



*"Enseñar la explotación de la tierra,
no la del hombre"*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**VARIEDADES SINTÉTICAS DE MEZCLAS DE CRUZAS SIMPLES Y LÍNEAS
DE MAÍZ DULCE PARA ELOTE**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

JOSÉ LUIS ESCALANTE GONZÁLEZ

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO; JUNIO DE 2014



VARIEDADES SINTÉTICAS DE MEZCLAS DE CRUZAS SIMPLES Y LÍNEAS DE MAÍZ

DULCE PARA ELOTE

Tesis realizada por José Luis Escalante González, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



DR. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS

ASESOR:



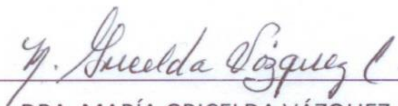
DR. JUAN ENRIQUE RODRÍGUEZ PÉREZ

ASESOR:



DR. JOSÉ DE JESÚS LÓPEZ REYNOSO

ASESOR:



DRA. MARÍA GRICELDA VÁZQUEZ CARRILLO

LECTOR EXTERNO:



DRA. MARGARITA GISELA PEÑA ORTEGA

Chapingo, Estado de México; junio de 2014.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor, es originario Del Municipio de Villacorzo, Estado de Chiapas, nació el 14 de Agosto del 1977. La educación media superior lo realizó en el Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo en Texcoco, Estado de México, entre los años de 1993-1996. Los estudios de licenciatura los llevó a cabo en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo de 1996-2001. Realizó sus estudios de Maestría en Ciencias en el Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Co-autor del artículo científico “Yield prediction and inbreeding of maize synthetics generated with lines and single crosses. Clasic probability” y autor del artículo: “Erosión genética en las cruas simples progenitoras de una variedad sintética”. Durante el 2001 al 2006, se desempeñó en actividades de gestión de créditos agrícolas y en actividades de asesoría en la producción de jitomate en Atlacomulco, Estado de México y en los Municipios de Acaxochitlan, Tulancingo y Apan en el Estado de Hidalgo

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, Universidad Autónoma Chapingo, que abrió sus puertas e hizo de mí un profesional moral y éticamente responsable.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por valioso apoyo otorgado para poder desarrollar mis estudios.

Al Instituto de Horticultura por brindarme la oportunidad de seguir preparándome y por las facilidades para desempeñar las actividades del doctorado.

Al Dr. Jaime Sahagún Castellanos, por compartirme su experiencia profesional, su paciencia, su confianza, sus enseñanzas, y sus consejos para el buen desarrollo y finalización de la tesis.

Al Dr. José de Jesús López Reynoso, Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez, Dra. María Gricelda Vázquez Carrillo, Dra. Margarita Gisela Peña Ortega por sus recomendaciones, consejos y asesorías para el desarrollo de la tesis.

DEDICATORIA

A mis padres, Sabel Escalante González y Elsa Ruíz Cruz[†], por darme la vida y por enseñarme el camino con sus ejemplos y cariño.

A mi esposa, Soledad Amaya Quiroz, por el apoyo y amor sincero que me brinda día a día.

A mis hijos, Ángel Yamanic y Amir Escalante Amaya, quienes con su amor, cariño, alegrías y ocurrencias infantiles iluminan mi vida, y que son fuente de inspiración en cada meta lograda.

A mis hermanos, Julio Cesar Escatante Ruíz y Nectalí Escalante González, por el apoyo moral en los momentos difíciles y llenos de desesperación.

A mis hermanas, Gloria , Anita y Chabelita, por que llenaron a nuestra familia de amor y unidad.

A mis sobrinos y cuñadas (o) por los grandes momentos compartidos en familia.

Sinceramente

José Luis Escalante González.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	viii
GENERAL ABSTRACT	viii
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
OBJETIVOS GENERALES	4
 CAPÍTULO I. YIELD PREDICTION AND INBREEDING OF MAIZE SYNTHETICS GENERATED WITH LINES AND SINGLE CROSSES. CLASSIC PROBABILITY.....	5
ABSTRACT	6
RESUMEN	6
INTRODUCTION.....	7
METHODS AND THEORETICAL FRAMEWORK	9
RESULTS.....	11
Inbreeding coefficients.....	11
Genotypic mean	13
DISCUSSION	14
CONCLUSIONS	17
REFERENCES.....	18
 CAPÍTULO II. EVALUACIÓN DE SINTÉTICOS DE MEZCLAS DE CRUZAS SIMPLES Y LÍNEAS DE MAÍZ DULCE PARA ELOTE	21
RESUMEN	22
ABSTRACT	23
INTRODUCCIÓN.....	25
MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
Variedades	27
Ambientes	28
Evaluación.....	30
Análisis estadístico	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
Análisis de Varianza	32
Análisis de Contrastes entre tipos de variedades sintéticas.....	35
Comparaciones de medias de variedades sintéticas dentro y entre tipos.....	43
CONCLUSIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	62
DISCUSIÓN GENERAL	64
BIBLIOGRAFÍA GENERAL	66

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO I. YIELD PREDICTION AND INBREEDING OF MAIZE SYNTHETICS GENERATED WITH LINES AND SINGLE CROSSES. CLASSIC PROBABILITY	5
CUADRO 1. Inbreeding coefficients (X1000) of the synthetic varieties (SVs) of four sets, each developed from a particular set of unrelated parental lines whose inbreeding coefficient is F_L . Each SV is derived from L lines and s single crosses, and each parent is represented by m individuals. In a set each line participates only once in each SV, either as a parent itself or as a parent of a single cross that is a parent of the SV.	20
CAPÍTULO II. EVALUACIÓN DE SINTÉTICOS DE MEZCLAS DE CRUZAS SIMPLES Y LÍNEAS DE MAÍZ DULCE PARA ELOTE	21
CUADRO 1. Significancias en el análisis de varianza combinado de 17 caracteres de 34 variedades sintéticas (VSs) y tres testigos. La evaluación se hizo en tres ambientes.	34
CUADRO 2. Contrastes de medias de tres testigos y medias de tres tipos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con L líneas y s cruzas simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en tres ambientes. En las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.	36
CUADRO 3. Contrastes de medias de tres testigos y medias de tres tipos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con mezclas de L líneas y s cruzas simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en el Campo Experimental Zacatepec, Mor. Las medias de las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.	38
CUADRO 4. Contrastes de medias de tres testigos y medias de tres tipos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con mezclas de L líneas y s cruzas simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en el Campo Experimental San Juan, Chapingo, Edo de Méx. Las medias de las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.	40
CUADRO 5. Contrastes de medias de tres testigos y medias de tres tipos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con mezclas de L líneas y s cruzas simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en el Campo Experimental San Martín, Chapingo, Edo de Méx. Las medias de las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.	42
CUADRO 6. Contrastes de medias de tres testigos y medias de conjuntos específicos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con mezclas de L líneas y s cruzas simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en Campo Experimental Zacatepec, Mor. Las medias de las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de	

progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.....	46
CUADRO 6. Continuación (características de elote en el Campo Experimental Zacatepec, Mor.).	47
CUADRO 6. Continuación (características de elote en el Campo Experimental Zacatepec, Mor.).	48
CUADRO 6. Continuación (variables de rendimiento en el Campo Experimental Zacatepec, Mor.).	49
CUADRO 7. Contrastes de medias de tres testigos y medias de conjuntos específicos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con mezclas de L líneas y s cruza s simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en el Campo Experimental San Martín, Chapingo, Edo de Méx. Las medias de las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.	52
CUADRO 7. Continuación (características de elote en el Campo Experimental San Martín, Chapingo, Edo de Méx.).	53
CUADRO 7. Continuación (características de elote en el Campo Experimental San Martín, Chapingo, Edo de Méx.).	54
CUADRO 7. Continuación (variables de rendimiento en el Campo Experimental San Martín, Chapingo, Edo de Méx.).	55
CUADRO 8. Contrastes de medias de tres testigos y medias de conjuntos específicos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con mezclas de L líneas y s cruza s simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en el Campo Experimental San Juan, Chapingo, Edo de Méx. Las medias de las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.	57
CUADRO 8. Continuación (características de elote, en el Campo Experimental San Juan, Chapingo, Edo de Méx.).	58
CUADRO 8. Continuación (características de elote, en el Campo Experimental San Juan, Chapingo, Edo de Méx.).	59
CUADRO 8. Continuación (variables de rendimiento, en el Campo Experimental San Juan, Chapingo, Edo de Méx.).	60

VARIETADES SINTÉTICAS DE MEZCLAS DE CRUZAS SIMPLES Y LÍNEAS DE MAÍZ DULCE PARA ELOTE

SYNTHETIC VARIETIES OF SWEET CORNCOB DERIVED FROM MIXTURES OF LINES AND SINGLE CROSSES

José Luis Escalante González¹ y Jaime Sahagún Castellanos²

RESUMEN GENERAL

En un programa de mejoramiento genético de maíz que incluye el desarrollo de variedades sintéticas (VSs), por la disponibilidad de líneas y cruza simples, por ahorrar recursos en la etapa de predicción de las usualmente muy numerosas VSs que son posibles aún para número pequeño de progenitores potenciales (con n , el número de VSs posibles es 2^{n-n+1}), etc., puede ser conveniente desarrollar variedades con mezclas de L líneas y s cruza simples. De este tipo de variedades se han hecho estudios teóricos relativos a su coeficiente de endogamia y a su media genotípica; sin embargo, su evaluación en campo no se ha realizado. El objetivo de este estudio fue desarrollar y evaluar experimentalmente un conjunto de VSs formadas con L líneas y s cruza simples $[VS_{(L\ s)}]$ para contribuir a la determinación de su pertinencia. L y s toman valores que incluyen el cero $[VS_{(0\ s)}$ y $VS_{(L\ 0)}$, respectivamente]. En total se evaluaron 34 VSs [20, 10 y 4 de las formas $(0\ s)$, $(L\ s)$ y $(L\ 0)$, respectivamente] y 3 testigos. La evaluación se hizo en tres localidades. Según el análisis combinado, los tres tipos de VSs y los testigos no difirieron estadísticamente ($\alpha \leq 0.05$) en su rendimiento total de elote (RTE), y de elote primera (REPC) y segunda (RESC) calidades. Esta igualdad estadística se extendió al resto de las variables estudiadas (17). A nivel localidad, sin embargo, hubo resultados contrastantes debidos a la fuerte interacción entre genotipos y ambientes detectada ($\alpha \leq 0.05$). Por ejemplo, mientras que en Zacatepec, Mor., los testigos rindieron más REPC que las VSs de los tipos $(0\ s)$, $(L\ s)$ y $(L\ 0)$, en 4, 3 y 3 casos, respectivamente ($\alpha \leq 0.01$ o $\alpha \leq 0.05$), en San Martín, tuvieron un comportamiento similar al de Zacatepec, nunca fueron superiores en los 10 contrastes significativos detectados ($\alpha \leq 0.05$) y que involucran 4, 4 y 2 VSs de los tipos $(0\ s)$, $(L\ s)$ y $(L\ 0)$, respectivamente. El mejor rendimiento de las VSs en San Martín es explicable en razón de su mejor adaptación a esta localidad, por ser su lugar de origen.

Palabras clave: variedades sintéticas, mejoramiento de plantas, población de polinización abierta, interacción genotipo x ambiente, *Zea mays* var. *saccharata*.

¹Tesista

²Director

GENERAL ABSTRACT

In a maize breeding program that includes the development of synthetic varieties (SVs), due to the availability of lines and single crosses, the need to save resources in the prediction step of the usually very numerous SVs that are possible even for a small number of potential parents (with n , the number of potential SVs is 2^{n-n+1}), etc., it may be desirable to develop varieties with mixtures of L lines and s single crosses. In relation to such varieties, theoretical studies on their inbreeding coefficient and genotypic mean have been carried out; however, they have not been evaluated in the field. The aim of this study was to develop and experimentally evaluate a set of SVs formed with L lines and s single crosses $[SV_{(L\ s)}]$ to help determining their relevance. L and s take values including zero $[SV_{(0\ s)}$ and $SV_{(L\ 0)}$, respectively]. In total, 34 SVs [20, 10 and 4 of the forms $(0\ s)$, $(L\ s)$ and $(L\ 0)$, respectively] and 3 controls were assessed. The evaluation was performed in three locations. According to the combined analysis, the three types of SVs and the controls were not statistically different ($\alpha \leq 0.05$) in total corn cob yield (TCY), and first corn cob (FCYQ) and second corn cob (SCYQ) yield quality. This statistical equality extended to the rest of the variables studied (17). At location level, however, there were contrasting results due to the strong interaction between genotypes and environments detected ($\alpha \leq 0.05$). For example, while in Zacatepec, Mor., the controls yielded more FCYQ than the SVs of the types $(0\ s)$, $(L\ s)$ and $(L\ 0)$, in 4, 3 and 3 cases, respectively ($\alpha \leq 0.01$ or $\alpha \leq 0.05$), in San Martín, they had a similar behavior to that of Zacatepec; the controls were never higher in the 10 significant contrasts detected ($\alpha \leq 0.05$) involving 4, 4 and 2 SVs of the types $(0\ s)$, $(L\ s)$ and $(L\ 0)$, respectively. The best yield of the SVs in San Martín is due to their better adaptation to this location, being their place of origin.

Keywords: synthetic varieties, plant breeding, open-pollinated population, genotype x environment interaction, *Zea mays* var. *saccharata*.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Las variedades sintéticas (VSs) de maíz (*Zea mays* L.) surgen en atención al fenómeno de depresión endogámica observado en las generaciones avanzadas de las primeras variedades híbridas (Márquez, 1992) y por ser una alternativa a los altos costos de semillas de dichas variedades, que llegan a representar hasta el 15 % de la inversión en la producción de maíz en México (Márquez, 2010). Debido a lo expuesto, su estudio ha tomado relevancia, hasta el punto de llegar a ser componente común en los programas de mejoramiento genético en las poblaciones de las mayoría de las especies de cultivos de polinización cruzada (Taylor, 1987).

Hayes y Garber (1919) en su trabajo con el maíz, fueron los primeros en describir a las variedades sintéticas como la participación de la hibridación entre varias líneas puras con una selección entre progenies F_1 y generaciones avanzadas para producir una población de polinización abierta mejorada. Para efectos de predicción de la media genotípica de una VS, Busbice (1970) define a la población formada por los progenitores de la variedad como Sin-0; a la población que resulta de todas las cruzas entre ellos como el Sin-1, mientras que al resultado del apareamiento aleatorio entre los individuos del Sin-1, le llama Sin-2.

Por su origen y porque las generaciones sucesivas se producen por apareamiento aleatorio, las variedades sintéticas se caracterizan por poseer una plasticidad poblacional que le permite ser una buena alternativa para la agricultura de bajos insumos (Sahagún *et al.*, 2005) de regiones localizadas frecuentemente en países en vías de desarrollo, donde la estabilidad de rendimiento puede ser de suma importancia

y la infraestructura necesaria para la producción de variedades híbridas no existe (Paliwal y Smith, 2002).

Típicamente, una variedad sintética (VS) tiene como progenitores a un conjunto de líneas seleccionadas necesariamente con alguna prueba de su aptitud combinatoria (general o específica o ambas) (Smith, 2004). Aunque algunos fitomejoradores han ampliado el uso de la expresión “variedades sintéticas” para incluir cualquier población de polinización abierta con cierto nivel de mejoramiento genético de cultivos que se destinan para uso comercial directo (Hallauer y Miranda, 1988)

En la práctica se han desarrollado variedades sintéticas (VSs) con rendimientos satisfactorios a partir de líneas como progenitores, aunque esto puede implicar el manejo de un número grande de progenitores potenciales, además de demandar demasiados recursos y trabajo (Sahagún y Rodríguez, 2011). Por ello, otras alternativas ya han sido estudiadas, tal es el caso del uso de VSs cuyos progenitores pueden ser cruza simples (VSCs) propuesto por Sahagún y Villanueva (1997). Estos autores mediante procedimiento teóricos, a partir del arreglo gamético y genotípico de una población ideal (efectos maternos, migración, mutación y selección), derivaron el arreglo genotípico y la endogamia de las VSCs. En el caso en que las cruza simples progenitoras de las VSCs son formadas de líneas no emparentadas y con coeficiente de endogamia iguales a la unidad, los autores encontraron que F_2 es $1/2n$. Se dedujeron tres métodos para estimar la media genotípica de estos tipos de sintéticos, los cuales son:

$$\hat{Y}_2 = \frac{(n-1)}{n}\hat{Y}_I + \frac{1}{2n}\hat{Y}_H + \frac{1}{2n}\hat{Y}_L : \text{Donde } \hat{Y}_I, \hat{Y}_H \text{ y } \hat{Y}_L \text{ son, respectivamente, los promedios}$$

experimentales de las cruzas entre los híbridos progenitores del sintético, los híbridos y las líneas que la forman.

$$\hat{Y}_{2R} = \hat{Y}_I - (\hat{Y}_I - \hat{R})/n : \text{En donde: } \hat{Y}_I : \text{media experimental de las cruzas de los híbridos y } \hat{R} :$$

media experimental de las poblaciones que resultan del apareamiento aleatorio en aislamiento de las m plantas de cada híbrido.

$$\hat{Y}_{2W} = \hat{Y}_{IL} - \frac{1}{2n}(\hat{Y}_{IL} - \hat{Y}_0) : \text{En donde: } \hat{Y}_{IL} : \text{media experimental de las cruzas entre las } 2n \text{ líneas y}$$

$\hat{Y}_0$: media experimental de las líneas.

De éstos, el método $\hat{Y}_{2W}$ tuvo mayor precisión en la estimación de la media genotípica.

Para su uso se requiere conocer las líneas que originan las cruzas simples, de lo contrario no se puede aplicar. Cuando se desconocen las líneas, el método más preciso es el método $\hat{Y}_{2R}$; el método menos preciso de los tres fue $\hat{Y}_2$.

Sahagún y Villanueva (2012) encontraron que en una variedad sintética formada con líneas puras, el coeficiente de endogamia (FSin_L) y el del sintético de sólo cruzas simples (FSin_{cs}) son iguales y que el del sintético de cruzas dobles (FSin_{cd}) es mayor, y que para que éste sea igual a FSin_L, además de líneas puras, se requiere que el número de plantas de cada progenitor sea grande.

Por otra parte, de las variedades sintéticas que se generan con L líneas y s cruzas simples (VS_(L s)), Sahagún y Rodríguez (2011) concluyeron que el valor mínimo del coeficiente de endogamia ocurre cuando s=0 ó L=0, y que si el número de plantas que

representan cada progenitor es grande, el mínimo también se alcanza cuando los progenitores del sintético incluyen líneas y cruas simples. Esto es importante porque la media genotípica de una variedad sintética se relaciona inversamente con su coeficiente de endogamia (Busbice, 1970). Sin embargo, para estas variedades sintéticas ($Sin_{(L \ s)}$) no se ha desarrollado teoría para el caso en que el coeficiente de endogamia de las líneas es un número cualquiera desde cero a uno, ni se han hecho evaluaciones experimentales.

Con la finalidad de contribuir a la generación de información básica y aplicada acerca de las variedades sintéticas formadas con mezclas de L líneas y s cruas simples ($Sin_{(L \ s)}$), este trabajo tiene por objetivos generales los siguientes:

OBJETIVOS GENERALES

1. Derivar el coeficiente de endogamia y la media genotípica de estas variedades.
2. Hacer un estudio basado en una evaluación experimental de un conjunto de variedades sintéticas de este tipo.

CAPÍTULO I.

**YIELD PREDICTION AND INBREEDING OF MAIZE SYNTHETICS GENERATED
WITH LINES AND SINGLE CROSSES. CLASSIC PROBABILITY**

**PREDICCIÓN DE RENDIMIENTO Y ENDOGAMIA DE SINTÉTICOS DE MAÍZ
GENERADOS CON LÍNEAS Y CRUZAS SIMPLES. PROBABILIDAD CLÁSICA**

ABSTRACT

To reduce costs and labor associated with predicting the genotypic mean (GM) of a synthetic variety (SV) of maize (*Zea mays* L.), breeders can develop SVs from L lines and s single crosses ($Syn_{L,SC}$) instead of $L+2s$ lines (Syn_L). The objective of this work was to derive and study formulae for the inbreeding coefficient (IC) and GM of $Syn_{L,SC}$, Syn_L , and the SV derived from $(L+2s)/2$ single crosses (Syn_{SC}). All SVs were derived from the same $L+2s$ unrelated lines whose IC is F_L , and each parent of a SV was represented by m plants. An *a priori* probability equation for the IC was used. Important results were: 1) the largest and smallest GM s correspond to Syn_L and $Syn_{L,SC}$, respectively; 2) the GM predictors with the largest and intermediate precision are those for Syn_L and $Syn_{L,SC}$, respectively; and 3) only when $F_L=1$, or m is large, Syn_L and Syn_{SC} are the same population, but only with Syn_{SC} prediction costs and labor undergo the maximum decrease, although its prediction precision is the lowest. To determine the SV to be developed, breeders should also consider the availability of lines, single crosses, manpower and land area; besides budget, target farmers, target environments, etc.

Keywords: low-input agriculture, plant breeding, genotypic stability, random mating population, identical by descent genes.

RESUMEN

Para reducir costos y trabajo para predecir la media genotípica (GM) de una variedad sintética (SV) de maíz (*Zea mays* L.), se puede desarrollar SVs con L líneas y s cruzaes simples ($Syn_{L,SC}$) en lugar de con $L+2s$ líneas (Syn_L). El objetivo de este trabajo fue

derivar y estudiar fórmulas para el coeficiente de endogamia (IC) y la GM del $Syn_{L,SC}$, Syn_L y de la SV derivada con $(L+2s)/2$ cruza simples (Syn_{SC}). Las SV s fueron generadas con las mismas $L+2s$ líneas no emparentadas, con IC igual a F_L . Cada progenitor se representó por m plantas. Se usó el concepto de probabilidad *a priori* para derivar fórmulas para IC . Resultados importantes fueron: 1) las GM s mayor y menor corresponden a Syn_L y $Syn_{L,SC}$, respectivamente, 2) las precisiones mayor e intermedia para estimar GM , respectivamente, se obtienen con Syn_L y Syn_{SC} , y 3) sólo cuando $F_L=1$ o m es grande, Syn_L y Syn_{SC} son la misma población, pero Syn_{SC} , requiere menos trabajo y costos para la predicción aunque ésta es menor. Para determinar qué SV desarrollar, se debe considerar también la disponibilidad de líneas, cruza simples, mano de obra y área experimental; además de presupuesto, y ambientes y usuarios potenciales, etc.

Palabras clave: agricultura marginal, mejoramiento genético vegetal, estabilidad genotípica, población en apareamiento aleatorio, genes idénticos por descendencia.

INTRODUCTION

A synthetic variety (SV) of a crop species such as maize (*Zea mays* L.) is the population resulting from the random mating of m plants from each of p selected parents. It has the advantages of exploiting the natural system of this cross-fertilizing species and having large genetic variability and an important proportion of heterozygosity that accounts for grain yield and a broad stability across environments, including low-input agriculture. Furthermore, this mating system must produce stability in its genotypic array across the subsequent generations, which means that: 1) the farmers do not have to buy seed of the SV each cycle, except for the first one, and 2) the SV does not undergo an important

inbreeding depression. These last two advantages of a SV are not shown by hybrid varieties, although they show larger heterotic effects.

Normally, the development of a synthetic variety (SV) of a crop species such as maize (*Zea mays* L.) includes the field evaluation of p pure lines and their $p(p - 1)/2$ direct crosses. The data produced is then used according to a prediction equation to estimate the genotypic mean of each of the $2^p - (p + 1)$ SVs that can be derived. Furthermore, a prediction equation (1) and evidence from reality imply an inverse relationship between genotypic mean (GM) and inbreeding coefficient (IC). This equation, however, also requires field evaluation of the p parents and their $p(p - 1)/2$ crosses. Moreover, when p is large, the available resources might not be enough, and an alternative approach should be applied instead.

A partial solution to the problem of limited resources to derive SVs that is more flexible than the use of parents that are exclusively single crosses (7), double crosses (6) or a mixture of single and double crosses (4), is the use of L lines and s single crosses as potential parents of a SV. It is based on $L + 2s$ unrelated initial lines whose IC is F_L (the s single crosses are derived from $2s$ lines). Besides more flexibility, this synthetic variety ($Syn_{L,SC}$) relative to the conventional SV derived from $L+2s$ lines, implies a decrease in s parents thereby reducing the number of possible SVs. This $Syn_{L,SC}$ was already studied (5), but it was restricted to pure initial lines ($F_L=1$) and did not include the estimation of the genotypic mean. The hypothesis is that when the initial lines are not pure ($F_L<1$), the GM , IC , and the precision of the estimation of the genotypic mean of the $Syn_{L,SC}$ may undergo a change due to the decrease in the number of parents.

Moreover, the derivation of the *IC* of a SV has been based on the known coancestries of the individuals produced by randomly mating the parents, usually a set of pure and unrelated lines (3), or on the genotypic array of the SV where each genotype is substituted for the probability of identity by descent of the two genes forming the substituted genotype (7).

The procedure proposed here to derive the *IC* considers that the two genes of each genotype of a SV can be visualized as the result of a random sample with replacement of size two from the set whose elements are the genes of the gametic array of the parents. This consideration in turn makes it possible to visualize the derivation of the *IC* of the SV as a random experiment where the calculation of the probability of the occurrence of an event can be based on an *a priori* model. Thus, it would be interesting to see how useful this approach could be to derive the *IC* of $Syn_{L,SC}$.

Under this context for $Syn_{L,SC}$, a work was planned to study the SVs derived from L lines and s single crosses, including the cases: 1) $L>0$ and $s=0$ (Syn_L), and 2) $L=0$ and $s>0$ (Syn_{SC}). The objectives were to determine and analyze general ($F_L \leq 1$) formulae for the *IC* and *GM* of the $Syn_{L,SC}$, Syn_L , and Syn_{SC} .

METHODS AND THEORETICAL FRAMEWORK

In this study, the concepts of gametic array (*GA*) and genotypic array (*GEA*) of a diploid population under random mating were used in the context of the Hardy-Weinberg law. If in a population the frequency of the gene A_i is p_i ($i=1, 2, \dots, a$), these concepts are defined as:

$$GA = \sum_{i=1}^a p_i A_i \quad \text{and} \quad GEA = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^a p_i p_j A_i A_j$$

Since a SV is the progeny generated by randomly mating its parents, the inbreeding coefficient of the variety can be visualized as the probability that two random genes taken with replacement from the set whose elements are the genes of the gametic array of the parents are identical by descent (*IBD*). In particular, if the parents of a SV are L lines and s single crosses and each parent is represented by m individuals, according to the one-locus model of a diploid species, the genes of the gametic array of the SV can be visualized as a set whose elements are the $2mL + 2ms$ genes contributed by the mL and ms individuals that represent the L lines and s single crosses, respectively. Thus, the calculation of the probability that two random genes taken with replacement are *IBD* can be explicitly made based on the classical definition of probability.

Since the initial $L+2s$ lines were assumed to be unrelated (without parentage) and their inbreeding coefficient was F_L ($0 \leq F_L \leq 1$), the contributions to the inbreeding coefficient of the $Syn_{L,SC}$ can occur only when two sampled genes trace back to the same individual (as a selfpollination) and to two individuals from the same line or single cross (as an intraparental cross).

The prediction equation, based on a decomposition of the genotypic array of the SV into subpopulations that, once evaluated in the field, produce data that enable the breeder to develop unbiased estimators of the genotypic mean of the SV, was considered as well.

With respect to the prediction of the genotypic mean of the $Syn_{L,SC}$ based on experimental data only, let $A_{pi1}A_{pi2}$ be the genotype of the p -th individual that represents parent i . Consider a random sample of size two with replacement taken from the $2m(L + s)$ genes of the gametic array, the probability that the obtained genes are those that integrate the ordered genotype $A_{pik}A_{qjl}$ is $1/[2m(L+s)]^2$ ($p, q = 1, 2, 3, \dots, m; i, j = 1, 2, 3,$

..., $L + s$; $k, l = 1, 2$). In addition, if $Y_{pik,qjl}$ is the genotypic value of $A_{pik}A_{qjl}$, the expected genotypic mean of the SV derived from L lines and s single crosses ($MSyn_{L,SC}$) must be expressable as:

$$MSyn_{L,SC} = \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^m \sum_{i=1}^{L+s} \sum_{j=1}^{L+s} \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 Y_{pik,qjl} / [2m(L + s)]^2 \quad (1)$$

It should be noted that if in Equation 1 $Y_{pik,qjl}$ is substituted for $A_{pik}A_{qjl}$, the equation becomes the genotypic array of the $Syn_{L,SC}$, whose gametic array is:

$$\sum_{p=1}^m \sum_{i=1}^{L+s} \sum_{k=1}^2 [2m(L + s)]^{-1} A_{pik}$$

RESULTS

Inbreeding coefficients

Each genotype of the genotypic array of the $Syn_{L,SC}$ can be visualized as formed by two random genes taken with replacement from the set of the $2m(L+s)$ genes of the gametic array of the parents of the SV. Two sources of the inbreeding coefficient of the $Syn_{L,SC}$ ($FSyn_{L,SC}$) are the Lm selfpollinations of the L lines and their $Lm(m-1)$ intraparental crosses; in each case, the frequency of the genotypes generated by two *IBD* genes is expected to average $(1+F_L)/2$. Thus, the contribution of the L lines to the $FSyn_{L,SC}$ is:

$$\frac{[4Lm + 4Lm(m-1)](1+F_L)/2}{[2m(L+s)]^2}$$

Similarly, the two remaining contributions to the $FSyn_{L,SC}$ are from the sm selfpollinations of the parental single-cross hybrids and their $sm(m-1)$ intraparental crosses. Since the frequencies of genotypes formed with two *IBD* genes are expected to average $1/2$ and $(1+F_L)/2$, respectively, the two contributions of the s single crosses to $FSyn_{L,SC}$ were:

$$\frac{4sm(1/2)}{[2m(L+s)]^2} \quad \text{and} \quad \frac{4sm(m-1)[(1+F_L)/2]}{[2m(L+s)]^2}$$

In summary, $FSyn_{L,SC}$, the sum of all three previous contributions, reduces to:

$$FSyn_{L,SC} = \frac{m(1+F_L)[2L+s] + 2s[1-(1+F_L)/2]}{4m(L+s)^2} \quad (2)$$

When all parents of the SV are only lines ($L > 0$ and $s = 0$), the inbreeding coefficient ($FSyn_L$) reduces to:

$$FSyn_L = \frac{1+F_L}{2L} \quad (3)$$

For $F_L = 1$, Equation 3 becomes $FSyn_L = 1/L$.

When $L = 0$ and $s > 0$, according to Equation 2, the inbreeding coefficient of the resulting SV ($FSyn_{SC}$) is:

$$FSyn_{SC} = \frac{1+F_L}{4s} + \frac{1-F_L}{4ms} \quad (4)$$

For $F_L=1$, Equation 4 becomes $FSyn_{SC} = 1/(2s)$, as showed in other study (5).

Table 1 shows the inbreeding coefficients of several $Syn_{L,SC}$ classified into four sets. All SVs in a set were derived from a particular group of lines, each participating in a SV only once, either as a parent of the SV, or as a parent of a parental single cross. The numbers of lines in a set were 4, 6, 8, and 10, determined according to results found for the optimum number of parents of synthetic maize varieties (2). The differences among the SVs in a set were the number of lines used to derive the single crosses that, in addition to the remaining lines of the set, were parents of a SV. For each SV, 15 inbreeding coefficients were calculated (all possible combinations between 5 values of m and 3 of F_L).

Genotypic mean

Let M_{RMP} and M_{CP} stand for the mean of the $L + s$ progenies generated by randomly mating the m individuals that represent each parent in isolation (RMP populations), and the progenies produced by all direct crosses among the $L + s$ parents, respectively. From a decomposition into two sets of progenies related with M_{RMP} and M_{CP} , Equation (1) can be rewritten as:

$$\begin{aligned} MSyn_{L,SC} &= \frac{(2m)^2(L+s)}{[2m(L+s)]^2} M_{RMP} + \frac{(2m)^2(L+s)(L+s-1)}{[2m(L+s)]^2} M_{CP} \\ &= M_{CP} - [M_{CP} - M_{RMP}]/(L+s) \end{aligned} \quad (5)$$

Equation 5 is a particular case of a prediction formula (10). Clearly, the same approach can be used to derive the GM of Syn_L ($MSyn_L$) and Syn_{SC} ($MSyn_{SC}$). For example, analogically:

$$MSyn_L = M'_{CP} - [M'_{CP} - M'_{MRP}]/(L+2s)$$

Where M'_{CP} is the mean of the $(L+2s)(L+2s-1)/2$ direct crosses of the lines and M'_{MRP} stands for the mean of the $L+2s$ populations produced by the random mating of the m plants of each of the parental lines.

Regarding the precision of the estimation of $MSyn_{L,SC}$, the variance (Var) of the experimental mean of the $Syn_{L,SC}$ ($\hat{MSyn}_{L,SC}$) for a single replication, if σ^2 is the experimental error variance, is (9):

$$Var(\hat{MSyn}_{L,SC}) = \{[2(L+s)-1]/(L+s)^3\} \sigma^2 \quad (6)$$

Analogically,

$$Var(\hat{MSyn}_L) = \{[2(L+2s)-1]/(L+2s)^3\} \sigma^2$$

and

$$Var(\hat{MSyn}_{SC}) = \{[(L + 2s) - 1]/[(L + 2s)/2]^3\} \sigma^2$$

DISCUSSION

According to Table 1 and Equations 2, 3 and 4, the inbreeding values $FSyn_L$, $FSyn_{SC}$, and $FSyn_{L,SC}$ are always directly related with F_L . In addition, when $L > 0$ and $s > 0$, then:

- 1) the relationship between number of parents ($s + L$) and inbreeding coefficient of the $Syn_{L,SC}$ is inverse. This is so because an increase in the number of unrelated parents implies an increase in interparental matings whose progeny do not contribute to inbreeding, and
- 2) the $FSyn_{L,SC}$ values are larger than those of the Syn_L and Syn_{SC} that belong to the same set. Furthermore, Equations 3 and 4 imply that when m is large, or when the initial lines are fully inbred ($F_L = 1$), $FSyn_L = FSyn_{SC}$. This result was also found with the approach to derive formulae for IC based on coancestries (5). An explanation of this is as follows: when $F_L = 1$, the formation of the single crosses does not imply losses of non-identical by descent genes, the gene frequencies in the set of single crosses and in the set of the lines are the same, and thus the inbreeding coefficients and the genotypic means of Syn_L and Syn_{SC} are the same as well. In fact, $F_L = 1$ the genotypic arrays of Syn_L and Syn_{SC} are the same. Otherwise, if the initial lines were not pure, it would be expected that $FSyn_{SC} > FSyn_L$ because the single cross parents would lose more *NIBD* genes (8).

It should be noted that whenever in the set of parents of a SV all or some have heterozygous individuals the gene frequencies that these parents contribute to their SV behave as random variables, and the magnitude of their variance may presumably be an indicator of the genetic stability of the SV. The truthfulness and utility of this assumption, however, deserves study.

For $0 \leq F_L < 1$, the two smallest inbreeding coefficients, although not necessarily equal, are $FSyn_L$ and $FSyn_{SC}$ (Equations 2, 3, 4; Table 1). This is at least partly because the gene frequencies in the initial lines are expected to be balanced in Syn_L and Syn_{SC} , whereas in $Syn_{L,SC}$ the frequency of a gene contributed directly from a line will probably double that of a gene of a line contributed *via* a single cross. With balanced gene frequencies the random mating of the parents in each of Syn_L and Syn_{SC} may produce more heterozygous genotypes relative to those of the $Syn_{L,SC}$, and therefore $FSyn_{L,SC}$ will more likely be the largest. Furthermore, it has been found that if the parents of a SV were only lines the contribution of non-identical by descent genes to the Syn_L would be the largest (8), and consequently $FSyn_L$ would be the smallest, results that are consistent with those obtained in this article. Thus, independently of the F_L value, in terms of inbreeding and hence of genotypic mean, the two best SVs are Syn_L and Syn_{SC} .

The magnitude of the decrease in the GM , of $Syn_{L,SC}$ however, also depends on how intense the inbreeding depression is in the genetical materials used. This disadvantage of $Syn_{L,SC}$, however, is ameliorated because this SV is more flexible, and reduces labor and costs. As already mentioned, relative to Syn_L , the use of $Syn_{L,SC}$ implies a decrease in the number of parents and this causes a decrease in the number of entries required for prediction. The resulting decrease is as follows: if the number of initial potential parents of a SV were p , with a decrease to $p-1$, the decrease in the number of entries to be prepared and evaluated in the field would be p [i.e., 1 $RMP+(p-1)$ crosses].

Equation 6 provides useful information to study the precision of the estimators of the genotypic means of the synthetics. For example, if $L + 2s = 12$ and $F_L < 1$, to estimate the mean of a Syn_L , 12 random mating populations (*RMPs*) must be generated and evaluated in the field (if $F_L = 1$, the formation and evaluation of *RMPs* would be substituted for the evaluation of the lines), in addition to the formation and experimental evaluation of the 66 direct crosses between the parents. Alternatively, with 12 initial lines, 4 lines and 4 single crosses could be the parents of a $Syn_{L,SC}$. In this case the entries to be developed and then evaluated would be 36 (8 *RMPs* and 28 crosses between parents). But, although costs and labor are decreased, the precision of the estimation decreases as well. In the example, the variances of the estimations of the genotypic means of the SVs derived, one from 12 lines, and the other from 4 lines and 4 single crosses, are $0.0133\sigma^2$ and $0.0293\sigma^2$, respectively. Theoretically, these results imply that in order for the two cases to have the same precision, the field evaluation of the entries for the $Syn_{L,SC}$ must use $(0.0293)/(0.0133) = 2.2$ replicates per replicate used for Syn_L , although in terms of required experimental units these two cases would need about the same number: 79.2 (36×2.2) and 78 (12 *RMPs* and 66 direct crosses between parents, respectively). Thus, although the genotypic mean decreases as the inbreeding coefficient becomes larger, the use of a mixture of lines and single crosses as parents of a synthetic variety enables the estimation of the genotypic means which, with limited resources, could not otherwise be possible (with Syn_L , for example).

Generalizing, *GM* and precision of estimation of *GM* (*PE*) undergo a reduction when a $Syn_{L,SC}$ is used instead of Syn_L . But whereas the labor and costs due to the use of $Syn_{L,SC}$ can be quantitatively measured, the magnitude of the effects on *GM* and *PE* due to the use of $Syn_{L,SC}$ are difficult to be assessed before making a decision relative to the

choice of SV to be developed. The effect of the increase in IC on GM depends on the size of the increase and on how sensitive the genetic material used is to inbreeding, whereas the magnitude of the PE depends on the number of entries under evaluation in the field, the number of replications, the experimental technique and the experimental materials. In addition to the previous considerations, the breeders should take into account the particularities of their breeding program (budget, number of single crosses and lines available, land area, labor capacity, target environments, target farmers, etc.).

CONCLUSIONS

From the equations derived for inbreeding coefficients (IC), genotypic means (GM) and precision of estimation of GM (PE), it is known that if a change from p to $p-1$ parents of a SV is made (when two lines are substituted for their single cross), then: 1) the number of entries that require field evaluation to predict performance of all possible SVs derived from the $p-1$ parents decreases by p units, 2) there is a loss of precision estimation of GM (PE), and 3) the IC increases and GM decreases. While labor and cost reductions can be calculated, the effects on GM and PE depend, apart from a change of p entries and the number of replications (PE), on the genetic background of the parents (GM) and the experimental technique and materials used (PE). In addition, maize breeders should consider the particularities of the breeding program to decide the type of SV to be developed (budget, flexibility of $Syn_{L,SC}$, labor capacity, experimental technique, target environments, target farmers, etc.).

REFERENCES

1. BUSBICE, T. H., 1970. Predicting yields of synthetic varieties. *Crop Science* 10:260-269.
2. KUTKA, F. J.; SMITH, M. E. 2007. How many parents give the highest yield in predicted synthetic and composite populations of maize? *Crop Science* 47:1907-1913.
3. MÁRQUEZ-SÁNCHEZ, F. 2008. Endogamia y predicción de sintéticos de maíz de cruza dobles. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:1-4.
4. SAHAGÚN, J. 2011. Inbreeding and yield of synthetic varieties derived from single and double cross hybrids. *Maydica* 56(3):265-271.
5. SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. E. 2011. Inbreeding of synthetic varieties derived from lines and single crosses. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17(3):107-115.
6. SAHAGÚN, J.; RODRÍGUEZ, J. E.; PEÑA, A. 2005. Predicting yield of synthetic varieties derived from double crosses. *Maydica* 50:129-136.
7. SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; VILLANUEVA-VERDUZCO, C. 1997. Teoría de las variedades sintéticas formadas con cruza simples. *Revista Fitotecnia Mexicana* 20:69-80.
8. SAHAGÚN-CASTELLANOS, J.; VILLANUEVA-VERDUZCO, C. 2012. ¿Variedades sintéticas derivadas de cruza simples o de cruza dobles? *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(3):279-289
9. WRICKE, G.; WEBER, W.E. 1986. *Quantitative Genetics and Selection in Plant Breeding*. Walter de Gruyter. Berlin. New York. USA. 406 p.

10. WRIGHT, A.J. 1981. The quantitative genetics of diploid synthetic varieties. Proc. Fourth Meeting of the Section Biometrics in Plant Breeding. Poitiers, France, Sept. 2-4. pp. 137-157.

CUADRO 1. Inbreeding coefficients (X1000) of the synthetic varieties (SVs) of four sets, each developed from a particular set of unrelated parental lines whose inbreeding coefficient is F_L . Each SV is derived from L lines and s single crosses, and each parent is represented by m individuals. In a set each line participates only once in each SV, either as a parent itself or as a parent of a single cross that is a parent of the SV.

CUADRO 1. Coeficientes de endogamia (x1000) de las variedades sintéticas (SVs) de cuatro conjuntos, cada uno desarrollado a partir de un grupo particular de líneas cuyo coeficiente de endogamia es F_L . Cada SV tiene como progenitores L líneas y s cruza simples, cada uno representado por m individuos. En cada conjunto cada línea participa una vez en cada SV, como progenitora o para formar una crusa simple progenitora de la SV.

		$F_L = 0.500$					$F_L = 0.750$					$F_L = 0.875$				
		m					m					m				
L	s	10	20	50	100	200	10	20	50	100	200	10	20	50	100	200
4	0	188	188	188	188	188	219	219	219	219	219	234	234	234	234	234
2	1	210	209	209	208	208	244	243	243	243	243	261	261	260	260	260
0	2	194	192	189	188	188	222	220	219	219	219	236	235	235	235	234
6	0	125	125	125	125	125	146	146	146	146	146	156	156	156	156	156
4	1	136	135	135	135	135	158	158	158	158	158	169	169	169	169	169
2	2	142	141	141	141	141	165	164	164	164	164	176	176	176	176	176
0	3	129	127	126	125	125	148	147	146	146	146	157	157	156	156	156
8	0	94	94	94	94	94	109	109	109	109	109	117	117	117	117	117
6	1	100	100	100	100	100	116	116	116	116	116	124	124	124	124	124
4	2	105	105	104	104	104	122	122	122	122	122	130	130	130	130	130
2	3	107	106	105	105	105	123	123	123	123	123	132	131	131	131	131
0	4	97	95	94	94	94	111	110	110	110	109	118	118	117	117	117
10	0	75	75	75	75	75	88	88	88	88	88	94	94	94	94	94
8	1	79	79	79	79	79	92	92	92	92	92	98	98	98	98	98
6	2	82	82	82	82	82	96	96	96	96	96	103	103	103	103	103
4	3	85	85	84	84	84	99	98	98	98	98	105	105	105	105	105
2	4	85	84	84	83	83	98	98	97	97	97	105	104	104	104	104
0	5	78	76	75	75	75	89	88	88	88	88	94	94	94	94	94

CAPÍTULO II.

EVALUACIÓN DE SINTÉTICOS DE MEZCLAS DE CRUZAS SIMPLES Y LÍNEAS DE MAÍZ DULCE PARA ELOTE

RESUMEN

Por diversas razones, la formación de variedades sintéticas (VSs) de maíz (*Zea mays* L.) cuyos progenitores son híbridos ha sido una posibilidad atractiva. Por ejemplo, se ha argumentado que en ocasiones se siembran generaciones avanzadas de híbridos que devienen en poblaciones que han sido visualizadas como las VSs que se formarían con las líneas progenitoras de tales híbridos, usualmente poseedoras de buena aptitud combinatoria. Otra posibilidad es la disponibilidad de material genético que puede incluir híbridos y líneas, lo que posibilita el desarrollo de VSs formadas con mezclas de L líneas y s híbridos. De esta posibilidad, sin embargo, no se ha hecho evaluación experimental alguna. El objetivo de este trabajo fue estudiar el comportamiento en campo de estas VSs. Se formaron y evaluaron en tres localidades 20, 10 y 4 VSs formadas con las combinaciones de progenitores ($0\ s$), ($L\ s$) y ($L\ 0$), respectivamente. Se encontró que globalmente los tres tipos de VSs y los testigos fueron iguales ($\alpha \leq 0.05$) en rendimiento de elote de cada una de cuatro calidades y en otras 13 variables. Sin embargo, la significancia ($\alpha \leq 0.05$) de la interacción genotipo-ambiente hace relevante el estudio de las VSs en cada localidad. Por ejemplo, los promedios de elotes de primera calidad observados en el Campo Experimental Zacatepec, Mor. (CEZ), fueron 4,690, 4,810, 5,000 y 11,250 elotes/ha para las VSs ($0\ s$), ($L\ s$), ($L\ 0$) y testigos, respectivamente; mientras que en el Campo Experimental San Martín (CEM), Chapingo, Edo de Méx. se obtuvieron, en el mismo orden: 18,200, 16,030, 15,940 y 11,110 elotes/ha y en el Campo Experimental San Juan (CEM), Chapingo, Edo de Méx.: 1,980, 180, 940 y 2,190, respectivamente. Adicionalmente, no se encontró

relación entre el número de líneas involucradas en los progenitores de las VSs y el desempeño de éstas.

Palabras clave: Variedades sintéticas, apareamiento aleatorio, mejoramiento genético de plantas, interacción, *Zea mays* var. *saccharata*.

ABSTRACT

For diverse reasons, the formation of maize (*Zea mays* L.) synthetic varieties (VSs) whose parents are hybrids have been an attractive possibility. For example, it has been said that sometimes advanced generations of hybrids are grown and become populations viewed as the SVs derived from the líneas that are the parents of hybrids and usually have good combining ability. Another possibility is the availability of genetic materials that can include hybrids and líneas which make it possible to develop VSs from mixtures of them. However, SVs of this type have not been experimentally evaluated. The objective of this work was to study how these SVs perform in the field. Twenty, 10, and 4 SVs formed with the combinations of parents ($O \times S$), ($L \times S$) and ($L \times O$), respectively were evaluated in three locations. According to the combined analysis the three types of SVs and controls did not differ statistically ($\alpha \leq 0.05$) in corncob yield of first, second, third and fourth qualities and other 13 variables. However, the significant ($\alpha \leq 0.05$) genotype by environment interaction made it pertinent to study the VSs in each location. For instance, the observed averages of first quality corncob yields in the experimental field Zacatepec, Mor. were 4,690, 4,810, 5,000 and 11,250 corncobs/ha. For the SVs of types ($O \times S$), ($L \times O$), ($L \times S$), and controls, respectively, while in San Martin, in the same order, the averages were: 18,200, 16,030, 15,840, and 11,110 corncobs/ha and in the experimental field San Juan, the averages were: 1,980, 1,800, 940 and 2,190 corncobs/ha,

respectively. Additionally, no relationship between the number of lines involved in a set of parents of a SV and its performance was observed.

Keywords: synthetic varieties, random mating, plant breeding, interaction, *Zea mays* var. *saccharata*

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el modelo de un locus en especies diploides, como el maíz (*Zea mays* L.), una variedad sintética (VS) es la población que resulta del apareamiento aleatorio de sus progenitores. Para efectos de predicción de la media genotípica de una VS, Busbice (1970) define a la población formada por los progenitores de la variedad como Sin-0; a la población que resulta de todas las cruzas entre ellos como el Sin-1, mientras que al resultado del apareamiento aleatorio entre los individuos del Sin-1, le llama Sin-2, que es la variedad sintética. Por su origen y porque las generaciones sucesivas se producen por apareamiento aleatorio, las variedades sintéticas se caracterizan por poseer una plasticidad poblacional que les permite ser una buena alternativa para la agricultura de bajos insumos (Sahagún *et al.*, 2005).

Respecto al maíz (*Zea mays* L.), para la agricultura de baja inversión se ha propuesto el uso de variedades sintéticas en lugar de híbridos, con la finalidad de evitar el alto costo de la semilla de éstos (Márquez, 2008). Típicamente, una VS tiene como progenitores a un conjunto de líneas. Sin embargo, otras alternativas ya han sido estudiadas.

En la práctica se han desarrollado variedades sintéticas (VSs) con rendimientos satisfactorios a partir del uso de líneas como progenitores, aunque esto puede implicar el manejo de un número grande de progenitores potenciales, además de demandar demasiados recursos y trabajo (Sahagún y Rodríguez, 2011). Con el uso de cruzas simples o cruzas dobles como progenitores de una VS, con relación al uso de líneas, se reduce el número de progenitores en un 50 y 75 %, respectivamente. Esto permite simplificar y tener un mejor control de la participación de cada progenitor e, importantemente, el costo de la predicción de la media genotípica de la VS se reduce

considerablemente. Además, se supone que las líneas que forman los híbridos de cruce simple o cruce doble, son líneas seleccionadas por su alta aptitud combinatoria, lo cual es conveniente en su papel de progenitores de una VS (Sahagún y Villanueva, 1997). Esto último es particularmente interesante cuando ya se cuenta con variedades híbridas.

Las cruces simples y dobles como progenitores, deseablemente no deben contribuir con niveles importantes de endogamia y, en su caso, ésta no debe estar asociada con una fuerte depresión endogámica. Además, estas cruces deben ayudar a que el rendimiento se mantenga dentro de niveles aceptables (Sahagún y Villanueva, 1997).

Por otra parte, Sahagún y Rodríguez (2011) plantearon la posibilidad de generar las variedades sintéticas (VSs) a partir de la combinación de s cruces simples y L líneas [$VS_{(L-s)}$], con el objetivo de reducir el número de progenitores (originalmente $L+2s$ líneas) y con esto, el costo y trabajo para predecir las VSs. Estos autores, para un número par fijo de $L+2s$ líneas homocigóticas no emparentadas, encontraron que el coeficiente de endogamia de un $VS_{(L-s)}$ es $\{1+Ls/[2(L+s)^2]\} / (L+2s)$, que alcanza su mínimo cuando los progenitores son sólo líneas ($s=0$) o sólo cruces simples ($L=0$).

Sin embargo, esta alternativa (mezcla de líneas y cruces simples) no ha sido estudiada en la práctica, y existen muchos temas inéditos en este escenario. Por ejemplo, el relativo al número de progenitores y al desempeño del sintético en términos de este número. El objetivo de este estudio es hacer una evaluación experimental de sintéticos formados con híbridos de cruces simples y líneas para investigar, experimentalmente,

su comportamiento en relación a los sintéticos derivados de sólo líneas o sólo cruzas simples.

MATERIALES Y MÉTODOS

Variedades

De un grupo de 80 líneas S_1 de maíz dulce (gen *su1*) (*Zea mays* var. *saccharata*), formadas en el campo San Martín de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), se seleccionaron 20 al azar. A éstas se les asignaron sendos números del 1 al 20. La población de la que se derivaron las líneas S_1 en lo sucesivo se denominará Sintético Original, el cual es una variedad mejorada, resultado del cruzamiento entre una variedad local adaptada a las condiciones del campo experimental de San Martín, con un híbrido comercial norte americano y un retrocruzamiento hacia la variedad local, y estabilizada por cuatro generaciones de cruzamientos fraternales. Durante el ciclo primavera-verano del 2010, cada línea se estableció en surcos de 5 metros de largo y una separación entre ellos de 80 cm y separación entre plantas de 20 cm. Con estas líneas se realizaron 10 cruzas simples: 1x2, 3x4, 5x6, 7x8, 9x10, 11x12, 13x14, 15x16, 17x18 y 19x20.

De las 10 cruzas simples se hicieron 20 conjuntos diferentes: cinco de dos, cinco de tres, cinco de cuatro, y cinco de cinco cruzas simples, durante el ciclo de otoño-invierno del 2010, en el municipio de Autlán, Jal. Y del apareamiento aleatorio, simulado manualmente, de las cruzas simples de cada uno de los 20 conjuntos, se formó una variedad sintética ($VS_{(0\ s)}$).

También, durante el ciclo agrícola de primavera-verano del 2011, en el Campo Experimental San Martín, de la UACH (CESM), se formaron 10 variedades sintéticas (VSs) cuyos progenitores fueron mezclas de líneas y cruza simples ($VS_{(L, s)}$), que en la forma ordenada (número de líneas, número de cruza simples) fueron: (2 1), (4 1), (2 2), (6 1), (4 2), (2 3), (8 1), (6 2), (4 3), (2 4). Del apareamiento aleatorio artificial (hecho a mano) de los miembros de cada conjunto se generó una variedad sintética del tipo $VS_{(L, s)}$.

Además, durante este mismo ciclo agrícola, se generaron 4 variedades sintéticas, cuyos progenitores fueron exclusivamente líneas ($VS_{(L, o)}$). Para ello, se hicieron 4 grupos de líneas, uno de 4, uno de 6, uno de 8 y uno de 10 líneas tomadas al azar, y del apareamiento aleatorio dentro de cada grupo, realizado manualmente también, se generó una variedad sintética del tipo $VS_{(L, o)}$.

En cada uno de los tres tipos de variedades sintéticas se cuidó que en cada una de las 34 variedades consideradas no hubiera repetición de líneas. Además, el número de plantas representantes de cada progenitor, línea o cruza simple, siempre fue 100.

Ambientes

Las 34 variedades sintéticas y los testigos correspondientes se evaluaron en tres campos experimentales: Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en Zacatepec (CEZ) en el Estado de Morelos, Campo experimental San Martín (CESM) y campo Experimental San Juan (CESJ), estos últimos ubicados en la Universidad Autónoma Chapingo en el Estado de México.

1). Campo experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, en la comunidad de Zacatepec, Morelos (CEZ), ubicado a 18°41' de latitud Norte y 99°11' de longitud Oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 910 metros. El tipo de clima es $Aw_0(w)(i')gw$ (clima cálido con lluvias en verano), la temperatura media anual es de 22 °C, durante el invierno oscila de 9 a 30 °C (Guerrero, 1993). La siembra se realizó el 07 de diciembre del 2011.

El tipo del suelo del lote experimental se clasifica como vertisol pélico. Este tipo de suelo se caracteriza por poseer un pH alcalino o neutro (≥ 7.0), con alto contenido de materia orgánica (1 a 3 %, pudiendo encontrarse hasta 5 a 6 % en los vertisoles de color más oscuro). Su conductividad eléctrica es de hasta 13.5 ds/m. Los cationes como el calcio y magnesio son los más abundantes en este tipo de suelo. Por su textura fina y su alto contenido de arcilla (mayor al 35 %), estos suelos son considerados muy fértiles y con problemas de agrietamiento en ausencia de humedad, dificultando el manejo agrícola (Guerrero, 1993).

Las evaluaciones restantes se hicieron en los Campos Experimentales San Martín (CESM) y San Juan (CESJ) de la Universidad Autónoma Chapingo, localizada a 19° 29' LN, 98° 53' LO y una altitud de 2240 metros sobre el nivel del mar. El tipo de subclima $C(w1)(W)b(i)$ (clima templado húmedo con lluvias en verano) y temperatura media anual de 18°C (Vanegas, 2009). Con precipitación promedio anual alrededor de 636 mm. En el periodo de junio a septiembre ocurren las lluvias más abundantes (García, 1988).

2) El Campo Experimental San Martín (CESM) se caracteriza por poseer suelos profundos y fértiles, del tipo franco arcillo-limoso con pH de 7, con alto contenido de

materia orgánica (2 %), de la cual, el 0.10 % es nitrógeno total; su contenido de fósforo (determinado por el método de Olsen) es de 13.54 mg.kg⁻¹; su conductividad eléctrica es 0.48 ds.m⁻¹ (Ramos, 2000), clasificados de acuerdo con Oropeza (1980) como suelos del tipo fluvisoleútrico (*Entisoles*), que son formados por depósitos aluviales recientes. La siembra se realizó el 24 de mayo del 2012.

3). El Campo Experimental San Juan (CESJ) tiene su suelo franco arenoso, pH de 7.6 y bajo contenido de materia orgánica (0.9 %), de la cual 0.15 % es nitrógeno total; su contenido de fósforo (determinado por el método de Olsen) oscila entre 10 mg.Kg⁻¹; la conductividad eléctrica es de 0.11 ds.m⁻¹ (Contreras y Pérez, 1998). El tipo de suelo se clasifica como litosol (*Entisol*), que se caracteriza por aflorar la roca dura y somera a poca profundidad (varía entre los 25 y 30 cm) (Oropeza, 1980). La siembra se realizó el 27 de mayo del 2012.

Evaluación

Además de las 34 variedades sintéticas [20 derivadas de cruza simple ($VS_{(0\ s)}$), 10 de líneas y cruza simple ($VS_{(L\ s)}$), y 4 formadas con líneas ($VS_{(L\ o)}$)], también se evaluaron 6 testigos. Las evaluaciones se hicieron en los tres ambientes. Los testigos evaluados en Zacatepec, Morelos, fueron seis variedades: Cronos, Costeño Mejorado, Bandit, Sintético Original, Cruza Simple 1X20 y RLF2 [(5x3)X(p-87)xkandy(om)2010]. Mientras que en los campos experimentales San Martín y San Juan, los testigos fueron: Sintético Original, Bandit, HS-2 (COLPOS), Niebla, Cruza Simple (1X20) y AZ-60 (ASGROW).

Los experimentos se condujeron en un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. La unidad experimental se formó por 4 surcos de 5 metros de largo, separados a 0.8 metros. En todos los casos se dejaron 26 plantas por surco (65,000 plantas por hectárea).

Las variables se eligieron y midieron según la metodología de los descriptores de maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (IBPGR,1991). Grupos de variables: 1) días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF), los días que transcurrieron desde la siembra (dds) hasta que al menos el 50 % de las plantas mostraran cada tipo de flor, 2) altura de planta (AP) y de elote (AE), cuantificadas en metros (m), evaluadas desde el nivel del suelo a la base de la espiga o al nudo donde se inserta el elote, respectivamente; 3) la longitud del elote con brácteas (LECB) y sin brácteas (LESB), se expresaron en centímetros (cm), fueron evaluadas desde la base del elote a la punta de las brácteas o del olote, según el caso; 4) diámetro del elote con brácteas (DECB) y sin brácteas (DESB), cuantificado en centímetros (cm), en la parte media transversal del elote; 5) el número de brácteas (NDB), número de hileras en elote (NHE) y número de granos por hileras (NGH) fueron determinados para cada unidad experimental; 6) para las variables de rendimiento de elote de primera (REPC), segunda (RESC), tercera (RETC) y cuarta calidad (RECC) y rendimiento total de elote por hectárea (RTE). Éstas fueron expresadas como el número de elotes por hectárea (Calculado con base en el número teórico de plantas por surco y de acuerdo con las densidades de siembra). Al momento de la cosecha los elotes se clasificaron y se contaron de acuerdo con las calidades antes mencionadas en cada parcela y finalmente se expresaron en unidades por hectárea.

Análisis estadístico

El modelo utilizado en el Statistical Analysis System (SAS) versión 9 para hacer el análisis de varianza de cada una de las variables fue: $Y_{ijk} = \mu + V_i + A_j + (VA)_{ij} + B_{k(j)} + E_{ijk}$. Y_{ijk} : valor de la i -ésima variedad en el k -ésimo bloque del j -ésimo ambiente; μ : media general; V_i : efecto de la i -ésima variedad; A_j : efecto del j -ésimo ambiente; $(VA)_{ij}$: efecto de interacción de la variedad i por el ambiente j ; $B_{k(j)}$: efecto del k -ésimo bloque anidado en el j -ésimo ambiente; E_{ijk} : error experimental de la observación Y_{ijk} . Con base en el modelo anterior se realizó el análisis de varianza combinado, considerando únicamente los testigos en común para los tres ambientes. También se hizo el análisis de varianza para cada ambiente. Tanto en el caso del experimento de Zacatepec, como en el de San Juan, Edo de Méx. se desechó la información de una repetición por haber sufrido serías afectaciones ajenas al desarrollo normal de los experimentos. Mediante contrastes, se realizaron comparaciones de grupos de variedades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Varianza

El análisis de varianza combinado (Cuadro 1) detectó significancia estadística ($\alpha \leq 0.05$) entre las medias de los ambientes (AMB) en todas las variables, y entre las medias de las variedades (VAR) para la mayoría de las variables; las excepciones fueron: días a floración masculina (DFM), rendimiento de elote de segunda (RESC) y tercera calidad (RETC). Respecto a la interacción entre variedades y ambientes (VAR*AMB), se observó significancia estadística ($\alpha \leq 0.05$) para todas las variables con excepción de días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF) y el número de hileras por elote (NHE). Una de las implicaciones de la significancia de la interacción es la conveniencia

de tomar en consideración el análisis de las variedades en cada uno de los ambientes ya que debido a tal interacción, el comportamiento relativo de éstas no es el mismo de un ambiente a otro.

Entre las fuentes de variación, se observó que “ambientes” presentó diferencias porcentuales entre valores de las sumas de cuadrados (SC), datos no reportados, que van desde 42 hasta 96 % por arriba de los valores de la SC de “variedades”. Este comportamiento se observa para la mayoría de las variables evaluadas; entre las excepciones están el número de hileras por elote, en que la diferencia en porcentaje fue mínima (0.66 %), profundidad de grano (80.35 %) y rendimiento total de elote (70.06 %), en las que la fuente de variación “variedades” superó a los de “ambientes”. Los resultados coinciden con los frecuentemente encontrados en muchos cultivos como con los reportados en trabajos realizados en trigo (*Triticum aestivum* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.) por Kaya *et al.* (2002) y Kayode *et al.* (2009), respectivamente, quienes, mediante el modelo de análisis AMMI (additive main effects and multiplicative interactions) encontraron que el principal factor de variación que influyó en el rendimiento de grano, en ambos cultivos, fue “ambientes”. Similar comportamiento fue reportado por Banik *et al.* (2010), quienes encontraron diferencias estadísticas significativas ($\alpha \leq 0.05$) al evaluar el comportamiento de altura de plantas y rendimiento en 20 híbridos de maíz en 4 zonas agroecológicas.

CUADRO 1. Significancias en el análisis de varianza combinado de 17 caracteres de 34 variedades sintéticas (VSs) y tres testigos. La evaluación se hizo en tres ambientes.

VARIABLES	FUENTES DE VARIACIÓN				CV (%)	MEDIA
	AMB	VAR	VAR*AMB	BLOQUES:AMB		
DFM (dds)	**	NS	NS	NS	7.15	73.08
DFF (dds)	**	**	NS	NS	3.07	79.67
AP (m)	**	**	**	**	13.04	1.83
AE (m)	**	**	**	NS	21.32	0.90
LECB (cm)	**	**	**	**	12.13	25.49
LESB (cm)	**	**	**	**	17.30	14.70
DECB (cm)	**	**	**	**	11.70	4.92
DESB (cm)	**	**	**	**	12.85	4.21
NDB (cm)	**	**	*	NS	29.09	10.21
NHE	**	**	NS	NS	14.59	15.20
NGH	**	**	**	**	24.13	23.62
PG (cm)	**	**	**	**	18.66	1.03
REPC (No. de elotes/ha)/10 ³	**	**	**	**	37.23	9.18
RESC (No. de elotes/ha)/10 ³	**	NS	*	NS	34.73	13.19
RETC (No. de elotes/ha)/10 ³	**	NS	*	**	29.11	20.92
RECC (No. de elotes/ha)/10 ³	**	**	**	*	61.30	7.06
RTE (No. de elotes/ha)/10 ³	**	**	**	**	14.83	50.40

NS,*; **: No significancia y significativo a un $\alpha \leq 0.05$, $\alpha \leq 0.01$, respectivamente; AMB: ambiente; VAR: Variedad; AMB*VAR: interacción ambiente por variedad; BLOQUE:AMB: bloques anidados en ambiente; CV: coeficiente de variación; DFM: días a floración masculina; DFF: días a floración femenina; dds: días después de la siembra; AP: altura de planta; AE: altura al elote; LECB: longitud del elote con brácteas; LESB: longitud del elote sin brácteas; DECB: diámetro del elote con brácteas; DESB: diámetro del elote sin brácteas; NDB: número de brácteas; NHE: número de hilera de grano en el elote; NGH: número de granos por hilera; PG: profundidad de grano; REPC: rendimiento de elote de primera calidad; RESC: rendimiento de elote de segunda calidad; RETC: rendimiento de elote de tercera calidad por hectárea; RECC: rendimiento de elote de cuarta calidad por hectárea; RTE: rendimiento total de elote por hectárea.

Análisis de Contrastes entre tipos de variedades sintéticas

Los tres contrastes posibles entre las medias de los tres tipos de variedades sintéticas [las hechas con sólo líneas ($VS_{(L\ 0)}$), sólo cruza simple ($VS_{(0\ s)}$) y mezclas de líneas y cruza simple ($VS_{(L\ s)}$)] calculadas con los datos de los tres ambientes no fueron significativos ($\alpha \leq 0.05$) para ninguna de las 17 variables estudiadas (Cuadro 2). Por lo que se refiere a las 14 variables que mostraron significancia ($\alpha \leq 0.05$) en el análisis de varianza combinado (Cuadro 1), la ausencia de significancia estadística de los contrastes de tipos de variedades sintéticas, cuando sí hay diferencias estadísticas ($\alpha \leq 0.05$) entre las variedades individuales, es explicable por la variación que debe haber en forma predominante entre las variedades individuales que pertenecen a un mismo tipo de variedad sintética.

Por su parte, la media de los testigos que en común se utilizaron en los tres ambientes difirió de la media de uno o dos tipos de variedad sintética ($\alpha \leq 0.05$), sólo en 9 de los 51 casos posibles (Cuadro 2). Las medias de altura de planta (AP), altura (AE) y rendimiento total (RTE) de elote fueron menores en los testigos que en los tipos de sintéticos $VS_{(L\ 0)}$ y $VS_{(0\ s)}$. Los tres contrastes significativos restantes correspondieron a los diámetros de elote con (DECB) y sin brácteas (DESB), y al número de granos por hilera (NGH). Los promedios de estas variables fueron más pequeños en los testigos que en las variedades del tipo $VS_{(0\ s)}$ ($\alpha \leq 0.05$).

CUADRO 2. Contrastes de medias de tres testigos y medias de tres tipos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con L líneas y s cruzas simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en tres ambientes. En las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.

VARIABLES	TIPOS DE VSs			TC
	VS(0 s)	VS(L 0)	VS(L s)	
DFM (dds)	73.59 a	73.18 a	72.10 a	73.37 a
DFF (dds)	79.94 a	79.32 a	79.08 a	80.45 a
AP (m)	1.86 a	1.87 a	1.81 ab	1.68 b
AE(m)	0.92 a	0.93 a	0.88 ab	0.76 b
LECB (cm)	25.46 a	25.17 a	25.68 a	25.28 a
LESB (cm)	14.76 a	15.02 a	14.56 a	14.06 a
DECB (cm)	4.97 a	4.92 ab	4.90 ab	4.63 b
DESB (cm)	4.26 a	4.23 ab	4.19 ab	3.79 b
NDB	10.17 a	10.14 a	10.27 a	10.30 a
NHE	15.29 a	15.26 a	14.98 a	15.03 a
NGH	23.52 a	24.86 ab	23.77 ab	21.62 b
PG (cm)	1.03 a	1.05 a	1.03 a	1.00 a
REPC (No. de elotes/ha)/10 ³	9.71 a	8.53 a	8.36 a	8.74 a
RESC (No. de elotes/ha)/10 ³	13.83 a	12.58 a	12.77 a	10.78 a
RETC (No. de elotes/ha)/10 ³	21.57 a	21.83 a	20.26 a	17.35 a
RECC (No. de elotes/ha)/10 ³	7.27 a	8.26 a	6.37 a	6.42 a
RTE (No. de elotes/ha)/10 ³	52.42 a	51.19 a	47.89 ab	43.29 b

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

VS(0 s): variedades sintéticas de sólo cruzas simples; VS(L s): variedades sintéticas de L líneas y s cruzas simples; VS(L 0): variedades sintéticas de sólo líneas; TC: testigos comunes [Bandit, Sintético original, Cruza simple (1X20)].

DFM: días a floración masculina; DFF: días a floración femenina; dds: días después de la siembra; AP: altura de planta; AE: altura de elote; LECB: longitud de elote con brácteas; LESB: longitud de elotes sin brácteas; DECB: diámetro de elote con brácteas; DESB: diámetro de elote sin brácteas; NDB: número de brácteas; NHE: número de hilera de elote; NGH: número de grano por hilera; PG: profundidad de grano; REPC: rendimiento de elote de primera calidad; RESC: rendimiento de segunda calidad; RETC: rendimiento de elote de segunda calidad; RECC: rendimiento de elote de cuarta calidad; RTE: rendimiento total de elote.

Respecto al comportamiento relativo de los tres tipos de sintéticos estudiados en cada uno de los tres ambientes, hay que considerar que la interacción significativa ($\alpha \leq 0.05$ o $\alpha \leq 0.01$) entre genotipos y ambientes hace posible que tal comportamiento no sea sostenido a través de los tres ambientes. Esto hace pertinente el estudio del desempeño de los tipos de variedades sintéticas en cada uno de los tres ambientes. Para las variables de rendimiento de elote de segunda (RESC) y tercera (RETC) calidad, este resultado era de esperarse por su falta de significancia en la fuente de variación de “variedades” en el análisis de varianza combinado (Cuadro 1).

En Zacatepec, Mor., de las 17 variables estudiadas, 15 tuvieron medias de los tres tipos de variedades sintéticas que fueron estadísticamente iguales ($\alpha \leq 0.05$, Cuadro 3). Las excepciones fueron diámetro de elote con (DECB) y sin (DESB) brácteas, en congruencia con los resultados del análisis combinado (Cuadro 2). En esta localidad, las medias de los testigos fueron menores que la de $VS_{(0\ s)}$ en altura de planta (AP) y que las de $VS_{(L\ 0)}$ y $VS_{(L\ s)}$ en altura de elote (AE). En longitud de elote con brácteas (LECB), en cambio, la media de los testigos comunes (TC) superó a la de $VS_{(L\ s)}$ por cerca de 2 cm.

Respecto a rendimiento de elote, los testigos en esta localidad (Zacatepec, Mor.) fueron superados en rendimiento de tercera calidad (RETC) por $VS_{(0\ s)}$ pero superaron a los tres tipos de sintéticos en rendimiento de elotes de primera calidad (REPC) ($\alpha \leq 0.05$); mientras que la media de los testigos fue 11,250 elotes/ha, la segunda media observada más alta fue la de $VS_{(L\ 0)}$ con sólo 5,000 elotes/ha. Este comportamiento es, otra vez, un reflejo de la interacción entre genotipos y ambientes ya que las medias de estas variables en el análisis combinado tuvieron un comportamiento relativo diferente.

Para los sintéticos, que fueron desarrollados con material adaptado a San Martín, Zacatepec debió haber sido una localidad no del todo favorable en algunas de sus características ambientales.

CUADRO 3. Contrastes de medias de tres testigos y medias de tres tipos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con mezclas de L líneas y s cruzas simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en el Campo Experimental Zacatepec, Mor. Las medias de las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.

VARIABLES	TIPO DE VSs			TC
	VS _(0 s)	VS _(L 0)	VS _(L s)	
DFM (dds)	72.25 a	73.25 a	72.45 a	71.33 a
DFF (dds)	78.63 a	78.75 a	78.70 a	77.50 a
AP (m)	2.09 a	2.02 ab	2.05 ab	1.97 b
AE (m)	1.13 a	1.16 a	1.13 a	1.03 b
LECB (cm)	21.77 ab	21.35 ab	21.04 b	22.91 a
LESB (cm)	13.26 a	13.65 a	12.96 a	14.51 a
DECB (cm)	4.41 a	4.25 ab	4.19 b	4.73 ab
DESB (cm)	3.90 a	3.75 ab	3.66 b	3.78 ab
NDB	9.22 a	8.83 a	9.19 a	9.43 a
NHE	15.76 a	15.38 a	15.37 a	16.33 a
NGH	23.02 a	25.30 a	23.23 a	23.40 a
REPC (No. de elotes/ha)/10 ³	4.69 b	5.00 b	4.81 b	11.25 a
RESC (No. de elotes/ha)/10 ³	5.40 a	4.84 a	6.79 a	5.63 a
RETC (No. de elotes/ha)/10 ³	13.59 ab	14.22 ab	12.41 ab	8.33 b
RECC (No. de elotes/ha)/10 ³	25.45 a	28.91 a	24.37 a	20.83 a
RTE (No. de elotes/ha)/10 ³	49.28 a	52.97 a	48.50 a	46.04 a

Letras diferentes de sendas medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

VS_(0 s): variedades sintéticas de sólo cruza simple; VS_(L s): variedades sintéticas de L líneas y s cruza simple; VS_(L 0): variedades sintéticas de sólo línea; TC: testigos comunes [Bandit, Sintético original, Cruza simple (1X20)].

DFM: días a floración masculina; DFF: días a floración femenina; AP: altura de planta; AE: altura de elote; LECB: longitud de elote con brácteas; LESB: longitud de elote sin brácteas; DECB: diámetro de elote con brácteas; DESB: diámetro de elote sin brácteas; NDB: número de brácteas; NHE: número de hilera del elote; NGH: número de grano por hilera; REPC: rendimiento de elote de primera calidad; RESC: rendimiento de elote de segunda calidad; RETC: rendimiento de elote de tercera calidad; RECC: rendimiento de elote de cuarta calidad; RTE: rendimiento total de elote.

San Juan (Cuadro 4) fue el ambiente que produjo los menores rendimientos de elote y donde se detectó el menor número de diferencias significativas entre medias de tipos de variedades [$VS_{(O\ S)}$, $VS_{(L\ O)}$, $VS_{(L\ S)}$ y testigos]. Sólo se observaron las tres diferencias ($\alpha \leq 0.05$) del promedio de rendimiento total de elote (RTE) de $VS_{(L\ S)}$ (41,280 elotes/ha), respecto a los de $VS_{(O\ S)}$ y $VS_{(L\ O)}$ (48,520 y 50,940 elotes/ha, respectivamente) y al de los testigos comunes (53,750 elotes/ha). Las características limitantes de este ambiente no permitieron que las variedades sintéticas expresaran todo su potencial genético. Nótese, sin embargo, que las medias de rendimiento de elote de primera, segunda y tercera calidad son estadísticamente iguales en los tres tipos de sintéticos tanto en esta localidad como en la de Zacatepec, Mor. y son consistentes con la ausencia de significancia de “variedades” en el análisis combinado de dos de las tres variables mencionadas.

Las variables en que la interacción entre variedades y ambientes no fue significativa ($\alpha \leq 0.05$, Cuadro 1) fueron: días a floración masculina (DFM) y femenina (DFF) y número de hileras de elote (NHE). En particular, DFM y DFF son variables que suelen tener una estabilidad considerable en su expresión y de ahí que sus coeficientes de variabilidad sean bajos (en este estudio fueron 7.13 y 3.07 %, respectivamente). Esta característica puede explicar su comportamiento relativo poco variable a través de los ambientes que, en su caso, facilita la tarea del fitomejorador, cuando se trata de hacer mejoramiento para precocidad. Sin embargo, esta cualidad de DFM y DFF no la tienen otras variables. En estos casos es cuando el análisis del comportamiento relativo de sus medias en cada ambiente da una mejor descripción de sus capacidades en los ambientes de prueba.

CUADRO 4. Contrastes de medias de tres testigos y medias de tres tipos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con mezclas de L líneas y s cruzas simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en el Campo Experimental San Juan, Chapingo, Edo de Méx. Las medias de las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.

VARIABLES	TIPOS DE VSs			TC
	VS(0 s)	VS(L 0)	VS(L s)	
DFM (dds)	71.13 a	69.50 a	70.35 a	72.00 a
DFF (dds)	78.10 a	77.50 a	77.20 a	80.17 a
AP (m)	1.43 a	1.49 a	1.39 a	1.36 a
AE (m)	0.55 a	0.58 a	0.51 a	0.44 a
LECB (cm)	28.02 a	28.00 a	27.49 a	27.32 a
LESB (cm)	13.13 a	13.33 a	12.86 a	11.74 a
DECB (cm)	4.67 a	4.56 a	4.64 a	4.40 a
DESB (cm)	4.07 a	4.09 ab	4.06 ab	3.72 b
NDB	8.80 a	8.23 a	8.57 a	9.61 a
NHE	14.23 a	14.19 a	13.78 a	13.57 a
NGH	20.85 a	21.71 a	20.34 a	17.97 a
PG (cm)	0.97 a	1.03 a	1.01 a	0.95 a
REPC (No. de elotes/ha)/10 ³	1.98 a	0.94 a	0.18 a	2.19 a
RESC (No. de elotes/ha)/10 ³	9.75 a	8.59 a	7.20 a	13.18 a
RETC (No. de elotes/ha)/10 ³	36.78 a	41.41 a	33.90 a	38.38 a
RTE (No. de elotes/ha)/10 ³	48.52 a	50.94 a	41.28 b	53.75 a

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

VS(0 s): variedades sintéticas de sólo cruza simple; VS(L s): variedades sintéticas de L líneas y s cruza simple; VS(L 0): variedades sintéticas de sólo línea; TC: testigos comunes [Bandit, Sintético original, Cruza simple (1X20)].

DFM: días a floración masculina; DFF: días a floración femenina; AP: altura de planta; AE: altura de elote; LECB: longitud de elote con brácteas; LESB: longitud de elote sin brácteas; DECB: diámetro de elote con brácteas; DESB: diámetro de elote sin brácteas; NDB: número de brácteas; NHE: número de hilera de elote; NGH: número de grano por hilera; PG: profundidad de grano; REPC: rendimiento de elote de primera calidad; RESC: rendimiento de elote de segunda calidad; RETC: rendimiento de elote de tercera calidad; RTE: rendimiento total de elote.

Al parecer, San Martín (Chapingo, Méx.) fue el ambiente más propicio para la producción de elote (Cuadro 5). Además, en este ambiente se observó un mayor número de diferencias estadísticas ($\alpha \leq 0.05$) entre medias de testigos y de variedades sintéticas de los tres tipos. Sólo en tres variables no se detectó diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$) de este tipo (número de brácteas, número de hileras y profundidad de grano).

Entre los tres tipos de sintéticos, solamente no hubo diferencias estadísticas ($\alpha \leq 0.05$) en ocho variables (altura de planta, longitud de elote sin brácteas, diámetro de elote con y sin brácteas, número de brácteas, número de hileras, número de granos por hilera y profundidad de grano). En rendimiento de elotes de primera calidad y de segunda calidad, los tipos de VSs que están en el grupo superior son $VS_{(0\ s)}$ y $VS_{(L\ 0)}$ que superaron estadísticamente ($\alpha \leq 0.05$) sólo a las medias de los testigos. La diferencia entre los rendimientos totales de elotes superior e inferior fue significativa ($\alpha \leq 0.05$), ocurrió entre el tipo $VS_{(0\ s)}$ (57, 120 elotes/ha) y los testigos (36,180 elotes/ha). Los rendimientos de elote totales intermedios fueron estadísticamente iguales entre sí pero diferentes a los de $VS_{(0\ s)}$ y a los de los testigos. En general, los tipos de VSs que más elotes produjeron en este ambiente fueron $VS_{(0\ s)}$ y $VS_{(L\ s)}$ y los que menos fueron los testigos. Evidentemente, hay fuertes diferencias entre estos resultados y los observados para estas variables en San Juan y en Zacatepec. En esta localidad (Zacatepec), por ejemplo, los mayores rendimientos de elote de primera los produjo el grupo de testigos, que en San Martín, sin embargo, produjeron el menor valor para esta variable. Estos resultados reflejan cierto grado de adaptación específica tanto de sintéticos como de testigos al ambiente de San Martín, Edo. Mex., fenómeno que a su

vez explica la significancia estadística de la interacción entre genotipos y ambientes para estas variables (Cuadro 1).

CUADRO 5. Contrastes de medias de tres testigos y medias de tres tipos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con mezclas de L líneas y s cruzas simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en el Campo Experimental San Martín, Chapingo, Edo de Méx. Las medias de las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.

VARIABLES	TIPOS DE VSs			TC
	VS _(0 s)	VS _(L 0)	VS _(L s)	
DFM (dds)	76.12 a	75.58 ab	75.07 b	75.44 b
DFF (dds)	82.03 ab	80.92 abc	80.53 c	82.44 a
AP (m)	2.00 a	2.02 ab	1.93 b	1.67 c
AE (m)	1.01 a	0.99 a	0.96 a	0.78 b
LECB (cm)	25.81 b	25.41 b	27.05 a	25.66 ab
LESB (cm)	16.59 a	16.91 a	16.53 a	15.18 b
DECB (cm)	5.47 a	5.51 a	5.47 a	4.56 b
DESB (cm)	4.54 a	4.56 a	4.55 a	4.22 b
NDB	11.60 a	12.03 a	11.93 a	11.56 a
NHE	15.73 a	15.87 a	15.61 a	15.09 a
NGH	25.49 a	26.67 a	26.14 a	22.66 b
PG (cm)	1.06 a	1.06 a	1.04 a	1.03 a
REPC (No. de elotes/ha)/10 ³	18.20 a	15.94 ab	16.03 b	11.11 c
RESC (No. de elotes/ha)/10 ³	22.17 a	20.39 ab	20.02 b	12.92 c
RETC (No. de elotes/ha)/10 ³	16.75 a	13.85 ab	16.01 ab	12.15 b
RTE (No. de elotes/ha)/10 ³	57.12 a	50.18 b	52.06 b	36.18 c

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

VS_(0 s): variedades sintéticas de sólo cruza simple; VS_(L 0): variedades sintéticas de sólo línea; VS_(L s): variedades sintéticas de L líneas y s cruza simple; TC: testigos comunes [Bandit, Sintético original, Cruza simple (1X20)].

DFM: días a floración masculina; DFF: días a floración femenina; AP: altura de planta; AE: altura de elote; LECB: longitud de elote con brácteas; LESB: longitud de elote sin brácteas; DECB: diámetro de elote con brácteas; DESB: diámetro de elote sin brácteas; NDB: número de brácteas; NHE: número de hilera del elote; NGH: número de grano por hilera; PG: profundidad de grano; REPC: rendimiento de elote de primera calidad; RESC: rendimiento de elote de segunda calidad; RETC: rendimiento de elote de tercera calidad; RTE: rendimiento total de elote.

Comparaciones de medias de variedades sintéticas dentro y entre tipos

La información relativa a los contrastes entre los cuatro grupos de variedades [(0 s), (L 0) y (L s)] y los testigos, recogida de los tres ambientes, se mostró en su totalidad en los Cuadros 2 a 6. En cambio, los contrastes posibles entre variedades (incluidos los contrastes), independientemente del tipo a que pertenezcan son muy numerosos y, por ello, no se mostrarán en su totalidad. Sólo se presentarán los contrastes en que se observó al menos una significancia (a través de las 17 variables) mediante un cuadro para cada una de las tres localidades.

Campo Experimental Zacatepec (CEZ), Edo. de Mor.

En el Campo Experimental Zacatepec (CEZ), Mor., respecto a las variables de precocidad masculina de los contrastes entre VSs de los tipos (0 s), (L s), (L 0) y testigos, sólo cinco fueron significativos ($\alpha \leq 0.05$, Cuadro 6): (0 3) vs (6 0), (6 1) vs (8 1), (6 1) vs $\bar{T}_{CM}$, (8 1) vs (6 0) y (6 0) vs $\bar{T}_{CM}$. Estos resultados son en buena medida debidos a la media pequeña de los testigos (71.33 dds), (0 3) (71.70 dds) y de (8 1) (71.25 dds).

En DFF, de los dos contrastes significativos ($\alpha \leq 0.05$) sólo uno coincidió con uno de los tres de DFM. En altura de planta, el único contraste significativo ($\alpha \leq 0.05$) no fue entre dos VS sino que involucró la media de las cinco VSs de la forma (0 2) y la media de los tres testigos ($\bar{T}_{CM}$) (Cuadro 6). En altura de elote, sólo tres contrastes fueron significativos e involucraron la comparación de una VS de cada uno de dos tipos con $\bar{T}_{CM}$ [(0 4) vs $\bar{T}_{CM}$, (8 0) vs $\bar{T}_{CM}$ y (8 1) vs (8 0)].

Por su parte, las longitudes de elote con brácteas y sin brácteas (LECB y LESB, respectivamente) tuvieron 5 y 2 contrastes significativos, respectivamente. En los de LECB estuvo involucrada dos vez $\bar{T}_{CM}$ y los tres restantes fueron (0 2) vs (4 1), (0 3) vs (4 1) y (0 4) vs (4 1), que dan cuenta del bajo valor medio (19.64 cm) de (4 1) en esta variable (LECB). En LESB los dos contrastes significativos involucraron a $\bar{T}_{CM}$ que superó a las medias de (6 1) y (8 1). Como se puede apreciar, no hay coincidencias entre contrastes significativos ($\alpha \leq 0.05$) de estas dos variables, como podría esperarse.

Respecto a los diámetros de elote con y sin brácteas (DECB y DESB), sí hubo relación entre estas variables pues de los 6 contrastes significativos que no involucraron a $\bar{T}_{CM}$ en DECB, 4 repitieron en DESB; y estos 4 en común involucraron al sintético (6 1) que en ambas variables mostró siempre el valor más pequeño y los superiores correspondieron a las VSs de sólo cruza simples: (0 2), (0 3), (0 4) y (0 5) que involucran 4, 6, 8 y 10 líneas progenitoras, respectivamente. El sintético (6 1) también fue superado por los testigos en DECB y DESB. En el número de brácteas (NDB), las VSs (0 2), (0 3), (0 4) y (0 5) siguen presentes en contrastes significativos, en 6 de 9 y en 5 de los 6, su media fue la mayor. Además, la VS (0 4) superó a 5 VSs en número de hileras de elote (NHE) en los únicos 5 contrastes entre VSs significativos ($\alpha \leq 0.05$). En número de granos en una hilera (NGH) ocurrió el mayor número de contrastes significativos entre VSs (24) y en ellas hubo 15 que involucraron al grupo de 5 VSs de la forma (0 s), una que involucró $\bar{T}_{CM}$, en las 8 restantes sólo en una participó $\bar{T}_{CM}$.

La media de los testigos participó en sólo 3 contrastes significativos. Las VSs involucraron en ellos fueron (2 1), (4 1) y (0 5) que fueron las que mostraron la media mayor en NGH.

Respecto al rendimiento de elote de primera calidad en el CEZ, no hubo ningún contraste significativo entre dos variedades sintéticas. Los contrastes significativos fueron 11 y la media de los testigos siempre fue superior a las de las VSs que participaron en estos contrastes: cuatro fueron del tipo (0 s) [(0 2), (0 3), (0 4), (0 5)], 4 del tipo (L s) [(2 1), (4 1), (6 1) y (8 1)] y 3 del tipo (L 0) [(4 0), (6 0) y (10 0)]; aproximadamente, un número balanceado de VSs de cada tipo.

Debe considerarse que el número de contrastes posibles en cada una de las 17 variables es 78. Cualquier juicio que se haga en relación a comparaciones entre tipos de VSs debe considerar este número. Todos los que no son significativos ($\alpha \leq 0.05$) se deben interpretar como igualdades estadísticas ($\alpha \leq 0.05$) entre las variedades involucradas.

CUADRO 6. Contrastes de medias de tres testigos y medias de conjuntos específicos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con mezclas de L líneas y s cruza simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en Campo Experimental Zacatepec, Mor. Las medias de las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.

CONTRASTES	DFM (dds)		DFF (dds)		AP (m)		AE (m)	
$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$	$\bar{X}D$	$\bar{X}I$	$\bar{X}D$	$\bar{X}I$	$\bar{X}D$	$\bar{X}I$	$\bar{X}D$
(0 2) vs $\bar{T}_{CM}$	72.30 a	71.33 a	79.40 a	77.85 b	2.11 a	1.97 b	1.12 a	1.03 a
(0 3) vs (6 0)	71.70 b	75.00 a	78.30 a	79.50 a	2.08 a	2.10 a	1.12 a	1.16 a
(0 3) vs $\bar{T}_{CM}$	71.70 a	71.33 a	78.30 a	77.85 a	2.08 a	1.97 a	1.12 a	1.03 a
(0 4) vs $\bar{T}_{CM}$	72.40 a	71.33 a	78.20 a	77.85 a	2.09 a	1.97 a	1.17 a	1.03 b
(0 5) vs $\bar{T}_{CM}$	72.60 a	71.33 a	78.60 a	77.85 a	2.07 a	1.97 a	1.11 a	1.03 a
(2 1) vs $\bar{T}_{CM}$	73.00 a	71.33 a	79.00 a	77.85 a	2.04 a	1.97 a	1.16 a	1.03 a
(4 1) vs $\bar{T}_{CM}$	73.00 a	71.33 a	78.50 a	77.85 a	2.06 a	1.97 a	1.14 a	1.03 a
(6 1) vs (8 1)	73.50 a	71.25 b	79.50 a	78.13 a	2.05 a	2.05 a	1.15 a	1.10 a
(6 1) vs $\bar{T}_{CM}$	73.50 a	71.33 b	79.50 a	77.85 b	2.05 a	1.97 a	1.15 a	1.03 a
(8 1) vs (6 0)	71.25 b	75.00 a	78.13 a	79.50 a	2.05 a	2.10 a	1.10 a	1.16 a
(8 1) vs (8 0)	71.25 a	72.00 a	78.13 a	79.50 a	2.05 a	2.07 a	1.10 b	1.27 a
(8 1) vs $\bar{T}_{CM}$	71.25 a	71.33 a	78.13 a	77.85 a	2.05 a	1.97 a	1.10 a	1.03 a
(4 0) vs $\bar{T}_{CM}$	73.00 a	71.33 a	78.50 a	77.85 a	1.95 a	1.97 a	1.13 a	1.03 a
(6 0) vs $\bar{T}_{CM}$	75.00 a	71.33 b	79.50 a	77.85 a	2.10 a	1.97 a	1.16 a	1.03 a
(8 0) vs $\bar{T}_{CM}$	72.00 a	71.33 a	79.50 a	77.85 a	2.07 a	1.97 a	1.27 a	1.03 b
(10 0) vs $\bar{T}_{CM}$	73.00 a	71.33 a	77.50 a	77.85 a	1.96 a	1.97 a	1.10 a	1.03 a

Se presentan sólo los contrastes que tuvieron al menos una significancia ($\alpha \leq 0.05$).

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$). DFM: días a floración masculina; DFF: días a floración femenina; AP: altura de planta; AE: altura de elote; dds: días después de la siembra.

$\bar{T}_{CM}$: media de testigos; $\bar{X}I$ y $\bar{X}D$: Media de la izquierda y de la derecha del contraste, respectivamente.

CUADRO 6. Continuación (características de elote en el Campo Experimental Zacatepec, Mor.).

CONTRASTES	LECB (cm)		LESB (cm)		DECB (cm)		DESB (cm)	
$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$	$\bar{X}D$	$\bar{X}I$	$\bar{X}D$	$\bar{X}I$	$\bar{X}D$	$\bar{X}I$	$\bar{X}D$
(0 2) vs (4 1)	22.34 a	19.64 b	13.66 a	14.57 a	4.37 a	4.33 a	3.85 a	3.79 a
(0 2) vs (6 1)	22.34 a	21.43 a	13.66 a	12.35 a	4.37 a	3.98 b	3.85 a	3.35 b
(0 2) vs $\bar{T}_{CM}$	22.34 a	22.91 a	13.67 a	14.51 a	4.37 a	4.73 a	3.85 a	3.78 a
(0 3) vs (4 1)	21.88 a	19.64 b	12.73 a	14.57 a	4.43 a	4.33 a	3.92 a	3.79 a
(0 3) vs (6 1)	21.88 a	21.43 a	12.73 a	12.35 a	4.43 a	3.98 b	3.92 a	3.35 b
(0 3) vs $\bar{T}_{CM}$	21.88 a	22.91 a	12.73 a	14.51 a	4.43 a	4.73 a	3.92 a	3.78 a
(0 4) vs (4 1)	21.72 a	19.64 b	12.91 a	14.57 a	4.43 a	4.33 a	3.77 a	3.79 a
(0 4) vs (6 1)	21.72 a	21.43 a	12.91 a	12.35 a	4.43 a	3.98 b	3.77 a	3.35 b
(0 4) vs $\bar{T}_{CM}$	21.72 a	22.91 a	12.91 a	14.51 a	4.43 a	4.73 a	3.77 a	3.78 a
(0 5) vs (6 1)	21.14 a	21.43 a	13.75 a	12.35 a	4.43 a	3.98 b	4.05 a	3.35 b
(0 5) vs $\bar{T}_{CM}$	21.14 b	22.91 a	13.75 a	14.51 a	4.43 a	4.73 a	4.05 a	3.78 a
(2 1) vs (6 1)	22.18 a	21.43 a	13.45 a	12.35 a	4.41 a	3.98 a	4.07 a	3.35 b
(2 1) vs $\bar{T}_{CM}$	22.18 a	22.91 a	13.45 a	14.51 a	4.41 a	4.73 a	4.07 a	3.78 a
(4 1) vs $\bar{T}_{CM}$	19.64 b	22.91 a	14.57 a	14.51 a	4.33 a	4.73 a	3.79 a	3.78 a
(6 1) vs (8 0)	21.43 a	20.95 a	12.35 a	14.25 a	3.98 b	4.64 a	3.35 b	4.13 a
(6 1) vs $\bar{T}_{CM}$	21.43 a	22.91 a	12.35 b	14.51 a	3.98 b	4.73 a	3.35 b	3.78 a
(8 1) vs $\bar{T}_{CM}$	21.15 a	22.91 a	12.48 b	14.51 a	4.23 b	4.73 a	3.72 a	3.78 a
(4 0) vs (8 0)	21.99 a	20.95 a	14.00 a	14.25 a	3.90 b	4.64 a	3.65 a	4.13 a
(4 0) vs $\bar{T}_{CM}$	21.99 a	22.91 a	14.00 a	14.51 a	3.90 b	4.73 a	3.65 a	3.78 a
(6 0) vs $\bar{T}_{CM}$	21.99 a	22.91 a	13.64 a	14.51 a	4.03 b	4.73 a	3.49 a	3.78 a
(8 0) vs $\bar{T}_{CM}$	20.95 a	22.91 a	14.25 a	14.51 a	4.64 a	4.73 a	4.13 a	3.78 a
(10 0) vs $\bar{T}_{CM}$	20.48 a	22.91 a	12.73 a	14.51 a	4.44 a	4.73 a	3.75 a	3.78 a

Se presentan sólo los contrastes que tuvieron al menos una significancia ($\alpha \leq 0.05$).

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$). LECB, LESB: longitud de elote con y sin brácteas, respectivamente; DECB y DESB: diámetro de elote con y sin brácteas, respectivamente.

$\bar{T}_{CM}$: media de testigos; $\bar{X}I$ y $\bar{X}D$: Media de la izquierda y de la derecha del contraste, respectivamente.

CUADRO 6. Continuación (características de elote en el Campo Experimental Zacatepec, Mor.).

CONTRASTES	NDB		NHE		NGH	
$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	
(0 2) vs (0 3)	9.37 a	9.52 a	15.39 a	15.14 a	24.30 a	20.01 b
(0 2) vs (0 4)	9.37 a	9.42 a	15.39 b	16.61 a	24.30 a	23.96 a
(0 2) vs (2 1)	9.37 a	9.70 a	15.39 a	15.88 a	24.30 a	16.63 b
(0 2) vs (4 1)	9.37 a	7.36 b	15.39 a	15.52 a	24.30 b	28.76 a
(0 2) vs (6 1)	9.37 a	8.96 a	15.39 a	14.90 a	24.30 a	20.66 b
(0 2) vs $\bar{T}_{CM}$	9.37 a	9.43 a	15.39 a	16.33 a	24.30 a	23.40 a
(0 3) vs (0 4)	9.52 a	9.42 a	15.14 b	16.61 a	20.01 b	23.96 a
(0 3) vs (0 5)	9.52 a	8.60 a	15.14 a	15.92 a	20.01 b	23.80 a
(0 3) vs (4 1)	9.52 a	7.36 b	15.14 a	15.52 a	20.01 b	28.76 a
(0 3) vs (8 1)	9.52 a	10.15 a	15.14 a	15.52 a	20.01 b	24.05 a
(0 3) vs (4 0)	9.52 a	7.00 b	15.14 a	14.50 a	20.01 b	25.34 a
(0 3) vs (6 0)	9.52 a	9.15 a	15.14 a	14.50 a	20.01 b	25.88 a
(0 3) vs (8 0)	9.52 a	9.88 a	15.14 a	16.25 a	20.01 b	26.62 a
(0 3) vs $\bar{T}_{CM}$	9.52 a	9.43 a	15.14 b	16.33 a	20.01 a	23.40 a
(0 4) vs (2 1)	9.42 a	9.70 a	16.61 a	15.88 a	23.96 a	16.63 b
(0 4) vs (4 1)	9.42 a	7.36 b	16.61 a	15.52 a	23.96 b	28.76 a
(0 4) vs (6 1)	9.42 a	8.96 a	16.61 a	14.90 b	23.96 a	20.66 a
(0 4) vs (8 1)	9.42 a	10.15 a	16.61 a	15.52 b	23.96 a	24.05 a
(0 4) vs (4 0)	9.41 a	7.00 b	16.61 a	14.50 b	23.96 a	25.34 a
(0 4) vs (6 0)	9.42 a	9.15 a	16.61 a	14.50 b	23.96 a	25.88 a
(0 4) vs $\bar{T}_{CM}$	9.42 a	9.43 a	16.61 a	16.33 a	23.96 a	23.40 a
(0 5) vs (2 1)	8.60 a	9.70 a	15.92 a	15.88 a	23.80 a	16.63 b
(0 5) vs (4 1)	8.60 a	7.36 a	15.92 a	15.52 a	23.80 b	28.76 a
(0 5) vs (8 1)	8.60 b	10.15 a	15.92 a	15.52 a	23.80 a	24.05 a
(0 5) vs $\bar{T}_{CM}$	8.60 a	9.43 a	15.92 a	16.33 a	23.80 b	23.40 a
(2 1) vs (4 1)	9.70 a	7.36 a	15.88 a	15.52 a	16.63 b	28.76 a
(2 1) vs (8 1)	9.70 a	10.15 a	15.88 a	15.52 a	16.63 b	24.05 a
(2 1) vs (4 0)	9.70 a	7.00 a	15.88 a	14.50 a	16.63 b	25.34 a
(2 1) vs (6 0)	9.70 a	9.15 a	15.88 a	14.50 a	16.63 b	25.88 a
(2 1) vs (8 0)	9.70 a	9.88 a	15.88 a	16.25 a	16.63 b	26.63 a
(2 1) vs (10 0)	9.70 a	9.30 a	15.88 a	16.25 a	16.63 b	23.35 a
(2 1) vs $\bar{T}_{CM}$	9.70 a	9.43 a	15.88 a	16.33 a	16.63 b	23.40 a
(4 1) vs (6 1)	7.36 a	8.96 a	15.52 a	14.90 a	28.76 a	20.66 b
(4 1) vs (8 1)	7.36 b	10.15 a	15.52 a	15.52 a	28.76 a	24.05 b
(4 1) vs $\bar{T}_{CM}$	7.36 b	9.43 a	15.52 a	16.33 a	28.76 a	23.40 b
(6 1) vs (8 0)	8.96 a	9.88 a	14.90 a	16.25 a	20.66 b	26.63 a
(6 1) vs $\bar{T}_{CM}$	8.96 a	9.43 a	14.90 a	16.33 b	20.66 a	23.40 a
(8 1) vs (4 0)	10.15 a	7.00 b	15.52 a	14.50 a	24.05 a	25.34 a
(8 1) vs $\bar{T}_{CM}$	10.15 a	9.43 a	15.52 a	16.33 a	24.05 a	23.40 a
(4 0) vs $\bar{T}_{CM}$	7.00 a	9.43 a	14.50 b	16.33 a	25.34 a	23.40 a
(6 0) vs $\bar{T}_{CM}$	9.15 a	9.43 a	14.50 b	16.33 a	25.88 a	23.40 a
(8 0) vs $\bar{T}_{CM}$	9.88 a	9.43 a	16.25 a	16.33 a	26.63 a	23.40 a
(10 0) vs $\bar{T}_{CM}$	9.30 a	9.43 a	16.25 a	16.33 a	23.35 a	23.40 a

Se presentan sólo los contrastes que tuvieron al menos una significancia ($\alpha \leq 0.05$).

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

NDB: número de brácteas; NHE: número de hilera de elote; NGH: número de grano por hilera.

$\bar{T}_{CM}$: media de testigos; $\bar{X}I$ y $\bar{X}D$: Media de la izquierda y derecha del contraste, respectivamente.

CUADRO 6. Continuación (variables de rendimiento en el Campo Experimental Zacatepec, Mor.).

CONTRASTES	REPC (No. de elote/ha)/10 ³		RESC (No. de elote/ha)/10 ³		RECC (No. de elote/ha)/10 ³	
	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$
(0 2) vs $\bar{T}_{CM}$	5.25 b	11.25 a	6.13 a	5.63 a	23.88 a	20.83 a
(0 3) vs $\bar{T}_{CM}$	3.88 b	11.25 a	5.12 a	5.63 a	28.67 a	20.83 a
(0 4) vs $\bar{T}_{CM}$	5.13 b	11.25 a	6.50 a	5.63 a	25.88 a	20.83 a
(0 5) vs $\bar{T}_{CM}$	4.50 b	11.25 a	3.88 a	5.63 a	23.38 a	20.83 a
(2 1) vs $\bar{T}_{CM}$	6.88 a	11.25 a	5.63 a	5.63 a	32.50 a	20.83 a
(4 1) vs $\bar{T}_{CM}$	5.63 b	11.25 a	8.35 a	5.63 a	23.70 a	20.83 a
(6 1) vs $\bar{T}_{CM}$	3.33 b	11.25 a	5.83 a	5.63 a	23.96 a	20.83 a
(8 1) vs $\bar{T}_{CM}$	5.00 b	11.25 a	7.03 a	5.63 a	22.97 a	20.83 a
(4 0) vs $\bar{T}_{CM}$	4.38 b	11.25 a	6.25 a	5.63 a	35.63 a	20.83 a
(6 0) vs $\bar{T}_{CM}$	3.75 b	11.25 a	3.13 a	5.63 a	36.88 a	20.83 b
(10 0) vs $\bar{T}_{CM}$	3.75 b	11.25 b	3.13 a	5.63 a	23.75 a	20.83 a

Se presentan sólo los contrastes que tuvieron al menos una significancia ($\alpha \leq 0.05$).

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

REPC, RESC y RECC: rendimiento de elote de primera, segunda y cuarta calidad, respectivamente.

$\bar{T}_{CM}$: media de testigos; $\bar{X}I$ y $\bar{X}D$: Media de la izquierda y de la derecha del contraste, respectivamente.

Campo Experimental San Martín (CESM), Chapingo, Edo de Méx.

Respecto a la precocidad de las variedades en la localidad de San Martín, Edo de Méx. (Cuadro 6), en la masculina (DFM) sólo hubo tres contrastes significativos ($\alpha \leq 0.05$). Los tres se deben, al menos en parte, al bajo valor que mostró (8 1), de sólo 74.58 días después de la siembra (dds), ante los valores promedios de 76.07, 76.53 y 76.20 dds de (0 2), (0 3) y (0 5), respectivamente. En la precocidad femenina (DFF) las significancias ($\alpha \leq 0.05$) fueron más abundantes, 14 entre VSs y 4 que involucran testigos. Del grupo de 14, 4 fueron del tipo (0 s) vs (L s), 5 del tipo (0 s) vs (L 0), 3 del tipo (L 0) vs (L 0), y 2 (L 0) vs (L s). En las 4 en la que estuvo involucrada la media de los testigos ($\bar{T}_{CM}$) ésta mostró el valor observado mayor.

Aunque CESM es el ambiente en que hubo más significancias de contrastes, en AP sólo hubo 2 contrastes significativos entre VSs [(0 2) vs (4 1) y (0 5) vs (4 1)]. Hubo 11 comparaciones que involucraron la media de los testigos (1.67 m) que fueron significativas debido a los promedios de altura mayores de los 4 sintéticos formados con cruza simples: (0 2), (0 3), (0 4) y (0 5); 3 con mezclas de cruza simples y líneas: (2 1), (6 1) y (8 1); y 4 con líneas: (4 0), (6 0), (8 0) y (10 0). La altura de elote presentó un comportamiento similar al de la AP, como se esperaría dada la parte en común que tienen estas variables. Las longitudes de elote con (LECB) y sin brácteas (LESB) en esta localidad difirieron en número de significancias y en algunos contrastes involucrados en ellos, de lo encontrado en Zacatepec, Mor., como se esperaría para las variables en que la interacción entre genotipos y ambientes es significativa ($\alpha \leq 0.05$). Las discrepancias de los diámetros de elote con (DECB) y sin brácteas (DESB) observadas en San Martín fueron aún mayores a las observadas en

Zacatepec, Mor. En San Martín los contrastes entre sintéticos fueron sólo 1 y 3 y en Zacatepec, Mor. fueron 8 y 5, para DECB y DESB, respectivamente. Sin embargo, en San Martín destaca la significancia de 12 contrastes en que se involucró la media de los testigos [con 4 de cada uno de los tipos (L 0), (0 s) y (L s)]. En menor medida se observaron discrepancias de este tipo en NDB, NHE, NGH, y PG. En NGH las diferencias se acentuaron, y en PG, mientras que en San Martín se observaron 10 contrastes significativos, Zacatepec no tuvo ninguno.

Respecto a los rendimientos, en el caso de elote de primera calidad, mientras que en San Martín hubo 18 diferencias significativas entre sintéticos y 8 entre sintéticos y testigos, en Zacatepec sólo ocurrieron entre sintéticos y testigos y la mayoría de ellos fueron los mismos que se detectaron en San Martín pero con una relación de magnitud inversa; es decir, en San Martín, las variedades sintéticas superaron a los testigos, y en Zacatepec los testigos fueron los superiores. Aparentemente, esto tiene que ver con el lugar de adaptación de la población de la que se generaron las líneas iniciales de las variedades sintéticas, el campo de San Martín. Al parecer, éste es el resultado más dramático en el contexto de la importancia de la interacción entre genotipos y ambiente.

CUADRO 7. Contrastes de medias de tres testigos y medias de conjuntos específicos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con mezclas de L líneas y s cruza simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en el Campo Experimental San Martín, Chapingo, Edo de Méx. Las medias de las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.

CONTRASTES	DFM (dds)		DFF (dds)		AP (m)		AE (m)	
	$\bar{X}_I$ vs $\bar{X}_D$	$\bar{X}_I$ vs $\bar{X}_D$	$\bar{X}_I$ vs $\bar{X}_D$	$\bar{X}_I$ vs $\bar{X}_D$	$\bar{X}_I$ vs $\bar{X}_D$	$\bar{X}_I$ vs $\bar{X}_D$	$\bar{X}_I$ vs $\bar{X}_D$	$\bar{X}_I$ vs $\bar{X}_D$
(0 2) vs (4 1)	76.07 a	75.17 a	81.87 a	80.67 a	2.00 a	1.84 b	1.02 a	0.91 a
(0 2) vs (8 1)	76.07 a	74.58 b	81.87 a	80.50 a	2.00 a	1.90 a	1.02 a	0.93 a
(0 2) vs (4 0)	76.07 a	74.33 a	81.87 a	78.33 b	2.00 a	2.01 a	1.02 a	0.95 a
(0 2) vs $\bar{T}_{CM}$	76.53 a	75.44 a	81.87 a	82.44 a	2.00 a	1.67 b	1.02 a	0.78 b
(0 3) vs (2 1)	76.53 a	75.67 a	82.80 a	79.67 b	2.00 a	1.93 a	1.00 a	0.92 a
(0 3) vs (4 1)	76.53 a	75.17 a	82.80 a	80.67 b	2.00 a	1.84 a	1.00 a	0.91 a
(0 3) vs (6 1)	76.53 a	75.44 a	82.80 a	80.78 b	2.00 a	2.01 a	1.00 a	1.04 a
(0 3) vs (8 1)	76.53 a	74.58 b	82.80 a	80.50 b	2.00 a	1.90 a	1.00 a	0.93 a
(0 3) vs (4 0)	76.53 a	74.33 a	82.80 a	78.33 b	2.00 a	2.01 a	1.00 a	0.95 a
(0 3) vs (6 0)	76.53 a	75.00 a	82.80 a	79.67 b	2.00 a	2.01 a	1.00 a	1.00 a
(0 3) vs $\bar{T}_{CM}$	76.53 a	75.44 a	82.80 a	82.44 a	2.00 a	1.67 b	1.00 a	0.78 b
(0 4) vs (4 0)	75.67 a	74.33 a	81.47 a	78.33 b	1.99 a	2.01 a	0.98 a	0.95 a
(0 4) vs $\bar{T}_{CM}$	75.67 a	75.44 a	81.47 a	82.44 a	1.99 a	1.67 b	0.98 a	0.78 b
(0 5) vs (4 1)	76.20 a	75.17 a	82.00 a	80.67 a	2.01 a	1.84 b	1.05 a	0.91 b
(0 5) vs (8 1)	76.20 a	74.58 b	82.00 a	80.50 a	2.01 a	1.90 a	1.05 a	0.93 b
(0 5) vs (4 0)	76.20 a	74.33 a	82.00 a	78.33 b	2.01 a	2.01 a	1.05 a	0.95 a
(0 5) vs $\bar{T}_{CM}$	76.20 a	75.44 a	82.00 a	82.44 a	2.01 a	1.67 b	1.05 a	0.78 b
(2 1) vs (10 0)	75.67 a	76.33 a	79.67 b	83.33 a	1.93 a	2.07 a	0.92 a	1.04 a
(2 1) vs $\bar{T}_{CM}$	75.67 a	75.44 a	79.67 b	82.44 a	1.93 a	1.67 b	0.92 a	0.78 a
(4 1) vs (6 1)	75.17 a	75.44 a	80.67 a	80.78 a	1.84 a	2.01 a	0.91 b	1.04 a
(4 1) vs $\bar{T}_{CM}$	75.17 a	75.44 a	80.67 a	82.44 a	1.84 a	1.67 a	0.91 a	0.78 a
(6 1) vs (8 1)	75.44 a	74.58 a	80.78 a	80.50 a	2.01 a	1.90 a	1.04 a	0.93 b
(6 1) vs $\bar{T}_{CM}$	75.44 a	75.44 a	80.78 a	82.44 a	2.01 a	1.67 b	1.04 a	0.78 b
(8 1) vs (10 0)	74.58 a	76.33 a	80.50 b	83.33 a	1.90 a	2.07 a	0.93 a	1.04 a
(8 1) vs $\bar{T}_{CM}$	74.58 a	75.44 a	80.50 b	82.44 a	1.90 a	1.67 b	0.93 a	0.78 b
(4 0) vs (8 0)	74.33 a	76.67 a	78.33 b	82.33 a	2.01 a	2.01 a	0.95 a	0.99 a
(4 0) vs (10 0)	74.33 a	76.33 a	78.33 b	83.33 a	2.01 a	2.07 a	0.95 a	1.04 a
(4 0) vs $\bar{T}_{CM}$	74.33 a	75.44 a	78.33 b	82.44 a	2.01 a	1.67 b	0.95 a	0.78 b
(6 0) vs (10 0)	75.00 a	76.33 a	79.67 b	83.33 a	2.01 a	2.07 a	1.00 a	1.04 a
(6 0) vs $\bar{T}_{CM}$	75.00 a	75.44 a	79.67 b	82.44 a	2.01 a	1.67 b	1.00 a	0.78 b
(8 0) vs $\bar{T}_{CM}$	76.67 a	75.44 a	82.33 a	82.44 a	2.01 a	1.67 b	0.99 a	0.78 b
(10 0) vs $\bar{T}_{CM}$	76.33 a	75.44 a	83.33 a	82.44 a	2.07 a	1.67 b	1.04 a	0.78 b

Se presentan sólo los contrastes que tuvieron al menos una significancia ($\alpha \leq 0.05$).

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

DFM: días a floración masculina; DFF: días a floración femenina; AP: altura de planta; AE: altura de elote; dds: días después de la siembra.

$\bar{T}_{CM}$: media de testigos; $\bar{X}_I$ y $\bar{X}_D$: Media de la izquierda y de la derecha del contraste, respectivamente.

CUADRO 7. Continuación (características de elote en el Campo Experimental San Martín, Chapingo, Edo de Méx.).

CONTRASTES	LECB (cm)		LESB (cm)		DECB (cm)		DESB (cm)	
$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	
(0 2) vs (0 3)	27.79 a	25.18 b	16.42 a	16.68 a	5.51 a	5.45 a	4.56 a	4.47 a
(0 2) vs (0 4)	27.79 a	24.76 b	16.42 a	16.58 a	5.51 a	5.38 a	4.56 a	4.60 a
(0 2) vs (0 5)	27.79 a	25.49 b	16.42 a	16.67 a	5.51 a	5.53 a	4.56 a	4.54 a
(0 2) vs (6 0)	27.79 a	24.65 b	16.42 a	18.01 a	5.51 a	5.26 a	4.56 a	4.53 a
(0 2) vs $\bar{T}_{CM}$	27.79 a	25.66 b	16.42 a	15.18 b	5.51 a	4.56 b	4.56 a	4.22 b
(0 3) vs (2 1)	25.18 b	29.90 a	16.68 a	15.91 a	5.45 a	5.39 a	4.47 a	4.56 a
(0 3) vs (8 1)	25.18 b	27.47 a	16.68 a	16.16 a	5.45 a	5.65 a	4.47 b	4.71 a
(0 3) vs $\bar{T}_{CM}$	25.18 a	25.66 a	16.68 a	15.18 b	5.45 b	4.56 a	4.47 a	4.22 b
(0 4) vs (2 1)	24.76 b	29.90 a	16.58 a	15.91 a	5.38 a	5.39 a	4.60 a	4.56 a
(0 4) vs (8 1)	24.76 b	27.47 a	16.58 a	16.16 a	5.38 a	5.65 a	4.60 a	4.71 a
(0 4) vs $\bar{T}_{CM}$	24.76 a	25.66 a	16.58 a	15.18 b	5.38 a	4.56 b	4.60 a	4.22 b
(0 5) vs (2 1)	25.49 b	29.90 a	16.67 a	15.91 a	5.53 a	5.39 a	4.54 a	4.56 a
(0 5) vs (8 1)	25.49 b	27.47 a	16.67 a	16.16 a	5.53 a	5.65 a	4.54 a	4.71 a
(0 5) vs $\bar{T}_{CM}$	25.49 a	25.66 a	16.67 a	15.18 b	5.53 a	4.56 b	4.54 a	4.22 b
(2 1) vs (4 0)	29.90 a	24.98 b	15.91 a	16.87 a	5.39 a	5.41 a	4.56 a	4.63 a
(2 1) vs (6 0)	29.90 a	24.65 b	15.91 b	18.01 a	5.39 a	5.26 a	4.56 a	4.53 a
(2 1) vs (10 0)	29.90 a	25.75 b	15.91 a	16.81 a	5.39 a	5.66 a	4.56 a	4.60 a
(2 1) vs $\bar{T}_{CM}$	29.90 a	25.66 b	15.91 a	15.18 a	5.39 a	4.56 b	4.56 a	4.22 a
(4 1) vs (8 1)	25.58 a	27.47 a	17.23 a	16.16 a	5.40 a	5.65 a	4.42 b	4.71 a
(4 1) vs $\bar{T}_{CM}$	25.58 a	25.66 a	17.23 a	15.18 b	5.40 a	4.56 b	4.42 a	4.22 a
(6 1) vs (8 1)	26.51 a	27.47 a	16.75 a	16.16 a	5.29 b	5.65 a	4.42 b	4.71 a
(6 1) vs $\bar{T}_{CM}$	26.51 a	25.66 a	16.75 a	15.18 b	5.29 a	4.56 b	4.42 a	4.22 a
(8 1) vs (6 0)	27.47 a	24.65 a	16.16 b	18.01 a	5.65 a	5.26 a	4.71 a	4.53 a
(8 1) vs $\bar{T}_{CM}$	27.47 a	25.66 a	16.16 a	15.18 a	5.65 a	4.56 b	4.71 a	4.22 b
(4 0) vs $\bar{T}_{CM}$	24.98 a	25.66 a	16.87 a	15.18 a	5.41 a	4.56 b	4.63 a	4.22 b
(6 0) vs (8 0)	24.65 a	26.26 a	18.01 a	15.93 b	5.26 a	5.71 a	4.53 a	4.46 a
(6 0) vs $\bar{T}_{CM}$	24.65 a	25.66 a	18.01 a	15.18 b	5.26 a	4.56 b	4.53 a	4.22 a
(8 0) vs $\bar{T}_{CM}$	26.26 a	25.66 a	15.93 a	15.18 a	5.71 a	4.56 b	4.46 a	4.22 a
(10 0) vs $\bar{T}_{CM}$	25.75 a	25.66 a	16.81 a	15.18 a	5.66 a	4.56 b	4.60 a	4.22 b

Se presentan sólo los contrastes que tuvieron al menos una significancia ($\alpha \leq 0.05$).

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

LECB y LESB:: longitud de elote con y sin brácteas; DECB: y DESB: diámetro de elote con y sin brácteas.

$\bar{T}_{CM}$: media de testigos; $\bar{X}I$ y $\bar{X}D$: Media de la izquierda y de la derecha del contraste, respectivamente.

CUADRO 7. Continuación (características de elote en el Campo Experimental San Martín, Chapingo, Edo de Méx.).

CONTRASTES	NDB		NHE		NGH		PG (cm)	
$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	
(0 2) vs (4 1)	11.72 a	12.07 a	15.81 a	15.00 a	25.07 b	29.02 a	1.01 a	0.98 a
(0 2) vs (6 1)	11.72 a	9.88 b	15.81 a	14.84 b	25.07 a	25.98 a	1.01 a	0.97 a
(0 2) vs (8 1)	11.72 b	13.08 a	15.81 a	16.49 a	25.07 a	24.80 a	1.01 b	1.13 a
(0 2) vs (10 0)	11.72 a	13.07 a	15.81 a	16.87 a	25.07 a	25.16 a	1.01 b	1.18 a
(0 2) vs $\bar{T}_{CM}$	11.72 a	11.56 a	15.81 a	15.09 a	25.70 b	22.66 a	1.01 a	1.03 a
(0 3) vs (0 5)	12.33 a	11.09 b	15.35 a	15.96 a	25.70 a	24.29 a	1.09 a	1.05 a
(0 3) vs (4 1)	12.33 a	12.07 a	15.35 a	15.00 a	25.70 b	29.02 a	1.09 a	0.98 a
(0 3) vs (6 1)	12.33 a	9.88 b	15.35 a	14.84 a	25.70 a	25.98 a	1.09 a	0.97 b
(0 3) vs (8 1)	12.33 a	13.08 a	15.35 b	16.49 a	25.70 a	24.80 a	1.09 a	1.13 a
(0 3) vs (10 0)	12.33 a	13.07 a	15.35 b	16.87 a	25.70 a	25.16 a	1.09 a	1.18 a
(0 3) vs $\bar{T}_{CM}$	12.33 a	11.56 a	15.35 a	15.09 a	25.70 a	22.66 b	1.09 a	1.03 a
(0 4) vs (0 5)	11.25 a	11.09 a	15.81 a	15.96 a	26.90 a	24.29 b	1.10 a	1.05 a
(0 4) vs (6 1)	11.25 a	9.88 a	15.81 a	14.84 b	26.90 a	25.98 a	1.10 a	0.97 b
(0 4) vs (8 1)	11.25 b	13.08 a	15.81 a	16.49 a	26.90 a	24.80 a	1.10 a	1.13 a
(0 4) vs $\bar{T}_{CM}$	11.25 a	11.56 a	15.81 a	15.09 a	26.90 a	22.66 b	1.10 a	1.03 a
(0 5) vs (2 1)	11.09 b	13.27 a	15.96 a	15.60 a	24.29 a	26.20 a	1.05 a	1.01 a
(0 5) vs (4 1)	11.09 a	12.07 a	15.96 a	15.00 a	24.29 b	29.02 a	1.05 a	0.98 a
(0 5) vs (6 1)	11.09 a	9.88 a	15.96 a	14.84 b	24.29 a	25.98 a	1.05 a	0.97 a
(0 5) vs (8 1)	11.09 b	13.08 a	15.96 a	16.49 a	24.29 a	24.80 a	1.05 a	1.13 a
(0 5) vs (6 0)	11.09 a	10.33 a	15.96 a	15.73 a	24.29 b	28.61 a	1.05 a	1.01 a
(0 5) vs $\bar{T}_{CM}$	11.09 a	11.56 a	15.96 a	15.09 b	24.29 b	22.66 a	1.05 a	1.03 a
(2 1) vs (6 1)	13.27 a	9.88 b	15.60 a	14.84 a	26.20 a	25.98 a	1.01 a	0.97 a
(2 1) vs (6 0)	13.27 a	10.33 b	15.60 a	15.73 a	26.20 a	28.61 a	1.01 a	1.01 a
(2 1) vs $\bar{T}_{CM}$	13.27 a	11.56 a	15.60 a	15.09 a	26.90 a	22.66 a	1.01 a	1.03 a
(4 1) vs (6 1)	12.07 a	9.88 b	15.00 a	14.84 a	29.02 a	25.98 a	0.98 a	0.97 a
(4 1) vs (8 1)	12.07 a	13.08 a	15.00 b	16.49 a	29.02 a	24.80 b	0.98 b	1.13 a
(4 1) vs (10 0)	12.07 a	13.07 a	15.00 b	16.87 a	29.02 a	25.16 a	0.98 b	1.18 a
(4 1) vs $\bar{T}_{CM}$	12.07 a	11.56 a	15.00 a	15.09 a	29.02 a	22.66 b	0.98 a	1.03 a
(6 1) vs (8 1)	9.88 b	13.08 a	14.84 b	16.49 a	25.98 a	24.80 a	0.97 b	1.13 a
(6 1) vs (4 0)	9.88 b	12.27 a	14.84 a	15.40 a	25.98 a	26.65 a	0.97 a	0.96 a
(6 1) vs (8 0)	9.88 b	12.47 a	14.84 a	15.47 a	25.98 a	26.24 a	0.97 a	1.10 a
(6 1) vs (10 0)	9.88 b	13.07 a	14.84 b	16.87 a	25.98 a	25.16 a	0.97 b	1.18 a
(6 1) vs $\bar{T}_{CM}$	9.88 a	11.56 a	14.84 a	15.09 a	25.98 a	22.66 b	0.97 a	1.03 a
(8 1) vs (4 0)	13.08 a	12.27 a	16.49 a	15.40 a	24.80 a	26.65 a	1.13 a	0.96 b
(8 1) vs (6 0)	13.08 a	10.33 b	16.49 a	15.73 a	24.80 a	28.61 a	1.13 a	1.01 a
(8 1) vs $\bar{T}_{CM}$	13.08 a	11.56 a	16.49 a	15.09 b	24.80 a	22.66 a	1.13 a	1.03 a
(4 0) vs (10 0)	12.27 a	13.07 a	15.40 a	16.87 a	26.65 a	25.16 a	0.96 b	1.18 a
(4 0) vs $\bar{T}_{CM}$	12.27 a	11.56 a	15.40 a	15.09 a	26.65 a	22.66 a	0.96 a	1.03 a
(6 0) vs $\bar{T}_{CM}$	10.33 a	11.56 a	15.73 a	15.09 a	28.61 a	22.66 b	1.01 a	1.03 a
(10 0) vs $\bar{T}_{CM}$	13.07 a	11.56 a	16.87 a	15.09 b	25.16 a	22.66 a	1.18 a	1.03 a

Se presentan sólo los contrastes que tuvieron al menos una significancia ($\alpha \leq 0.05$).

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

NDB: número de brácteas; NHE: número de hilera de elote; NGH: número de grano por hilera; PG: profundidad de grano.

$\bar{T}_{CM}$: media de testigos; $\bar{X}I$ y $\bar{X}D$: Media de la izquierda y de la derecha del contraste, respectivamente.

CUADRO 7. Continuación (variables de rendimiento en el Campo Experimental San Martín, Chapingo, Edo de Méx.).

CONTRASTES	REPC		RESC		RETC		RTE	
	(No. de elote/ha)/10 ³		(No. de elote/ha)/10 ³		(No. de elote/ha)/10 ³		(No. de elote/ha)/10 ³	
$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	
(0 2) vs (4 1)	18.96 a	14.79 b	22.35 a	16.88 b	16.63 a	18.02 a	57.94 a	49.69 b
(0 2) vs (6 1)	18.96 a	12.01 b	22.35 a	19.65 a	16.63 a	14.93 a	57.94 a	46.60 b
(0 2) vs (8 0)	18.96 a	12.71 b	22.35 a	16.25 b	16.63 a	8.54 b	57.94 a	37.50 b
(0 2) vs (10 0)	18.96 a	15.42 a	22.35 a	18.54 a	16.63 a	10.63 a	57.94 a	44.58 b
(0 2) vs $\bar{T}_{CM}$	18.96 a	11.11 b	22.35 a	12.92 b	16.63 a	12.15 a	57.94 a	36.18 b
(0 3) vs (4 1)	17.96 a	14.79 a	22.88 a	16.88 b	16.13 a	18.02 a	56.96 a	49.69 b
(0 3) vs (6 1)	17.96 a	12.01 b	22.88 a	19.65 a	16.13 a	14.93 a	56.96 a	46.60 b
(0 3) vs (8 0)	17.96 a	12.71 b	22.88 a	16.25 b	16.13 a	8.54 b	56.96 a	37.50 b
(0 3) vs (10 0)	17.96 a	15.42 a	22.88 a	18.54 a	16.13 a	10.63 a	56.96 a	44.58 b
(0 3) vs $\bar{T}_{CM}$	17.96 a	11.11 b	22.88 a	12.92 b	16.13 a	12.15 a	56.96 a	36.18 b
(0 4) vs (0 5)	18.04 a	17.83 a	22.42 a	21.04 a	15.04 b	19.21 a	55.50 a	58.08 a
(0 4) vs (4 1)	18.04 a	14.79 a	22.42 a	16.88 b	15.04 a	18.02 a	55.50 a	49.69 b
(0 4) vs (6 1)	18.04 a	12.01 b	22.42 a	19.65 a	15.04 a	14.93 a	55.50 a	46.60 a
(0 4) vs (4 0)	18.04 a	21.25 a	22.42 a	20.21 a	15.04 b	21.88 a	55.50 b	63.33 a
(0 4) vs (8 0)	18.04 a	12.71 b	22.42 a	16.25 b	15.04 a	8.54 a	55.50 a	37.50 b
(0 4) vs (10 0)	18.04 a	15.42 a	22.42 a	18.54 a	15.04 a	10.63 a	55.50 a	44.58 b
(0 4) vs $\bar{T}_{CM}$	18.04 a	11.11 b	22.42 a	12.92 b	15.04 a	12.15 a	55.50 a	36.18 b
(0 5) vs (4 1)	17.83 a	14.79 a	21.04 a	16.88 a	19.21 a	18.02 a	58.08 a	49.69 b
(0 5) vs (6 1)	17.83 a	12.01 b	21.04 a	19.65 a	19.21 a	14.93 a	58.08 a	46.60 b
(0 5) vs (8 0)	17.83 a	12.71 b	21.04 a	16.25 a	19.21 a	8.54 b	58.08 a	37.50 b
(0 5) vs (10 0)	17.83 a	15.42 a	21.04 a	18.54 a	19.21 a	10.63 b	58.08 a	44.58 b
(0 5) vs $\bar{T}_{CM}$	17.83 a	11.11 b	21.04 a	12.92 b	19.21 a	12.15 b	58.08 a	36.18 b
(2 1) vs (4 1)	19.69 a	14.79 a	24.38 a	16.88 b	17.40 a	18.02 a	61.46 a	49.69 b
(2 1) vs (6 1)	19.69 a	12.01 b	24.38 a	19.65 a	17.40 a	14.93 a	61.46 a	46.60 b
(2 1) vs (8 0)	19.69 a	12.71 b	24.38 a	16.25 b	17.40 a	8.54 b	61.46 a	37.50 b
(2 1) vs (10 0)	19.69 a	15.42 a	24.38 a	18.54 a	17.40 a	10.63 a	61.46 a	44.58 b
(2 1) vs $\bar{T}_{CM}$	19.69 a	11.11 b	24.38 a	12.92 b	17.40 a	12.15 a	61.46 a	36.18 b
(4 1) vs (8 1)	14.79 b	18.75 a	16.88 a	20.78 a	18.02 a	15.47 a	49.69 a	55.00 a
(4 1) vs (4 0)	14.79 b	21.25 a	16.88 a	20.21 a	18.02 a	21.88 a	49.69 b	63.33 a
(4 1) vs (6 0)	14.79 a	14.38 a	16.88 b	26.56 a	18.02 a	14.38 a	49.69 a	55.31 a
(4 1) vs (8 0)	14.79 a	12.71 a	16.88 a	16.25 a	18.02 a	8.54 b	49.69 a	37.50 b
(4 1) vs $\bar{T}_{CM}$	14.79 a	11.11 a	16.88 a	12.92 a	18.02 a	12.15 b	49.69 a	36.18 b
(6 1) vs (8 1)	12.01 b	18.75 a	19.65 a	20.78 a	14.93 a	15.47 a	46.60 b	55.00 a
(6 1) vs (4 0)	12.01 b	21.25 a	19.65 a	20.21 a	14.93 a	21.88 a	46.60 b	63.33 a
(6 1) vs (6 0)	12.01 a	14.38 a	19.65 b	26.56 a	14.93 a	14.38 a	46.60 b	55.31 a
(6 1) vs (8 0)	12.01 a	12.71 a	19.65 a	16.25 a	14.93 a	8.54 a	46.60 a	37.50 b
(6 1) vs $\bar{T}_{CM}$	12.01 a	11.11 b	19.65 a	12.92 b	14.93 a	12.15 a	46.60 a	36.18 b
(8 1) vs (4 0)	18.75 a	21.25 a	20.78 a	20.21 a	15.47 a	21.88 a	55.00 b	63.33 a
(8 1) vs (8 0)	18.75 a	12.71 b	20.78 a	16.25 a	15.47 a	8.54 b	55.00 a	37.50 b
(8 1) vs (10 0)	18.75 a	15.42 a	20.78 a	18.54 a	15.47 a	10.63 a	55.00 a	44.58 b
(8 1) vs $\bar{T}_{CM}$	18.75 a	11.11 b	20.78 a	12.92 b	15.47 a	12.15 a	55.00 a	36.18 b
(4 0) vs (6 0)	21.25 a	14.38 b	20.21 a	26.56 a	21.88 a	14.38 a	63.33 a	55.31 a
(4 0) vs (8 0)	21.25 a	12.71 b	20.21 a	16.25 a	21.88 a	8.54 b	63.33 a	37.50 b
(4 0) vs (10 0)	21.25 a	15.42 a	20.21 a	18.54 a	21.88 a	10.63 b	63.33 a	44.58 b
(4 0) vs $\bar{T}_{CM}$	21.25 a	11.11 b	20.21 a	12.92 b	21.88 a	12.15 b	63.33 a	36.18 b
(6 0) vs (8 0)	14.38 a	12.71 a	26.56 a	16.25 b	14.38 a	8.54 a	55.31 a	37.50 b
(6 0) vs (10 0)	14.38 a	15.42 a	26.56 a	18.54 b	14.38 a	10.63 a	55.31 a	44.58 b
(6 0) vs $\bar{T}_{CM}$	14.38 a	11.11 a	26.56 a	12.92 b	14.38 a	12.15 a	55.31 a	36.18 b
(8 0) vs $\bar{T}_{CM}$	12.71 b	11.11 a	16.25 a	12.92 a	8.54 a	12.15 a	37.50 a	36.18 a
(10 0) vs $\bar{T}_{CM}$	15.42 a	11.11 a	18.54 a	12.92 a	10.63 a	12.15 a	44.58 a	36.18 b

Se presentan sólo los contrastes que tuvieron al menos una significancia ($\alpha \leq 0.05$).

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

REPC: rendimiento de elote de primera calidad; RESC: rendimiento de elote de segunda calidad; RETC: rendimiento de elote de tercera calidad; RTE: rendimiento total de elote;

$\bar{T}_{CM}$: media de testigos; $\bar{X}I$ y $\bar{X}D$: Media de la izquierda y de la derecha del contraste, respectivamente.

Campo Experimental San Juan (CESJ), Chapingo, Edo de Méx.

En el Campo Experimental San Juan (CESJ), el ambiente más pobre, no se detectó ningún contraste significativo en cuatro variables: LECB, LESB, NGH, RECC. Además, los contrastes significativos en las precocidades masculina y femenina fueron pocos: de 78 posibles, sólo hubo tres de DFM y dos de DFF (Cuadro 8). Destacan los promedios bajos de altura de planta (AP) y altura de elote (AE) que mostraron cero y tres contrastes significativos ($\alpha \leq 0.05$); uno de éstos involucró la media de los tres testigos (44 cm), la más baja de los observados, superada por el promedio de las 5 VSs de la forma (4 0) que fue 69 cm. Si bien no se detectaron contrastes significativos en la longitud de elote con y sin brácteas, sí se encontraron en diámetros de elote. En el caso de elote con brácteas hubo 5 contrastes significativos ($\alpha \leq 0.05$), los 5 involucraron la media de diámetro de (10 0), que fue la que tuvo el valor estimado más bajo (4.10 cm). En el caso de elote sin brácteas, se encontraron 3 contrastes significativos ($\alpha \leq 0.05$) de los que sólo un caso está entre los 5 del caso del diámetro de elote con brácteas; se esperaría un mayor número de coincidencias dada la relación entre estas dos variables. En otra variable relacionada con las brácteas, sólo un contraste de los 78 posibles fue significativo ($\alpha \leq 0.05$): el promedio del número estimado de brácteas (9.61) de los testigos superó al de la VS (4 0), que fue 7.30.

La profundidad de grano fue la variable que más contrastes significativos ($\alpha \leq 0.05$) mostró. De los 18 observados, lo más relevante es que sólo dos involucran a los testigos. Las participaciones de los tipos de VSs fueron 8, 10 y 16 de los tipos (0 s), (L s) y (L 0), respectivamente. 5 y 8 de las 16 (L 0) se explican por la mayor profundidad promedio (1.19 cm) de (10 0) y la menor (0.80 cm) de (8 0).

En general, los rendimientos de elote más pobres de las VSs fueron observados en esta localidad. Una de ellas [(4 1)] no produjo elotes de primera calidad, y su rendimiento promedio estimado de elote de segunda calidad fue apenas de 5630 elotes/ha.

CUADRO 8. Contrastes de medias de tres testigos y medias de conjuntos específicos de variedades sintéticas (VSs). Éstas fueron construidas con mezclas de L líneas y s cruza simples [VS(L s)]. La evaluación se hizo en el Campo Experimental San Juan, Chapingo, Edo de Méx. Las medias de las VSs de la forma (0 s), (L 0), (2 1), (4 1), (6 1) y (8 1) son promedios de 5, 1, 1, 2, 3 y 4 VSs formadas con conjuntos de progenitores diferentes, cuando hay más de una VS del mismo tipo, respectivamente.

CONTRASTES	DFM (dds)		DFF (dds)		AP (m)		AE (m)	
$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	
(0 2) vs (8 1)	72.40 a	69.00 b	79.50 a	75.63 b	1.42 a	1.36 a	0.55 a	0.52 a
(0 2) vs (6 0)	72.40 b	68.00 a	79.50 a	75.00 a	1.42 a	1.49 a	0.55 a	0.53 a
(0 3) vs (4 1)	71.20 a	69.75 a	78.10 a	77.00 a	1.48 a	1.30 a	0.58 a	0.43 b
(4 1) vs (4 0)	69.75 a	69.00 a	77.00 a	79.50 a	1.30 a	1.54 a	0.43 b	0.69 a
(6 1) vs (8 1)	72.33 a	69.00 b	78.83 a	75.63 a	1.45 a	1.36 a	0.55 a	0.52 a
(8 1) vs $\bar{T}_{CM}$	69.00 a	72.00 a	75.63 b	80.17 a	1.36 a	1.36 a	0.52 a	0.44 a
(4 0) vs $\bar{T}_{CM}$	69.00 a	72.00 a	79.50 a	80.17 a	1.54 a	1.36 a	0.69 a	0.44 b

Se presentan sólo los contrastes que tuvieron al menos una significancia ($\alpha \leq 0.05$).

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

DFM: días a floración masculina; DFF: días a floración femenina; AP: altura de planta; AE: altura de elote; dds: días después de la siembra.

$\bar{T}_{CM}$: media de testigos; $\bar{X}I$ y $\bar{X}D$: Media de la izquierda y de la derecha del contraste, respectivamente.

CUADRO 8. Continuación (características de elote, en el Campo Experimental San Juan, Chapingo, Edo de Méx.).

CONTRASTES $\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	DECB (cm)		DESB (cm)		NHE	
	$\bar{X}I$	$\bar{X}D$	$\bar{X}I$	$\bar{X}D$	$\bar{X}I$	$\bar{X}D$
(0 2) vs (6 0)	4.68 a	4.95 a	4.08 a	3.99 a	14.02 a	12.05 b
(0 2) vs (10 0)	4.68 a	4.10 b	4.08 a	4.43 a	14.02 b	16.20 a
(0 3) vs (2 1)	4.67 a	4.63 a	4.02 a	4.32 a	13.88 a	13.00 a
(0 3) vs (6 0)	4.67 a	4.95 a	4.02 a	3.99 a	13.88 a	12.05 b
(0 3) vs (10 0)	4.67 a	4.10 b	4.02 a	4.43 a	13.88 b	16.20 a
(0 4) vs (4 1)	4.67 a	4.57 a	4.18 a	3.78 b	14.36 a	13.65 a
(0 4) vs (6 0)	4.67 a	4.95 a	4.18 a	3.99 a	14.36 a	12.05 b
(0 4) vs (10 0)	4.67 a	4.10 b	4.18 a	4.43 a	14.36 b	16.20 a
(0 4) vs $\bar{T}_{CM}$	4.67 a	4.40 a	4.18 a	3.72 b	14.36 a	13.57 a
(0 5) vs (2 1)	4.63 a	4.63 a	4.01 a	4.32 a	14.64 a	13.00 b
(0 5) vs (6 1)	4.63 a	4.58 a	4.01 a	4.04 a	14.64 a	13.48 b
(0 5) vs (6 0)	4.63 a	4.95 a	4.01 a	3.99 a	14.64 a	12.05 b
(0 5) vs (10 0)	4.63 a	4.10 a	4.01 a	4.43 a	14.64 b	16.20 a
(0 5) vs $\bar{T}_{CM}$	4.63 a	4.40 a	4.01 a	3.72 a	14.64 a	13.57 b
(2 1) vs (10 0)	4.63 a	4.10 a	4.32 a	4.43 a	13.00 b	16.20 a
(2 1) vs $\bar{T}_{CM}$	4.63 a	4.40 a	4.32 a	3.72 b	13.00 a	13.57 a
(4 1) vs (10 0)	4.57 a	4.10 a	3.78 b	4.43 a	13.65 b	16.20 a
(6 1) vs (10 0)	4.58 a	4.10 a	4.04 a	4.43 a	13.48 b	16.20 a
(8 1) vs (6 0)	4.72 a	4.95 a	4.14 a	3.99 a	14.28 a	12.05 b
(8 1) vs (10 0)	4.72 a	4.10 b	4.14 a	4.43 a	14.28 b	16.20 a
(8 1) vs $\bar{T}_{CM}$	4.72 a	4.40 a	4.14 a	3.72 b	14.28 a	13.57 a
(4 0) vs (8 0)	4.68 a	4.51 a	4.15 a	3.80 a	13.90 a	14.60 a
(4 0) vs (10 0)	4.68 a	4.10 a	4.15 a	4.43 a	13.90 b	16.20 a
(6 0) vs (8 0)	4.95 a	4.51 a	3.99 a	3.80 a	12.05 b	14.60 a
(6 0) vs (10 0)	4.95 a	4.10 b	3.99 a	4.43 a	12.05 b	16.20 a
(10 0) vs $\bar{T}_{CM}$	4.10 b	4.40 a	4.43 a	3.72 b	16.20 a	13.57 b

Se presentan sólo los contrastes que tuvieron al menos una significancia ($\alpha \leq 0.05$).

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

DECB: diámetro de elote con brácteas; DESB: diámetro de elote sin brácteas; NHE: número de hileras del elote; PG: profundidad de grano.

$\bar{T}_{CM}$: media de testigos; $\bar{X}I$ y $\bar{X}D$: Media de la izquierda y de la derecha del contraste, respectivamente.

CUADRO 8. Continuación (características de elote, en el Campo Experimental San Juan, Chapingo, Edo de Méx.).

CONTRASTES $\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	NDB		PG (cm)	
	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$		$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	
(0 2) vs (2 1)	8.94 a	8.00 a	0.96 b	1.17 a
(0 2) vs (10 0)	8.94 a	8.80 a	0.96 b	1.19 a
(0 3) vs (2 1)	8.64 a	8.00 a	0.98 b	1.17 a
(0 3) vs (8 0)	8.64 a	9.20 a	0.98 a	0.80 b
(0 3) vs (10 0)	8.64 a	8.80 a	0.98 b	1.19 a
(0 4) vs (8 0)	8.94 a	9.20 a	1.00 a	0.80 b
(0 5) vs (2 1)	8.66 a	8.00 a	0.93 b	1.17 a
(0 5) vs (10 0)	8.66 a	8.80 a	0.93 b	1.19 a
(2 1) vs (4 1)	8.00 a	7.85 a	1.17 a	0.89 b
(2 1) vs (8 0)	8.00 a	9.20 a	1.17 a	0.80 b
(2 1) vs $\bar{T}_{CM}$	8.00 a	9.61 a	1.17 a	0.95 b
(4 1) vs (10 0)	7.85 a	8.80 a	0.89 b	1.19 a
(6 1) vs (8 0)	8.62 a	9.20 a	1.02 a	0.80 b
(8 1) vs (8 0)	9.03 a	9.20 a	1.03 a	0.80 b
(4 0) vs (8 0)	7.30 a	9.20 a	1.06 a	0.80 b
(4 0) vs $\bar{T}_{CM}$	7.30 b	9.61 a	1.06 a	0.95 a
(6 0) vs (8 0)	7.60 a	9.20 a	1.07 a	0.80 b
(8 0) vs (10 0)	9.20 a	8.80 a	0.80 b	1.19 a
(10 0) vs $\bar{T}_{CM}$	8.80 a	9.61 a	1.19 a	0.95 b

Se presentan sólo los contrastes que tuvieron al menos una significancia ($\alpha \leq 0.05$).

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

NDB: número de brácteas; PG: profundidad de grano.

$\bar{T}_{CM}$: media de testigos; $\bar{X}I$ y $\bar{X}D$: Media de la izquierda y de la derecha del contraste, respectivamente.

CUADRO 8. Continuación (variables de rendimiento, en el Campo Experimental San Juan, Chapingo, Edo de Méx.).

CONTRASTES	REPC (No. de elote/ha)/10 ³		RESC (No. de elote/ha)/10 ³		RETC (No. de elote/ha)/10 ³		RTE (No. de elote/ha)/10 ³	
	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$	$\bar{X}I$ vs $\bar{X}D$
(0 2) vs (0 4)	3.88 a	1.25 b	10.88 a	9.81 a	33.63 a	35.69 a	48.38 a	46.75 a
(0 2) vs (0 5)	3.88 a	0.31 b	10.88 a	8.25 a	33.63 a	36.75 a	48.38 a	45.31 a
(0 2) vs (4 1)	3.88 a	0.00 b	10.88 a	5.63 a	33.63 a	25.63 a	48.38 a	31.25 b
(0 2) vs (6 1)	3.88 a	0.19 b	10.88 a	8.47 a	33.63 a	38.95 a	48.38 a	47.61 a
(0 2) vs (8 1)	3.88 a	0.31 b	10.88 a	7.27 a	33.63 a	33.98 a	48.38 a	41.56 a
(0 3) vs (4 1)	2.50 a	0.00 a	10.06 a	5.63 a	41.06 a	25.63 b	53.63 a	31.25 b
(0 3) vs (8 1)	2.50 a	0.31 a	10.06 a	7.27 a	41.06 a	33.98 a	53.63 a	41.56 b
(0 4) vs (4 1)	1.25 a	0.00 a	9.81 a	5.63 a	35.69 a	25.63 a	46.75 a	31.25 b
(0 5) vs (4 1)	0.31 a	0.00 a	8.25 a	5.63 a	36.75 a	25.63 b	45.31 a	31.25 b
(4 1) vs (6 1)	0.00 a	0.19 a	5.63 a	8.47 a	25.63 b	38.95 a	31.25 b	47.61 a
(4 1) vs (4 0)	0.00 a	0.00 a	5.63 a	5.00 a	25.63 b	42.19 a	31.25 a	47.19 a
(4 1) vs (8 0)	0.00 a	2.19 a	5.63 a	9.69 a	25.63 b	42.81 a	31.25 b	54.69 a
(4 1) vs (10 0)	0.00 a	0.94 a	5.63 a	11.25 a	25.63 b	41.88 a	31.25 b	54.06 a
(4 1) vs $\bar{T}_{CM}$	0.00 a	2.19 a	5.63 b	13.18 a	25.63 b	38.38 a	31.25 b	53.75 a
(8 1) vs $\bar{T}_{CM}$	0.31 a	2.19 a	7.27 b	13.18 a	33.98 a	38.38 a	41.56 a	53.75 a

Se presentan sólo los contrastes que tuvieron al menos una significancia ($\alpha \leq 0.05$).

Letras diferentes en las medias de un contraste indican significancia ($\alpha \leq 0.05$).

REPC: rendimiento de elote de primera calidad; RESC: rendimiento de elote de segunda calidad; RETC: rendimiento de elote de tercera calidad; RTE: rendimiento total de elote.

$\bar{T}_{CM}$: media de testigos; $\bar{X}I$ y $\bar{X}D$: Media de la izquierda y de la derecha del contraste, respectivamente.

CONCLUSIONES

La evaluación de variedades sintéticas (VSs) formadas con sólo L líneas $[(L\ 0)]$, s cruzas simples $[(0\ s)]$ o por una mezcla de L líneas y s cruzas simples $[(L\ s)]$ en tres ambientes permitió concluir que los tres tipos de VSs tuvieron promedios estimados que no difirieron entre sí ($\alpha \leq 0.05$) en ninguna de las 17 variables estudiadas. Además, las medias de las variedades del tipo $(L\ s)$ tampoco difirieron de la de tres testigos ($\alpha \leq 0.05$) en ninguna de las 17 variables estudiadas. En particular, en rendimiento de elotes de primera calidad, los promedios observados de los tipos $(0\ s)$, $(L\ 0)$, $(L\ s)$ y testigos fueron 9,710, 8,530, 8,360 y 8,740 elotes/ha, respectivamente. Tampoco se observó ninguna relación entre el desempeño de las VSs y el número de líneas involucradas en sus conjuntos de progenitores.

Los comportamientos relativos de las VSs y testigos a través de los ambientes, sin embargo, no se sostuvieron. Parte de la interacción entre genotipos y ambientes detectada en el análisis combinado ($\alpha \leq 0.05$) se manifestó entre tipos sintéticos (y los testigos) y localidades en 14 de las 17 variables estudiadas. Entre las excepciones están las variables de precocidad masculina y femenina, probablemente debido a su reconocida robustez ante la variación ambiental y alta heredabilidad. En contraste, en rendimiento de elote de primera calidad la interacción hace que mientras que, por ejemplo, las diferencias entre la media de $(L\ s)$ y la de los testigos sea un número negativo, - 6,440 elotes/ha, en el Campo Experimental Zacatepec, Mor., en el Campo Experimental San Martín, Chapingo, Edo de Méx. sea 4,920 elotes/ha.

BIBLIOGRAFÍA

- BANIK, B. R.; KHALDUN, A. B. M.; MONDAL, A. A.; ISLAM, A.; ROHMAN, M. M. 2010. Assessment of genotype-by-environment interaction using additive main effects and multiplicative interaction model (AMMI) in Maize (*Zea mays* L.) Hybrids. Academic Journal of Plant Sciences 3 (4): 134-139.
- BUSBICE, T.H. 1970. Predicting yield of synthetic varieties. Crop Science 10:265- 269.
- IBPGR. 1991. Descriptores para maíz. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) / International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR), Roma, Italia. 88 p.
- CONTRERAS H., O.; PÉREZ C., A. 1998. Diagnóstico Biológico y Químico del Estado de la Fertilidad del Suelo de la Tabla Agrícola “San Juan” del CAE de la UACH. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 94 p.
- GARCÍA, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para Adaptarlos a las Condiciones de la República Mexicana. 4a edición. UNAM, D. F. México. 217 p.
- GUERRERO G., M. A. 1993. Suelos Agropecuarios del Estado de Morelos, Producción y Rendimiento. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, UNAM. Pp 360-368.
- KAYA, Y. K.; PALTA, E.; TANER, S. 2002. Additive main effects and multiplicative interactions analysis of yield performances in bread wheat genotypes across environments. Turk J. Agric. For. 26: 275-279.

- KAYODE, A. S.; ARIYO, O. J.; OJO, D. K.; GREGORIO, G.; SOMADO, E. A.; SANCHEZ I.; SIE M., FUTAKUCHI, K.; OGUNBAYO, A. S.; GUEI, R. G.; WOPEREIS, M. C. S. 2009. Additive main effects and multiplicative interactions analysis of grain yield performances in rice genotypes across environments. *Asian Journal of Plant Sciences* 8(1):48-53.
- MÁRQUEZ-SÁNCHEZ F. 2008. Endogamia y predicción de sintéticos de maíz de cruza dobles. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(03): 1-4.
- OROPEZA M., J. 1980. Evaluación de la erosión hídrica (sedimentos en suspensión) en las cuencas de los ríos Texcoco y Chapingo. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. pp 179.
- RAMOS M., C. 2000. Propiedades Físicas y Químicas de los Suelos del CAE Chapingo Tablas: San Martín y Xaltepa. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 129 p.
- SAHAGÚN C., J.; RODRÍGUEZ P., J. E.; PEÑA L., A. 2005. Predicting yield of synthetics derived from double crosses. *Maydica* 50:129.136.
- SAHAGÚN C., J.; RODRÍGUEZ P., J. E. 2011. Endogamia de sintéticos formados con líneas y cruza simples. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 17(3): 107-115.
- SAHAGÚN C., J.; VILLANUEVA V., C. 1997. Teoría de las variedades sintéticas formadas con híbridos de cruza simple. *Rev. Fitotec. Mex.* 20: 69-79.
- VANEGAS L., M. 2009. Diversidad vegetal en obras de control de azolves sobre el río Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México, UACH. PP. 117.

DISCUSIÓN GENERAL

En este estudio se desarrolló teoría sobre las variedades sintéticas (VSs) formadas por el apareamiento aleatorio de una mezcla de L líneas y s cruza simples ($L \times s$). Los casos extremos ($L \times 0$) y ($0 \times s$) también fueron incluidos. Entre los resultados más relevantes destacan los relativos a la media genotípica (MG): la mayor y menor MGs se obtuvieron con los sintéticos de tipo ($L \times 0$) y ($L \times s$), respectivamente. Además, también se concluyó que sólo cuando el coeficiente de endogamia de las líneas progenitoras es igual a 1 o los representantes de cada progenitor son numerosos, las medias genotípicas de las VSs de los tipos ($L \times 0$) y ($0 \times s$) fueron iguales. Por otro lado, en el estudio experimental se usaron líneas cuyo coeficiente de endogamia fue igual a 0.5 y los representantes de cada progenitor fueron numerosos. Según la teoría, en igualdad de circunstancias, los coeficientes de endogamia de las variedades sintéticas de la forma ($L \times 0$) y ($0 \times s$) deben ser menores que los de las VSs del tipo ($L \times s$) y estas diferencias se reducen a medida que una variedad sintética tiene más progenitores. Los resultados experimentales obtenidos de los análisis de los contrastes posibles entre los tres tipos de VSs y los testigos, sin embargo, no coinciden con exactitud con los resultados teóricos basados en los coeficientes de endogamia. Entre las condiciones que deben satisfacerse para que las diferencias en las magnitudes de estos coeficientes sean reflejadas en las medias fenotípicas y que la diferencia entre las dos medias involucradas en un contraste se pueda detectar, se puede incluir: 1) que la endogamia genere depresión endogámica (reducción de la media fenotípica); 2) que haya una estrecha relación entre la media genotípica y la media fenotípica y 3) que el instrumento de detección de estas diferencias sea lo suficientemente afinado para

identificar aún diferencias pequeñas. Posiblemente al menos una de estas condiciones se satisfizo, y el resultado es que los tres tipos de variedades sintéticas deben ser declaradas estadísticamente iguales en rendimiento de elote a nivel global. Esta igualdad, sin embargo, no prevaleció en las tres localidades, configurándose así lo que en términos estadísticos se denominaría interacción entre tipos de VSs (incluidos los testigos) y ambientes. La parte restante debe ser la interacción con el ambiente de las VSs dentro de los tipos de VSs (incluidos los testigos). Por esta interacción es que se observaron resultados globales (los generados por el análisis combinado) que no se reflejaron en los comportamientos relativos de los tipos de variedades sintéticas a través de los ambiente. La interacción entre genotipos y ambientes, manifestada en superioridad del comportamiento de los testigos en rendimiento de elote de primera calidad en el Campo Experimental Zacatepec, Mor. en relación al de las VSs y el mejor comportamiento (medias más altas) de éstas en relación al de los testigos observado en el Campo Experimental San Martín, Chapingo, Edo de Méx. es debido a la mejor adaptación de las VSs a este ambiente, lugar en que se desarrollaron.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- BUSBICE, T.H. 1970. Predicting yield of synthetic varieties. *Crop Sci.* 10 (3), 265–269.
- HALLAUER, A.R.; MIRANDA, J.B.FO.1988.Quantitative Genetics in Maize Breeding; Iowa State Univ. Press: Ames, 1988; 1468.
- HAYES, H.K.; GARBER, R.J. 1919. Synthetic production of high protein corn in relation to breeding. *J. Am. Soc. Agron.* 1919, 11 (8), 309–318.
- MÁRQUEZ-SÁNCHEZ F. 1992. Inbreeding and yield prediction in synthetic maize cultivars made with parental lines: Basic methods. *Crop Science* 32:271-274.
- MÁRQUEZ-SÁNCHEZ F. 2007. Predicción de sintéticos de maíz hechos con cruzas simples. *Agrociencia*, 41(06):647-651.
- MÁRQUEZ-SÁNCHEZ F. 2008. Endogamia y predicción de sintéticos de maíz de cruzas dobles. *Rev. Fitote. Mex.*, 31(03): 1-4.
- MÁRQUEZ-SÁNCHEZ F. 2010. La epistasis en variedades sintéticas de maíz. *Rev. Fotec. Mex.* 3(4): 101-105.
- PALIWAL, R.L.; SMITH, M.E. 2002. Tropical maize: innovative. Approaches for sustainable productivity and production increases. In *Crop Improvement. Challenges in the Twenty-First Century*; Kang, M.S., Ed.; Food Products Press: New York, 43–73.
- SAHAGÚN C., J ; VILLANUEVA V., C.1997.Teoría de las variedades sinteticas formadas con híbridos de cruza simple. *Rev. Fitotec. Mex.* 20: 69-79.

- SAHAGÚN C., J; VILLANUEVA V., C. 2012. ¿Variedades sintéticas derivadas de cruzas simples o de cruzas dobles?. Revista Chapingo Serie Horticultura 18(2): 279-289.
- SAHAGÚN C., J.; RODRÍGUEZ P., J. E.; PEÑA L., A. 2005. Predicting yield of synthetics derived from double crosses. Maydica, 50:129.136.
- SAHAGÚN C., J.; RODRÍGUEZ P., J. E. 2011. Endogamia de sintéticos formados con líneas y cruzas simples. Revista Chapingo Serie Horticultura 17(3): 107-115.
- SMITH, E. S. 2004. Breeding Synthetic Cultivars. Encyclopedia of Plant and Crop Science. University of Arizona, Tucson, Arizona, U.S.A. 2 p.
- TAYLOR N., L. 1987. Forage Legumes. In: Principles of Cultivar Development Fehr, W.A., Ed.; Macmillian Publishing. New York, Vol. 2:209–248.