, R. E. Fye, H.F. Hodges, J. R. Lambert, H.E. Lemmon, J. M. Mckinion and V.R Reddy. 1986. Crop Simulation models in agronomic systems. Adv. Agron. 40: 141-208
- Williams, J.R., C. A., Jones and T. Dyke 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil product. Trans. Of the ASAE 129-1 44.

COMPACTACIÓN DEL SUELO Y NOGAL PECANERO

(*CARYA ILLINOENSIS* KOCH)

Guillermo González Cervantes¹

Rubén López Cervantes²

Javier Silveira Medina²

Ángel Lagarda Murrieta³

1. CENID - RASPA - INIFAP

2. Departamento de Suelos. UAAAN

3. INIFAP Zona Norte-Cent

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la compactación o resistencia a la penetración del suelo en una huerta de nogal pecanero, con un manejo del suelo constante, por 40 años. Se seleccionó la descripción de las características morfológicas, realizada en tres pozos para detectar las capas compactas y su comportamiento en el subsuelo. Además se realizó la medición numérica de estas capas con el penetrómetro estático y su relación con la densidad aparente y la infiltración del agua en el suelo, y el efecto que causan a la raíz del árbol. En general, se delimitaron dos capas compactas en diferentes profundidades, que ocasionan medios ambientes diferentes en perjuicio del crecimiento y desarrollo radical y la flora microbiana del suelo.

Palabras clave: Penetrómetro, compactación, resistencia a la penetración

ABSTRACT

Soil Compaction in the orchard pecan (*Carya illinoensis* Koch). The objective of this assay was to evaluate the soil compaction or the resistance to the penetration, in a pecan orchard with a constant soil management for 40 years. The description of the morphology feature was made in three holes to identify the compact layers and their behavior in the subsoil. Besides the numerical measurement of this layers with the static penetrometer and their relation with the apparent density, and the water infiltration in the soil, and the origin of and effect on the tree's roots was performed. Generally speaking, two compact layers were

delimited at different depths that cause dissimilar surroundings in detriment of radical development and of the soil's microbial flora.

Key words: Penetrometer, compression, resistance to penetration

INTRODUCCIÓN

El estudio de la compactación del suelo empezó con un incremento significativo, como una agricultura más mecanizada en el año de 1950, en ese tiempo se consideró como un fenómeno complejo por la relación causa-efecto al aplicar una carga o presión sobre la masa del suelo. En los años 70, fue considerada como un problema, y en los 80, se reconoció la necesidad de distinguir el papel de la compactación como un indicador de probables cambios en las propiedades físicas del suelo (Schafer *et al.*, 1992) en las huertas de nogal pecanero. En el ámbito nacional, se estima que el 80 % de los suelos de México se encuentran afectados por diferentes grados de erosión y compactación inducida; y la causa principal de esta degradación física, es el manejo incorrecto al que ha estado sujeto el recurso suelo (Fregoso *et al.*, 1991). De esta manera su importancia resalta para evitar el deterioro físico del suelo, y mejorar la producción de la almendra.

Por estas razones se realizó esta investigación con los siguientes objetivos:

- 1) Determinar los valores máximos de la compactación o resistencia a la penetración existentes en el suelo, con un manejo constante durante 40 años.
- 2) Evaluar la compactación en función a la densidad aparente y velocidad de infiltración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Área de Estudio

El presente proyecto se realizó en una pequeña propiedad de nombre, Tierra Blanca, Mpio. de Matamoros, Coah. Geográficamente se localiza entre las coordenadas 25°25'15" de latitud norte, y 103°19'17" de longitud oeste del meridiano de Greenwich; con una altitud media de 1355 msnm, con una temperatura máxima anual de 28.2°C, y una mínima anual 11.9°C; con un fotoperíodo promedio anual 12.00 h; una insolación promedio de 8.63 h y una precipitación pluvial de 237.4 mm (Villa, 1992).

Metodología

Para evaluar la compactación o resistencia a la penetración del suelo, se estudió una huerta de nogal pecanero, de 50 años de edad aproximadamente, con 2 250 árboles en producción; en el trayecto de este tiempo se incrementó la superficie de plantación, y tráfico de maquinaria agrícola, vehículos de carga utilizados para el manejo superficial del suelo, cultivo y cosecha.

Al evaluar las condiciones, se optó por la utilización de un muestro descriptivo a nivel detallado del suelo, con el apoyo de sondeos (barrenajes) y pozosdafológicos, con la finalidad de conocer las condiciones internas del mismo, fluctuación, espesor y cantidad de horizontes o capas compactadas, material mineral presente, y cuantificar raicillas menores de 6 mm de diámetro.

Además, se muestrearon 9 sitios, formando una cuadrícula equidistante entre sitios; esta cuadrícula, equivale en superficie, a una hectárea de terreno, es importante mencionar, que un sitio de muestreo, equivale a un árbol, y para cada árbol se realizaron muestreos a tres diferentes distancias (1, 2 y 3 m) alejados del tallo del árbol, hasta una profundidad de 60 cm, para cada distancia. Los muestreos fueron: compactación o resistencia a la penetración del suelo con el penetrómetro estático; densidad aparente con el extractor de núcleos de volumen conocido; la infiltración del agua con el método del doble cilindro.

Se obtuvieron muestras de suelo de los pozos edafológicos, para su análisis físico y químico en laboratorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos aquí muestreados tienen una topografía plana, menor a 2 % de pendiente, fisiográficamente localizados en el Valle de la Laguna, son suelos profundos mayores de 2 m, debido al constante acarreo y depositación de partículas minerales por transporte hídrico y eólico a través del tiempo.

El tipo de estructura encontrada en estos suelos, es laminar definida, con una consistencia en seco muy dura y en húmedo muy friable, causada por las prácticas intensivas de laboreo (rastra), bajos contenidos de materia orgánica (1.6 - 0.11 %), compuestos químicos del suelo (CO_3 , Ca^{++} , Mg^{++}) y franjas de partículas minerales de limo, coincidiendo con lo reportado por Tavera (1988). Con referencia a la textura (Figura 1)

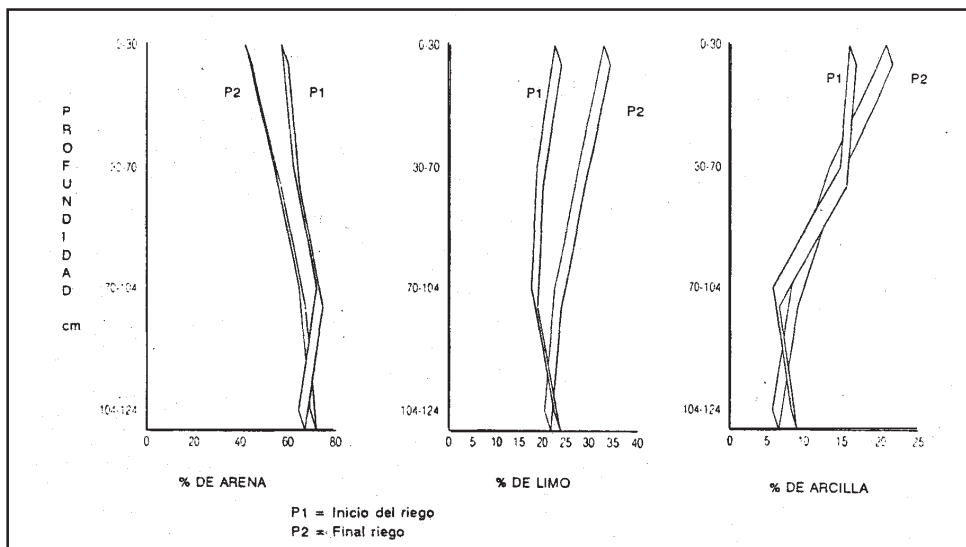


Figura 1. Comportamiento de las partículas minerales (arena, limo, arcilla) del suelo en función de la profundidad.

del suelo y partículas minerales (arena, limo, arcilla), se encontró que el por ciento de arena se incrementó de 44 a un 72 % y la arcilla disminuyó de 21.4 a 6.6 %, en una profundidad de 0-124 cm el limo permanece estable 34-22 % a lo largo del perfil, predominando un tipo de textura arenosa a suelo ligero, que por regla general, este tipo de suelos presentan baja retención de humedad y una elevada permeabilidad; sin embargo, en la zona de mayor cantidad de limo (34 %) localizada al final del riego, la permeabilidad es baja, y la velocidad de difusión de oxígeno, se reduce, debido a la lenta infiltración y encharcamiento del agua en esta zona, de acuerdo a lo reportado por Gavande (1979) y Castellanos (1985). La textura es una característica física importante para pronosticar la infiltración, el drenaje, manejo de las técnicas de labranza, que es el principal factor de la degradación física y compactación inducida. En común acuerdo con Fregoso *et al*. (1991).

En la profundidad de 25-40 cm, y 95-120 cm, se localizaron dos franjas de acumulación y depositación de partículas de limo, con un espesor de 10-15 cm, consecuencia de los procesos de formación del suelo (Figura 2), además, el peso constante de maquinaria agrícola sobre el suelo, origina un acomodo de estas partículas, principalmente en la zona de 25-45 cm de profundidad; esto reduce la porosidad, incrementando la densidad aparente y resistencia en la penetración.

La densidad aparente varía con respecto a la profundidad del suelo (Figura 3), y los valores máximos reportados son: 1.594 gr/cc a una profundidad de 21-31 cm, y 1.596 gr/cc a una profundidad de 106-120 cm, estos valores indican alteraciones en la velocidad de infiltración, transporte y difusión de oxígeno y área de exploración de la raíz;

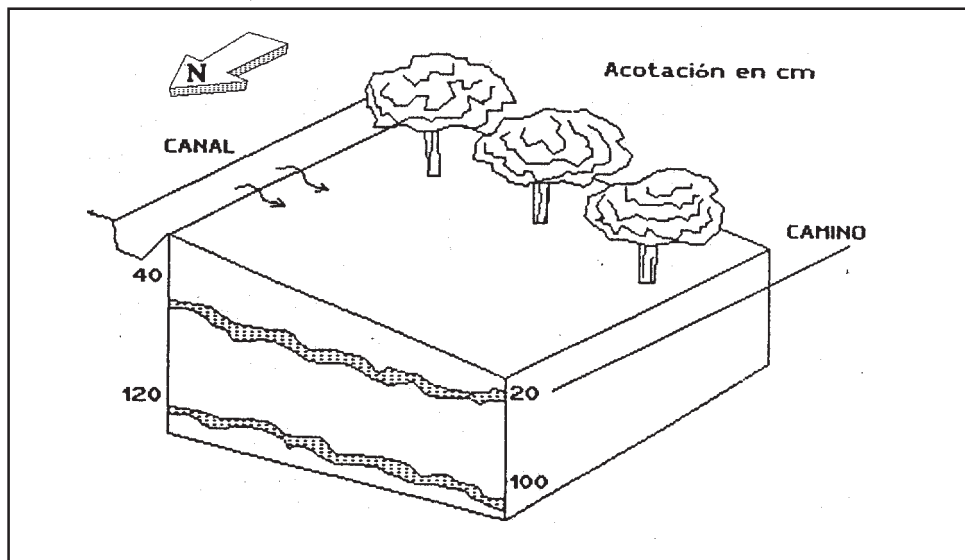


Figura 2. Fluctuación de las franjas de limo en el suelo por procesos de formación.

además, estos valores son muy cercanos a los reportados por Forysthe (1975), de 1.7 gr/cc que son limitantes para el crecimiento de raíz en este tipo de suelo.

Con un valor mínimo de porosidad total de 39.9 y 39.7 %, respectivamente (Figura 3), que se interpretan como una zona de transición, e indica áreas con deficiencia de aireación del suelo. Después de aplicado el riego, existe un encharcamiento de agua que

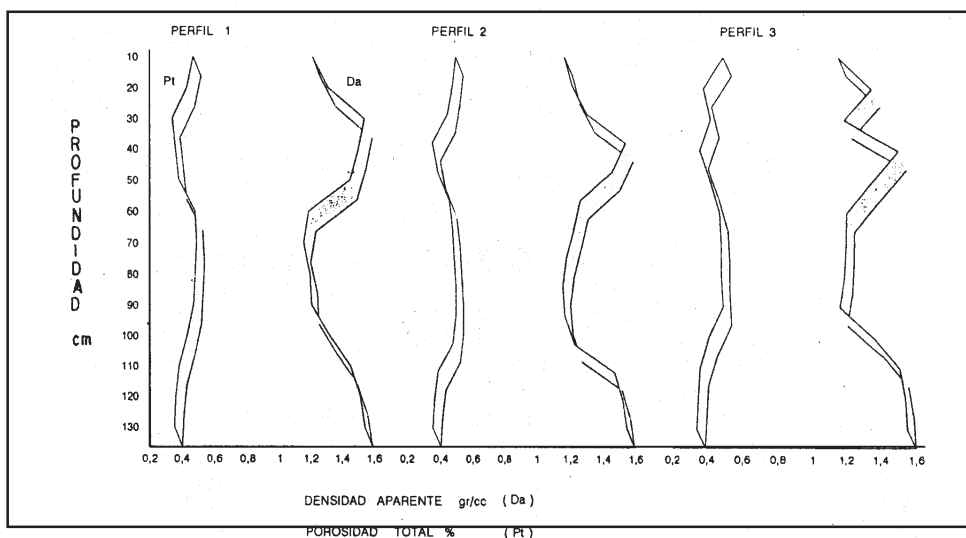


Figura 3. Relación de la densidad aparente y porosidad total encontrada en los 3 pozos muestreados.

provoca un aporte deficiente de oxígeno, que limita el desarrollo de las plantas y calidad del fruto, de acuerdo con Chapman (1993). Porque del 100 % de producción de nuez de la huerta (90-130 ton/50 ha) el 50 % es de buena calidad y el resto se comercializa

como segunda, más otro factor de manejo que intervenga.

La compactación o resistencia a la penetración (Figura 4), donde se pueden observar dos valores máximos; el primero de 14.5 kg/cm^2 , a una profundidad de 20-40 cm, comúnmente llamado piso de arado, consecuencia de los procesos evolutivos, y de 15.5 kg/cm^2 a una profundidad de 95 - 120 cm, explicado por la formación de un

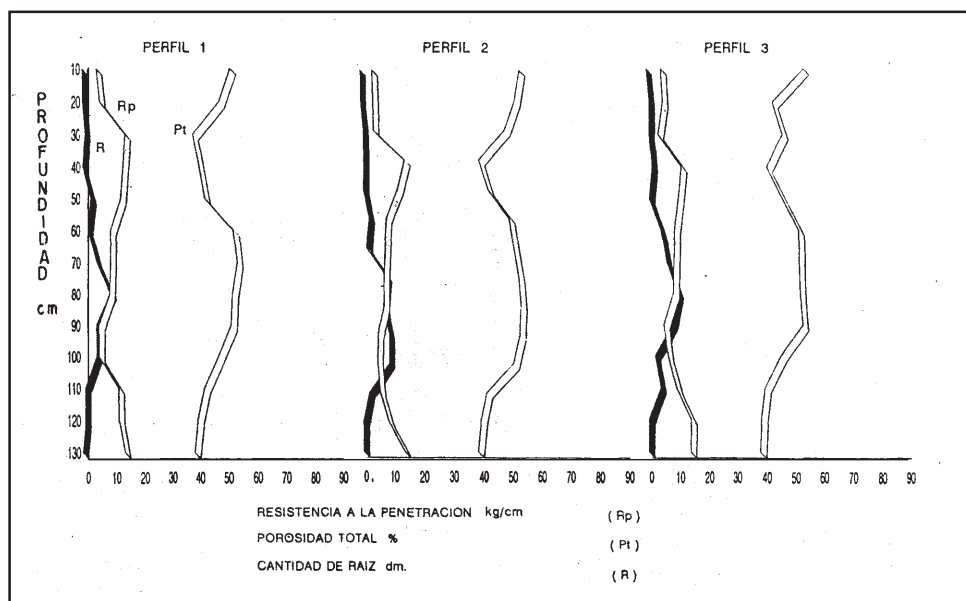


Figure 4. Resistencia a la penetración del suelo, porosidad total y cantidad de raíz de nogal en función de la profundidad del suelo.

duripan o fragipan, debido a los procesos de formación *in situ* del suelo. Estos valores son muy cercanos a los reportados por Grime *et al.* (1982), de 16.3 kg/cm^2 que fueron suficientes para disminuir la raíz en un 50 %, de $18-20 \text{ kg/cm}^2$ considerados limitantes en

el crecimiento de raíz en el cultivo del manzano.

Esto indica que la cantidad de raíz (Figura 4) presente en el suelo, está en función de la resistencia a la penetración o compactación, densidad aparente y porosidad total del suelo, debido a la formación de ambientes diferentes donde se presentan y coinciden los valores máximos de estas características y se reduce la cantidad de raíz presente en el suelo. Estos procesos y alteraciones físicos, independientemente de su origen evolutivo a de su formación, además de otros procesos químicos, biológicos y fisiológicos, influyen en forma negativa en el transporte de agua, difusión de gases y limitan el espacio de exploración radical y por consecuencia, la raíz sufre de estrés lo que origina un debilitamiento en el crecimiento y desarrollo radical, lo cual la hace más susceptible al ataque de enfermedades y plagas del suelo.

CONCLUSIONES

La utilización del penetrómetro estático, como herramienta principal en la detección de capas compactas presentes en el suelo, es una metodología de uso rápido y práctico, además la resistencia a la penetración del suelo, es una determinación más simple para expresar los efectos sobre la condición a desarrollo radical e indicador de la densidad aparente, e infiltración del agua existente en el suelo, por la relación estrecha y directa que existe entre ellos.

Se localizaron dos capas compactadas en dos profundidades, 25-40 cm, esta área de compactación se mueve hacia la superficie del suelo en la zona de mayor operación

de labranza y en dirección a la pendiente del riego. Los bajos contenidos de materia orgánica y el tráfico de maquinaria destruyen la estructura del suelo, generando un hábitat deficiente para el desarrollo y crecimiento de la raíz.

En la profundidad de 100-120 cm se localiza la segunda capa compacta y es consecuencia de los procesos de formación del suelo (*in situ*) y particularmente denominada fragipan a duripan.

Es posible reducir y corregir el incremento de la resistencia a la penetración, densidad aparente y mejorar la porosidad total del suelo, provocado por la labranza. Con la incorporación de abonos orgánicos, se generarán cambios sustanciales a largo plazo en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y la realización de prácticas mecánicas (subsolea), es posible romper la capa compacta y favorecer la infiltración y difusión de gases, lo cual se acentúa en 2.5 m distantes del árbol y una profundidad de 20-30 cm.

LITERATURA CITADA

Castellanos, R. J. 1985. El medio ambiente físico del suelo y su modificación mediante la aplicación de materia orgánica. Serie Temas Didácticos. SOMCS. Publicación Num. 2 30 p.

Chapman D. Storey B. y Sistrunk L. 1~93. Aireación del suelo y labores de la labranza mínima en huertas nogaleras, XII Conferencias Internacionales sobre el cultivo del nogal. San Carlos Guaymas Sonora, - México.

Forysthe W. 1975. Física de suelos. Instituto, Interamericano de ciencias agrícolas. Manual

de laboratorio. San José Costa Rica. 84-91 pp.

Fregoso T., Tovar J, Lutkova K. y Mendoza O. E. 1991. Eficiencia energética y agronómica de sistemas de labranza, su relación con el agua edáfica y respuesta del maíz bajo dos técnicas de captación de agua. SOMCS. XXIV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Pachuca Hidalgo, México. 33 p.

Gavande S.A. 1979. Física de suelos. Principios aplicaciones. Ed. Limusa. México. 208-210 p.

Grime D. W., Wiley L.P and A. B. Carlton. 1982. Plum Root growth in a variable. strengthfield soil. Amer. Soc. Hunt. Sci 107(6): 990—992 p.

Tavera G. G. 1988. Consistencia y estructura del suelo. Serie temas didácticos. SOMCS. Publicación Num. 10. 3-10 p.

Schafer, R.L., C. E. Johnson, A. J. Koolen, S.C. Gupta, R. Horn. (1992). Future Research Needs in Soil Compaction. Power and Machinery Div. of ASAE 35 (6) 1761-1768.

Villa C., M. 1992. Aplicación de la información climática en la producción agrícola. Memorias UAAAN-UL. Torreón, Coahuila. México. 153-157 p.

**RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA DE ALFALFA
BAJO DIFERENTES NIVELES DE FERTILIZACIÓN Y
DENSIDADES DE SIEMBRA**

Moisés Béjar Hinojosa
Antonio Valdez Oyervides
Rommel de la Garza Garza
Regino Morones Reza

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

RESUMEN

Se realizó una investigación con el propósito de determinar el efecto de la densidad de siembra y la fertilización fosfatada y potásica, sobre el rendimiento y calidad de semilla de alfalfa, así como también, evaluar el comportamiento de los componentes del rendimiento en la variedad INIA-76. Para el factor densidad de siembra, se manejaron los niveles 1, 3, 5 y 7 kg de semilla/ha; para el fósforo 0, 90, 180 y 270 kg de P₂O₅/ha y para potasio 0, 30, 60 y 90 kg de K₂O/ha. Los tratamientos fueron seleccionados con base a una Matriz Plan Puebla I para tres factores, obteniéndose 14 combinaciones, a las cuales se adicionó un testigo absoluto. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con seis repeticiones. Se evaluaron 10 componentes de rendimiento, una variable de calidad física y tres variables de calidad fisiológica. El Tratamiento 1-90-30 presentó las medias más altas para todos los componentes de rendimiento, y produjo la mayor cantidad de semilla (405 kg/ha), en una sola cosecha. Los componentes que mostraron una correlación significativa con el rendimiento fueron: tallos con racimos por planta, racimos por planta, vainas por planta y semillas por planta; siendo el número de tallos con racimos por planta, el que presentó el mayor efecto directo sobre el rendimiento. La mejor calidad física de la semilla evaluada mediante el peso de 1000 semillas, fue obtenida por los Tratamientos 3-90-30, 3-90-60 y 3-180-30, con medias de 2.11, 2.12 y 2.15 g, respectivamente. En cuanto a la calidad fisiológica, todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales en su capacidad de germinación, pero en cuanto al vigor, evaluado en primer conteo y por clasificación de plántulas, los Tratamientos 3-90-60, 3-180-30, 3-180-60, 5-90-60 y 1-90-30, resultaron ser superiores a los demás. Los coeficientes de correlación

mostraron que no existe correlación significativa ($P < 0.05$), entre el rendimiento y la calidad física y fisiológica de la semilla. La densidad de siembra, fue el factor que afectó más significativamente, tanto a al rendimiento como a sus componentes; mientras que el fósforo y el potasio, afectaron principalmente la calidad de la semilla. En el análisis económico el Tratamiento 1-90-30 fue el mejor.

Palabras clave: Alfalfa, *Medicago sativa* L., rendimiento y componentes, calidad de semilla, densidad de siembra, fósforo, potasio.

ABSTRACT

Yield and quality of alfalfa seed under different levels of fertilization and seeding rates. A research work was carried out in order to determine the effects of the seeding rate, and phosphorus and potassium fertilizers on the yield and quality of alfalfa seed, as well as to evaluate their effect on yield components with cv. INIA-76. Seeding rate was assessed at four levels (1, 3, 5 and 7 kg/ha); and phosphorus and potassium were at 0, 90, 180 and 270 kg P₂O₅/ha and 0, 30, 60 and 90 kg K₂O/ha, respectively. Treatments were selected using a Plan Puebla I matriz for three factors, obtaining fourteen combinations; in addition a control witness was included. A random block experimental design with six replications was used. Ten yield components were evaluated; one variable of physical quality and three of physiological seed quality. The treatment 1-90-30 showed the highest values in all the yield components and as a result it had the highest seed yield (405 kg/ha)

in a single harvest. The components that showed a significant correlation with the yield were: stems with racemes per plant, racemes per plant, pods per plant, and seeds per plant; and the variable stems with racemes per plant had the highest direct effect on the yield. Treatments 3-90-30, 3-90-60 and 3-180-30 resulted in the highest physical seed quality values (2.11, 2.12 and 2.15 g, respectively) for the 1000-seed weight test. In relation to physiological seed quality there were no significant differences for the treatments. On germination capacity; nevertheless, the treatments 3-90-60, 3-180-30, 3-180-60, 5-90-60 and 1-90-30, showed the highest values on the vigor test. There was no significant correlation between seed yield and the physical and physiological seed quality ($P < 0.05$). Seeding rate affected more significantly the yield components and the seed yield; and phosphorus and potassium affected mainly the seed quality. The highest economic rate was obtained with the treatment 1-90-30.

Key words: Alfalfa, *Medicago sativa* L. yield and its components, seed quality, seeding rate, phosphorus, potassium.

INTRODUCCIÓN

La alfalfa es el cultivo forrajero por excelencia en México, tanto por sus altos volúmenes de producción, como por su gran calidad nutritiva. Sin embargo, actualmente más del 90 % de la semilla necesaria para establecer nuevas áreas, o renovar las ya existentes (285000 ha), se importa, ocasionando por consecuencia una gran fuga de divisas y además

estos materiales no responden tan favorablemente bajo nuestras condiciones ecológicas, debido a que fueron generados para resolver una problemática muy particular de otros lugares.

Resulta importante señalar que en México, existen áreas con enorme potencial para producir semilla de esta leguminosa, más sin embargo, hasta la fecha y por diferentes razones, no se ha establecido un programa integral de producción al respecto.

Dentro de los factores controlables de la producción, que inciden fuertemente sobre el rendimiento de semilla de alfalfa, se encuentran la fertilización y la densidad de siembra; al respecto Hofbauer (1982) y Rodríguez (1996) reportan que la práctica de la fertilización es muy aconsejable, ya que ciertos nutrientes como el fósforo y el potasio, desempeñan importantes funciones en las plantas destinadas a producir semilla. Por su parte Ivanov y Lapa (1982) encontraron que la relación óptima de P:K fue de 2:1, para aplicar en alfalfa para producción de semilla; mientras que Semenou (1976) indica que la aplicación de 120 kg de P₂O₅ más 60 kg de K₂O/ha, incrementaron el rendimiento de semilla en un 29.5 %. En un estudio sobre fertilización con estos nutrientes en alfalfa, Geller (1978) encontró que se incrementaron el número de vainas por planta, el número de semillas por vaina y el peso de 1000 semillas.

En cuanto al efecto de la fertilización sobre la calidad de las semillas, Roberts (1972) y Copeland y McDonald (1985), reportan que en la mayoría de los casos las semillas con deficiencias minerales, desarrollaron pobremente al compararse con las semillas normales, a menos que sean plantadas en un suelo que sea nutricionalmente adecuado y provea los elementos esenciales faltantes.

En lo que respecto a la densidad de siembra, Maslinkov *et al.* (1982) y Kowithayakorn (1982), encontraron que con densidades bajas de siembra se incrementa el ahijamiento, el número de flores y puntos de fructificación por planta, el número de vainas y semillas por vaina, y como consecuencia, el rendimiento de semilla. Por su parte Wynn y Palmer (1974) mencionan que se pueden obtener buenos rendimientos de semilla, manejando densidades de siembra de 0.5 a 2.0 kg/ha, sin aparente ventaja de densidades más altas.

En México, Aguirre (1976) reporta que densidades de 1 kg de semilla/ha permitieron obtener rendimientos de hasta 900 kg/ha. Por su parte, Askarin *et al.* (1996), al evaluar cuatro espaciamientos entre hileras y cuatro densidades de siembra, encontraron que estos factores no tuvieron efecto sobre la calidad de la semilla de alfalfa.

Con base en lo anteriormente expuesto, esta investigación se planteó con el objetivo de determinar el efecto conjunto de la densidad de siembra y la fertilización fosfatada y potásica, sobre el rendimiento y la calidad de la semilla de alfalfa, así como también evaluar en que medida se ven afectados los componentes del rendimiento.

Ho: El rendimiento y calidad de la semilla de alfalfa no se ve afectada por el efecto conjunto de la densidad de siembra y fertilización fosfatada y potásica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se llevó a cabo en el Campo Experimental Bajío, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, cuya ubicación geográfica es 25° 23' de latitud norte y 101° 80' de longitud oeste, con una altitud de 1785 msnm, el clima es

seco templado, con verano cálido, con temperatura media anual de 17.1 °C y precipitación media anual de 345 mm. Los suelos son de textura migajón arcilloso, medianamente ricos en materia orgánica, medianamente pobres en nitrógeno y fósforo, aprovechables y medianos en potasio intercambiable. El pH es de 8.03 (medianamente alcalino).

La fase de análisis de calidad se realizó en el laboratorio de Ensayo de Semillas, perteneciente al Centro de Capacitación y Desarrollo de Tecnología de Semillas de la propia Universidad. Se utilizó semilla de la variedad INIA-76 con un 80 % de germinación normal y un 18 % de semillas duras.

Los factores en estudio, así como sus respectivos niveles, fueron los siguientes: densidad de siembra (1, 3, 5 y 7 kg de semilla/ha); fósforo (0, 90, 180 y 270 kg de P₂O₅/ha); y potasio (0, 30, 60 y 90 kg de K₂O/ha). El diseño experimental utilizado en la fase de campo, fue bloques al azar con seis repeticiones, y los tratamientos fueron seleccionados con base a una Matriz Plan Puebla I, para tres factores, obteniéndose 14 combinaciones a las cuales se adicionó un testigo absoluto (Cuadro 1).

La parcela total fue de 4 surcos de 4 m de largo, a una separación de 0.80 m. La parcela útil consistió de los 2 surcos centrales, eliminando 0.5 m de las orillas. Para la fase de laboratorio se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados para producción de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.

No. Tratamiento	D S	P ₂ O ₅ Kilogramos por hectárea	K ₂ O
1	3	90	30
2	3	90	60
3	3	180	30
4	3	180	60
5	5	90	30
6	5	90	60
7	5	180	30
8	5	180	60
9	1	90	30
10	7	180	60
11	3	0	30
12	5	270	60
13	3	90	0
14	5	180	90
15*	1	0	0

DS Densidad de Siembra * Testigo Absoluto P₂O₅= K₂O=

La siembra y fertilización del experimento se realizó el día 19 de noviembre de 1995. Los riegos se aplicaron al inicio, por aspersión, y posteriormente por gravedad, a intervalos de 15 días. El control de malezas se hizo tanto en forma mecanizada, como manual. Durante el desarrollo del cultivo se tuvo incidencia de *Diabrotica* spp, la cual se controló químicamente.

En cuanto a enfermedades, no hubo incidencia considerable. Para promover una adecuada polinización se colocaron 2 colmenas de abejas domésticas *A. mellifera*. La semilla se cosechó cuando se tenía aproximadamente un 75 % de vainas color café oscuro.

Variables evaluadas

Cuando las plantas se encontraban en estado de llenado de vainas, se tomaran 5 plantas al azar con competencia completa, dentro de la parcela útil, con el fin de tomar las lecturas y así evaluar el efecto de los tratamientos sobre las variables agronómicas a componentes del rendimiento, los cuales fueron: tallos por planta, tallos con racimos por planta, racimos por talloa, racimos por planta, vainas por racimo, vainas por planta, semillas por vaina, semillas por planta, diámetro de corona y rendimiento de semilla aprovechable por hectárea.

Para evaluar la calidad física de la semilla, en los diferentes tratamientos, se consideró la variable peso de 1000 semillas (PMS), la cual se cuantificó en semilla aprovechable, pesando 8 muestras de 100 semillas, dentro de cada una, de tres repeticiones y posteriormente, se calculó el promedio y se extrapoló a 1000 semillas (Moreno, 1984).

Con el propósito de determinar el efecto de los tratamientos sobre la calidad fisiológica de la semilla, se realizaron pruebas de germinación estándar y vigor, según la metodología propuesta por ISTA (1985); el procedimiento seguido para cada variable fue el siguiente:

Capacidad de germinación (CG)

Se pusieron a germinar 3 repeticiones de 100 semillas por tratamiento, colocándolas en 2 hileras de 50 semillas por taco, con separación de 7 cm entre hileras, introduciendo los tacos en cámara germinadora a 25°C. El primer conteo de plántulas normales se realizó al cuarto día y un segundo conteo en el sexto día. Los resultados se

expresaron en porcentaje de plántulas normales.

Plántulas normales fuertes (PNF)

Para evaluar esta variable se aprovechó la misma prueba de germinación estándar, realizándose la cuantificación durante el segundo conteo, donde se clasificaron las plántulas en; normales fuertes, normales débiles, anormales, muertas y latentes.

Análisis estadístico

Las variables agronómicas fueron analizadas mediante un diseño experimental bloques al azar, cuyo modelo es $U_{ij} = m + T_i + B_j + E_{ij}$; mientras que las variables de calidad física y fisiológica, se analizaron bajo el diseño completamente al azar, (modelo $Y_{ij} = m + T_i + E_{ij}$). En aquellas variables en las que se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, se procedió a realizar un segundo análisis, con base en la metodología propuesta por Turrent (1985) para el caso de la Matriz Plan Puebla I, utilizando un efecto mínimo significativo (EMS 10 %), para la significancia en la parte factorial y una diferencia mínima significativa (DMS 5%), normal o desglosada para las demás comparaciones.

Correlaciones

Con el fin de determinar el grado de asociación entre las diferentes variables evaluadas, se realizaron las matrices de correlación respectivas; así como también un análisis de coeficientes de sendero (Reyes y Benavides, 1993), con el propósito de descomponer

las coeficientes de correlación significativos en sus efectos directos e indirectos, sobre el rendimiento de semilla.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables agronómicas

En el Cuadro 2 se presentan los cuadrados medios de tratamientos, así como su significancia para las variables agronómicas evaluadas, detectándose diferencias significativas para la variable tallos por planta, mientras que para las variables tallos con racimos por planta, racimos por planta, vainas por planta, semillas por planta, diámetro de corona y rendimiento de semilla, las diferencias fueran altamente significativas. Al realizar el análisis de estas variables, con base en el método propuesto por Turrent (1985), se obtuvo que en todos los componentes de rendimiento, el Tratamiento 9 (1-90-30), resultó ser estadísticamente superior a los demás y por consecuencia presentó el más alto promedio en rendimiento de semilla (405 kg/ha), el cual fue estadísticamente igual ($P < 0.05$) al de los Tratamientos 3, 4, 7, 8, 14 y 15 (Cuadro 3).

Al analizar los tres factores por separado, se detectó que la densidad de siembra es la que ejerce un mayor efecto sobre el rendimiento de semilla, tal como se aprecia en la Figura 1, donde a medida que se incrementa la densidad de 1 a 7 kg/ha, el rendimiento se reduce significativamente, de 405 hasta 197 kg de semilla/ha. Al comparar el Tratamiento 9 (1-90-30) con el 15 (1-0-0), se obtiene una diferencia de 88 kg a favor del primero, la cual a pesar de no llegar a ser significativa ($P < 0.05$), de alguna manera nos indica que

el fósforo y el potasio están interactuando positivamente con la densidad de 1 kg, para incrementar el rendimiento, y además las plantas del tratamiento 9, al ser más vigorosas tendrán una mayor persistencia y desarrollo durante los años posteriores, y por consiguiente su rendimiento sería mayor.

Las resultados obtenidos concuerdan con lo que reportan autores como Aguirre (1976) y García (1987), ya que a densidades de siembra bajas las plantas están más

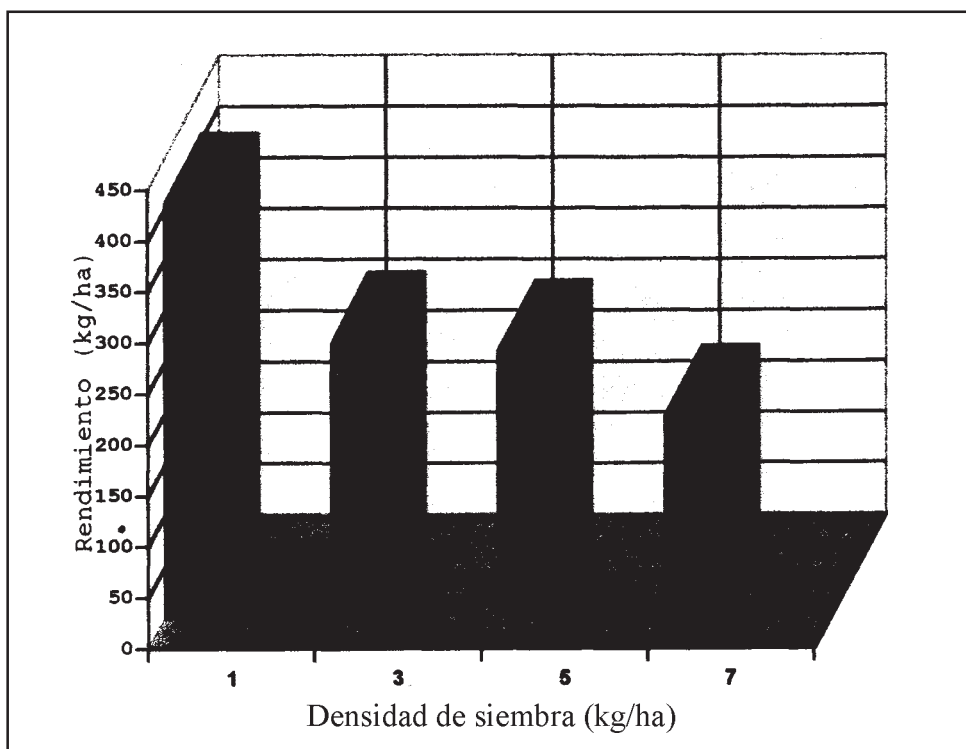


Figura 1. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.

espaciadas y pueden hacer un uso más eficiente de los nutrientes, luz y agua; además, como mencionan Rodríguez (1996) y Semenou (1976), la aplicación de los nutrientes fósforo y potasio promueven un mayor desarrollo de las plantas y por consiguiente, un mejor rendimiento de semilla.

Variables de calidad física

Para este tipo de variables, el análisis presentado en el Cuadro 2, detectó diferencias altamente significativas entre las medias de los tratamientos de la variable peso de mil semillas, por lo que al realizar el análisis por el método gráfico-estadístico, se obtuvo que tanto los efectos principales de los tres factores, como su interacción, resultaron ser significativos y al realizar la comparación entre las diferentes combinaciones, se obtuvo que el Tratamiento 3 (3-180-30), con una media de 2.15 g, fue estadísticamente igual a la media de los Tratamientos 1 (3-90-30) y 2 (3-90-60), pero superior a los demás, apreciándose esto en el Cuadro 3. Es importante señalar que a medida que se incrementa el número de semillas producidas, su peso específico tiende a reducirse, tal como se obtuvo en el Tratamiento 9 (1-90-30), el cual presentó el mayor rendimiento (405 kg/ha), pero sólo alcanzó un peso de 1000 semillas de 2.0 g, lo cual coincide con lo que menciona García (1987), ya que a medida que una planta produce una mayor cantidad de semillas, difícilmente podrá canalizar la cantidad adecuada de fotosintatos que requiere cada una de ellas, para poder alcanzar una alta calidad física.

Cuadro 2. Cuadrados medios, significancia y coeficientes de variación para el factor tratamientos de las variables evaluadas en producción de semilla de alfalfa. UAAAN 1996.

Variables

Agronómicas	C M	C V (%)
Tallos por planta	0.48*	15.40
Tallos con rac/planta	0.81	17.30
Racimos por tallo	0.33NS	12.80
Racimos por planta	18.86**	25.40
Vainas por racimo	0.06NS	11.59
Vainas por planta	195.16**	29.60
Semillas por vaina	0.03NS	10.91
Semillas por planta	1043.08	34.09
Diámetro de corona	0.36	20.60
Rendimiento de semilla	24652.80	34.70
Físicas		
Peso de mil semillas	0.009**	1.82
Fisiológicas		
C.G. al primer conteo	177.04**	8.91
C.G. al segundo conteo	27.18NS	
6.56		
Plántulas normales fuertes	108.12**	8.60

*, **: Significativo al 0.05 y 0.01, respectivamente

C M: Cuadrados Medios

C V: coeficientes de Variación

NS: No significativo

C.G: Capacidad de Germinación

El efecto importante que tienen el fósforo y el potasio sobre el peso específico de la semilla, se puede detectar claramente, al comparar el testigo (1-0-0) con el Tratamiento

3 (3-180-30), donde este último con una media de 2.15 g, es estadísticamente superior a la media del testigo que fue de 2.05 g; al respecto autores como Geller (1978) y Rodríguez (1996), remarcen la importancia de estos nutrimentos en el metabolismo general de la planta, y como consecuencia, en la obtención de semilla de calidad

Variables de calidad fisiológica

El análisis presentado en el Cuadro 2 muestra diferencias altamente significativas para las variables capacidad de germinación al primer conteo y plántulas normales fuertes, no habiendo significancia para la capacidad de germinación en segundo conteo. Al practicar el análisis de la matriz para las dos primeras variables, se detectó que para el factor densidad, los niveles de 1, 3 y 5 kg, fueron estadísticamente iguales, así como también para el fósforo los niveles 0, 90 y 180 kg/ha, mientras que para el potasio los niveles 30 y 60 kg fueron iguales entre si y superiores a 0 y 90 kg/ha. Al comparar las diferentes combinaciones, se obtuvo que las tratamientos de la parte factorial (1 al 8) fueron estadísticamente iguales a los Tratamientos 9, 11 y 13, y superiores a los demás, observándose que el promedio mas bajo lo presenta en ambas variables el testigo absoluto (1-0-0), con medias de 42 y 44 % (Cuadro 3); por lo que se puede enfatizar que para este tipo de variables de calidad fisiológica, los factores que afectan más significativamente son el fósforo y el potasio, ya que como lo reportan Copeland y McDonald (1985), estos nutrimentos juegan un papel importante en la fisiología de la planta y en la germinación y vigor de las semillas.

Cuadro 3. Medias de tratamientos de las principales variables evaluadas en la producción de semilla de alfalfa. UAAAN. 1996.

Tratamiento	RS	PMS	CGI	CGII	PNF
1(3-90-30)	272	2.11	58	68	57
2(3-90-60)	280	2.12	62	74	63
3(3-180-30)	336	2.15	65	71	65
4(3-180-60)	388	2.09	65	77	66
5(5-90-30)	218	2.03	59	70	57
6(5-90-60)	236	1.93	64	76	62
7(5-180-30)	308	2.03	60	72	57
8(5-180-60)	322	2.08	55	69	55
9(1-90-30)	405	2.00	59	73	58
10(7-180-60)	197	2.04	48	68	54
11(3-0-30)	269	2.08	55	72	55
12(5-270-60)	189	1.99	43	68	48
13(3-90-0)	233	2.01	53	75	60
14(5-180-90)	293	2.04	47	69	52
15(1-0-0)	317	2.05	42	69	44

RS Rendimiento de semilla (kg/ha)

PMS Peso de 1000 semillas (g)

CGI Capacidad de germinación en primer conteo (%)

CGII Capacidad de germinación en segundo conteo (%)

PNF Plántulas Normales Fuertes (%)

Correlaciones

Al realizar la matriz de correlaciones respectiva para las variables agronómicas, se obtuvo que el rendimiento de semilla muestra una correlación positiva y significativa, con las variables tallos con racimos por planta, racimos por planta, vainas por planta y semillas por

planta con valores de $r=0.63$, 0.60 , 0.57 y 0.59 , respectivamente; mientras que las variables diámetro de corona y tallos por planta, presentaron valores medios de 0.50 y 0.48 , sin llegar a ser significativos. Más sin embargo, el diámetro de corona si mostró una correlación significativa y positiva con la mayoría de los componentes de rendimiento, lo cual significa que al tener las plantas una mayor reserva de carbohidratos en la corona y las raíces, esto ocasiona un mayor vigor en la parte aérea y a la vez una mayor capacidad reproductiva; resultados similares fueron encontrados por Dovrat *et al.* (1969) y Kowithayakorn (1982).

Al manejar los coeficientes de correlación de estas seis variables en un análisis de coeficientes de sendero, se obtuvo que la variable tallos con racimos por planta es la que influye más fuertemente sobre el rendimiento, tanto por su efecto directo (1.1956), como por los efectos indirectos que se presentan al relacionarse con las demás variables; al respecto García (1987), encontró resultados muy similares, ya que al trabajar con diferentes densidades de población, obtuvo que las plantas mayormente espaciadas producían un mayor número de tallos con racimos, variable que junto con vainas por planta, contribuyó considerablemente al rendimiento de semilla.

Con respecto al grado de correlación entre las variables rendimiento de semilla y las variables de calidad física y fisiológica, no se encontró una correlación significativa entre ellas, lo cual indica que no necesariamente los tratamientos de mayor rendimiento, tienen a su vez 1 a mejor calidad física y fisiológica de semilla.

Es importante resaltar, que al observar la respuesta de la planta a los diferentes factores, tanto para las variables agronómicas, físicas y fisiológicas, se puede determinar que el Tratamiento 9 (1-90-30), al tener una baja densidad de plantas, promovió que éstas

tuvieran una menor competencia y pudieran desarrollarse adecuadamente, produciendo un buen rendimiento de semilla y a la vez su calidad está dentro de valores aceptables, siendo en ocasiones estadísticamente igual a la de los tratamientos que mostraron los valores más altos; además al practicarse un análisis económico se encontró que, este tratamiento obtuvo la mayor tasa de retorno a capital variable.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidas y a las condiciones bajo las cuales se realizó este trabajo, se puede concluir lo siguiente:

La mejor combinación de densidad de siembra y fertilización fosfatada y potásica, que permitió obtener el mayor rendimiento de semilla, así como una buena calidad física y fisiológica fue el Tratamiento 9 (1-90-30).

Los componentes de rendimiento mayormente afectados por los tratamientos, fueron: tallos por planta, tallos con racimos por planta, racimos por planta, vainas por planta, semillas por planta y diámetro de corona.

Las componentes que mostraron una correlación significativa con el rendimiento de semilla, fueron: tallos por racimos por planta, racimos por planta, vainas por planta y semillas por planta; siendo el primero de ellos el que contribuyó más fuertemente con el rendimiento, tanto por sus efectos directos como indirectos.

El principal factor que afectó tanto a los componentes, como al rendimiento mismo, fue la densidad de siembra al nivel de 1 kg de semilla/ha, siendo el mejor.

Los nutrimentos fósforo y potasio, afectaron significativamente la calidad física y

fisiológica de la semilla.

No existe una correlación significativa entre el rendimiento y la calidad física y fisiológica de la semilla.

La mayor rentabilidad económica se obtuvo con el Tratamiento 9 (1-90-30).

LITERATURA CITADA

- Aguirre, R.J. 1976. Producción de semilla de alfalfa en México. En: Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte (CIANOC). Semillas de Plantas Forrajeras. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). México. p. 51-56.
- Askarian, M., J.G. Hampton and M.J. Hill. 1996. Effect of row spacing and sowing rate on seed production of lucerne (*Medicago sativa* L.) cv. *Grassland orange*. Seed Abstracts 19 (7) :316.England.
- Copeland, L.O. and M. B. McDonald. 1985. Principles of Seed Science and Technology. Second edition. MacMillan. Publishing Company. USA. 321 p.
- Dovrat, A., D. Levanon and M. Waldman. 1969. Effect of plant spacing on carbohydrates in roots and on components of seed yield in alfalfa (*Medicago sativa* L.) .Crop Sci. 9(1):33-34. USA.
- García, M.J.A. 1987. Efecto de densidad de población en la producción de semilla de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitomejoramiento. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah., 168 p.
- Geller, A. 1978. Effect of fertilizers on seed yields of irrigated lucerne. Herbage Abstracts.

48(1):26. England.

Hofbauer, J. 1982. The influence of chemical substances on the seed yield of lucerne.

Herbage Abstracts 52(12):618. England.

International Seed Testing Association (ISTA). 1985. International Rules for Seed Testing. Seed Sci. and Tech. 13:299-335. The Netherlands.

Ivanov, S.N. and V.V. Lapa. 1982. Effect of levels of mineral nutrition on seed yield and biochemical composition of lucerne. Herbage Abstracts 52(12):544. England.

Kowithayakorn, L. 1982. A study of herbage and seed production of lucerne (*Medicago sativa* L.) under different spacing and cutting treatments. Herbage Abstracts. 52(2):72. England.

Maslinkov, M., M. Mirtshev and N. Antonowa. 1982. Studies on the optimal sowing rate for lucerne for seed production. Herbage Abstracts 52(12):544. England.

Moreno, M.E. 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología. UNAN. México, D.F. 383 p.

Reyes, V., M.H. y A. Benavides M. 1993. El análisis de senderos en la investigación agronómica. Folleto de Divulgación Vol. III No. 4. Departamento de Fitomejoramiento, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., 22 p.

Roberts, E.H. 1972. Viability of seeds. Syracuse University Press. New York pp. 114-143. USA.

Rodríguez, S. F. 1996. Fertilizantes, Nutrición Vegetal. AGT Editor, S.A. 3a. impresión. México, D.F. pp. 69-81.

Semenou, A.L. 1976. Effect of phosphorus and potassium fertilizers and sowing methods on seed yield and quality in lucerne. Herbage Abstracts 6 (4):160. England.

- Turrent, F.A. 1985. El método gráfico-estadístico para la interpretación económica de experimentos conducidos con la Matriz Plan Puebla I. 2a. edición. No. 5, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx., 45 p.
- Wynn, R.B and T.P. Palmer. 1974. Seeding rates, row spacing and lucerne (*Medicago sativa* L. cv. Saranac) seed production. *Herbage Abstracts* 46 (4): 160. England.

Esta publicación se elaboró en la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; se concluyó el mes de agosto de 2005 y se publica en formato PDF optimizado para impresión, y para su distribución por medios ópticos (1000 discos compactos) y electrónicos (vía Internet).



CONTENIDO

SELECCIÓN RECÍPROCA RECURRENTE EN POBLACIONES DE MAÍZ PARA TRÓPICO SECO Y BAJÍO MEXICANO	1
VALIDACIÓN DEL MODELO EPIC, PARA SIMULAR LA MEDICIÓN DE RASGOS AGRONÓMICOS EN EL CULTIVO DE MAÍZ BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE HUMEDAD EN EL SUELO	27
COMPACTACIÓN DEL SUELO Y NOGAL PECANERO (<i>CARYA ILLINOENSIS</i> KOCH)	47
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA DE ALFALFA BAJO DIFERENTES NIVELES DE FERTILIZACIÓN Y DENSIDADES DE SIEMBRA	59