

Respuesta del *Silk Balling* a humedad edáfica y densidad de población en líneas de maíz*

Silk Balling answer to soil moisture and population density in maize lines

Francisco Cervantes-Ortiz¹, Jorge Luis Cadenas-Tepoxteco², Juan Carlos Raya-Pérez¹, Enrique Andrio-Enríquez¹, José Antonio Rangel-Lucio³, Luis Patricio Guevara-Acevedo¹, Sergio Rodríguez-Herrera⁴ y Mariano Mendoza-Elos^{1§}

¹Instituto Tecnológico de Roque. Carretera Celaya-J km 8. Rosas. Roque, Celaya, Guanajuato, México. C. P. 38110. (frcervantes@itroque.edu.mx, juancarlos.raya@gmail.com, subtec33@yahoo.com.mx, gueacel@yahoo.com.mx). ²Producción y Tecnología de Semillas-Instituto Tecnológico de Roque. (cadenas22@live.com.mx). ³Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. (arangel_l@yahoo.com.mx). ⁴Universidad Autónoma Antonio Narro, Unidad Laguna. (serroh90@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: mmendoza66@hotmail.com.

Resumen

Con el objetivo de determinar la expresión del *Silk Balling*, de caracteres agronómicos y de rendimiento, tres líneas élite de maíz fueron evaluadas bajo diferentes niveles de humedad en el suelo y densidades de población en dos ambientes: Dolores Hidalgo y Jaral del Progreso, Guanajuato, durante el ciclo agrícola primavera-verano, 2011. El ensayo involucró tres factores: 1) líneas élite de maíz (Prog A, B y C); 2) humedad edáfica (10, 100 y 190%); y 3) densidad de población (90, 100 y 110 mil plantas ha⁻¹). Se utilizó un diseño experimental de parcelas sub-divididas, con 27 tratamientos y cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron porcentaje de mazorcas con *Silk Balling* (ESB), severidad de daño en la mazorca por *Silk Balling* (SBI), altura de planta y mazorca, acame de raíz, índice de prolificidad, rendimiento de grano en campo, longitud de mazorca y peso volumétrico de la semilla. Los resultados mostraron diferencias estadísticas significativas para ESB y SBI para localidades, genotipos y humedad del suelo. De tal modo que, cuando los genotipos fueron sometidos a estrés por deficiencia hídrica, la expresión del *Silk Balling* incrementó pero redujo la expresión fenotípica de caracteres restantes. Por otro lado, la densidad de población sólo presentó efecto significativo en rendimiento de grano y longitud

Abstract

In order to determine the expression of *Silk Balling*, of agronomic characters and yield, three elite maize lines were evaluated under different levels of soil moisture and population densities in two different environments: Dolores Hidalgo, Jaral del Progreso and Guanajuato during the spring-summer growing season, 2011. The trial involved three factors: 1) elite maize lines (Prog A, B and C); 2) soil moisture (10, 100 and 190%); and 3) population density (90, 100 and 110 000 plants ha⁻¹). We used an experimental design of sub-divided plots, with 27 treatments and four replications. The variables evaluated were: percentage of ears with *Silk Balling* (ESB), severity of injury on the cob by *Silk Balling* (SBI), plant height and cob, root lodging, prolificacy index, yield grain in field, ear length and volumetric weight of the seed. The results showed statistically significant differences for ESB and SBI for localities, genotypes and soil moisture. For this reason, when the genotypes were subjected to stress due to water deficiency, the expression of *Silk Balling* increased but reduced the phenotypic expression of the characters left. Furthermore, population density only showed significant effect on grain yield and ear length. Grain yield was stimulated by increasing the sowing density; however, ear length suffered a significant decrease.

* Recibido: octubre de 2014
Aceptado: enero de 2015

de la mazorca. El rendimiento de grano fue estimulado al incrementarla densidad de siembra; sin embargo, la longitud de mazorca sufrió una significativa disminución.

Palabras clave: *Silk Balling*, densidad de siembra, estrés hídrico, líneas endogámicas.

La producción de semilla en México presenta diversidad de problemas con impacto importante en el rendimiento. Algunos de ellos se manifiestan por la interacción de las funciones fisiológicas de la planta y su respuesta a factores ambientales. Un caso de ellos ocurre en los estigmas de la flor femenina de maíz, que sufren una deformación al estar expuestos y forman una estructura compleja que aparenta una bola; en lengua inglesa se conoce como *Silk Balling*. Aunque existen imprecisiones sobre su origen, se le relaciona con la existencia de temperaturas nocturnas bajas durante la emergencia y elongación de estigmas florales (Nielsen, 2000). También se afirma que los materiales susceptibles han formado valvas estrechas, un hecho que provoca el mayor grado de deformación de estigmas que asemejan una bola. La reducción del rendimiento por unidad de superficie, depende de la gravedad y cantidad de plantas con presencia de *Silk Balling*. Este fenómeno está presente en al menos un híbrido en la mayoría de las empresas semilleras internacionales (Trademarks and Service Markets of Pioneer Hi-Bred International Inc., 2010).

La floración femenina y la polinización son etapas críticas en la formación de la semilla. Cada estigma puede dar origen a una semilla, pero si el estigma no es polinizado constituye una pérdida y un impacto negativo en el rendimiento. Los factores que obstaculizan la emisión de estigmas y la polinización de manera exitosa son el clima, insectos y genotipo. La sequía es un factor común, al igual que el recorte de estigmas por insectos plaga como los escarabajos. Un problema menos frecuente pero grave, se relaciona con la interacción de ambos factores climáticos y genotipos con problemas de estigmas hechos bola. Cuando se origina el *Silk Balling*, los estigmas procedentes de la punta de la mazorca se hacen bola y son atrapados por las hojas de totomoxtle y no emergen en forma oportuna. En este mismo sentido, se restringe la polinización porque los estigmas no han sido polinizados, por lo que se forma una zona estéril en el ápice de la mazorca (Trademarks and Service Markets of Pioneer Hi-Bred International Inc., 2010). No existen alternativas suficientes para tratar el *Silk Balling*; sin embargo, Lennon *et al.* (1997) sugieren mecanismos manuales para evitar el enrollamiento y obtener mayor rendimiento de semilla en maíz, como el hecho de recortar la punta de las valvas en los primeros estadios de desarrollo de los estilos.

Keywords: *Silk Balling*, inbred lines, sowing density, water stress.

Seed production in Mexico presents several problems with significant impact on yield. Some of them are manifested by the interaction of the physiological functions of the plant and its response to the environmental factors. A case of them occurs in the stigma of the female flower of maize, which undergo deformation when exposed, forming a complex structure that looks like a ball; in English is well known as *Silk Balling*. Although, there are uncertainties about its origin is associated with the existence of low temperatures at night during emergence and elongation of flower stigmas (Nielsen, 2000). It also stated that, the liable materials have formed narrow shells, a fact that causes the highest degree of deformation of stigmas resembling a ball. The reduction in yield per unit area depends on the severity and number of plants with *Silk Balling*. This phenomenon is present in at least one hybrid in most of the international seed companies (Trademarks and Service Markets of Pioneer Hi-Bred International Inc., 2010).

Silking and pollination are critical phases in the formation of the seed. Each stigma can lead to a seed, but if the stigma is pollinated is considered a loss and a negative impact on yield. Factors successfully impeding silking and pollination are climate, insects and genotype. Drought is a common factor, just like cutting off the stigmas by pest insects such as beetles. A less common but serious problem is related to the interaction of both climatic factors and genotypes with problems of stigmas balled. When the *Silk Balling* starts, the stigmas from the tip of the ear change into a ball and are trapped by the husks not emerging in a timely manner. In this sense, pollination is restricted because the stigmas were not pollinated, forming a sterile zone at the apex of the ear (Trademarks and Service Markets of Pioneer Hi-Bred International Inc., 2010). There are no adequate alternatives to treat *Silk Balling*; however, Lennon *et al.* (1997) suggest manual mechanisms to prevent curling and get higher seed yield in maize, as the fact of cutting the tip of the shells during the early stages of the stigmas development.

Furthermore, water stress causes changes in different phenological stages, with a significant loss of yield and effect on the components (NeSmith and Ritchie, 1992). So that water stress during vegetative and flowering stages, reduces the number of grains and increases the amount of plants without ears (jorras plants). When this deficiency occurs during the phase of grain filling on the cob, generates smaller kernels and reduces yield (Campos *et al.*, 2006; Avendaño *et al.*, 2008).

Por otro lado, el déficit hídrico provoca alteraciones en diferentes etapas fenológicas, con una pérdida significativa del rendimiento y efecto en sus componentes (NeSmith y Ritchie, 1992). De tal forma que, el estrés hídrico durante etapas vegetativas y de floración, reduce el número de granos e incrementa la cantidad de plantas sin mazorcas (“plantas jorras”). Cuando dicha deficiencia ocurre en la fase de llenado del grano en la mazorca, genera granos de menor tamaño y reduce el rendimiento (Campos *et al.*, 2006; Avendaño *et al.*, 2008).

La densidad de población es considerada como el factor controlable más importante para obtener mayor rendimiento agrícola. En maíz, ésta ejerce alta influencia en el rendimiento de grano y características agronómicas, pues el rendimiento se incrementa con la densidad de población hasta un valor máximo, a partir del cual tiende a disminuir (Sangoi, 2000). En este tópico, Ajamnouroozi y Bohrani (1998) afirman que los cambios en el rendimiento con el aumento de la densidad de plantas, muestran un incremento al principio y luego descienden; además, señalan que éste comportamiento adquiere la forma de parábola, y que los bajos rendimientos a densidad de siembra baja, se deben a la escasez de plantas, pero la densidad alta provoca esterilidad.

Con la finalidad de contribuir a resolver parte de la problemática que se tiene en la producción de semilla de maíz, en ésta investigación se planteó como objetivo evaluar diferentes niveles de humedad del suelo y densidades de población en tres líneas endogámicas de maíz, con el fin de disminuir la expresión del *Silk Balling* y observar la expresión en otros caracteres agronómicos.

El trabajo de investigación se realizó en dos localidades de Guanajuato, México: a) Rancho Santa Margarita, ubicado en el Municipio de Dolores Hidalgo (21° 12' latitud norte y 100° 49' longitud oeste y 1 985 msnm) con una temperatura media anual de 17.4 °C y una precipitación de 564.1 mm durante el año y; b) Campo experimental La Charca Municipio de Jaral del Progreso, propiedad de la empresa Monsanto Company (20° 25' latitud norte y 101° 3' longitud oeste y 1 726 msnm) con una temperatura media anual de 18.5 °C y una precipitación de 647.9 mm durante el año.

Las siembras se realizaron en el ciclo agrícola primavera-verano de 2011, el 25 de febrero y 02 de Marzo, en Dolores Hidalgo y Jaral del Progreso, respectivamente. El ensayo también se apoyó en un análisis de suelo, realizado en el Laboratorio de Suelos del Instituto Tecnológico de Roque (Cuadro 1).

Population density is considered as the most important controllable factor for obtaining higher agricultural yields. In maize, it enacts high influence on grain yield and agronomic traits, since yield increases with population density to a maximum value, decreasing after that point (Sangoi, 2000). In this topic, Ajamnouroozi and Bohrani (1998) state that changes in the yield with the increasing plant density show an increase at first and then descend; also noting that this behaviour takes the form of a parabola, and that low yields on low sowing density is due to the scarcity of plants, but high density causes sterility.

In order to help solving some of the problems we have in the production of maize seed, in this research, the objective was to evaluate several soil moisture levels and population densities in three maize inbred lines for decreasing the expression of *Silk Balling* and observe the expression on other agronomic traits.

The research was conducted in two localities of Guanajuato, Mexico: a) Rancho Santa Margarita, located in the municipality of Dolores Hidalgo (21° 12' north latitude and 100° 49' west longitude, 1985 m) with an average annual temperature of 17.4 °C and rainfall of 564.1 mm during the year; b) Experimental Field La Charca, municipality of Jaral del Progreso, property of Monsanto Company (20° 25' north latitude and 101° 3' west longitude, 1 726 m) with an average annual temperature of 18.5 °C and precipitation of 647.9 mm during the year.

Sowings were made in the spring-summer growing season, 2011, February 25th and March 2nd in Dolores Hidalgo and Jaral del Progreso, respectively. The study also relied on a soil test conducted at the Soil Laboratory of the Technological Institute of Roque (Table 1).

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo muestreado en las localidades experimentales. Guanajuato. 2011.

Table 1. Physical and chemical properties of the soil sampled in the experimental sites. Guanajuato. 2011.

Características de suelo	Dolores Hidalgo	Jaral del Progreso
pH	6.2	6.9
Densidad aparente (g cm ⁻³)	1.35	1.25
Capacidad de campo (%)	19.4	42.6
Punto de marchitez permanente (%)	9.95	27.89
Materia orgánica (%)	1.15	1.91

Por otro lado, en el Cuadro 2 se muestran las temperaturas máxima y mínima y la humedad relativa en el periodo experimental, realizado en Dolores Hidalgo y Jaral del Progreso, Guanajuato.

On the other hand, the Table 2 shows the maximum and minimum temperatures and relative humidity during the experimental period, conducted in Dolores Hidalgo and Jaral del Progreso, Guanajuato.

Cuadro 2. Características climáticas de los sitios experimentales. Guanajuato. 2011.

Table 2. Climatic characteristics of the experimental sites. Guanajuato. 2011.

Fecha	TMax (°C)	TMin (°C)	HRM (%)	HRP (%)	PP (mm)	TP (°C)
Dolores Hidalgo, 2011						
25 de febrero	26.93	5.65	77.25	43.3	0	16.29
Marzo	27.67	5.79	74.97	38	0	16.73
Abril	30.39	10.34	72.27	37.39	0.18	20.36
Mayo	31.44	11.58	76.1	42.75	0.5	21.51
Junio	27.64	11.67	91.9	61.02	1.54	19.66
Julio	25.37	11.57	94.77	70.9	0.82	18.47
Jaral del Progreso, 2011						
02 de marzo	28.05	6.07	86.53	48.72	0.01	17.06
Abril	30.82	9.41	83.1	45.49	0	20.12
Mayo	32.47	13.31	73.26	39.75	0	22.89
Junio	29.29	14.62	83.47	55.08	1.89	21.96

Tmax, Tmin, HRM, HRP, PP y TP= temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa máxima, humedad relativa promedio, precipitación pluvial y temperatura promedio. Fuente: Fundación Guanajuato Produce, A. C. (2012).

Los factores evaluados fueron 1) tres líneas endogámicas de maíz proporcionadas por la empresa Monsanto Company, previamente clasificadas con problemas de *Silk Baling* (Prog A, B y C); 2) humedad del suelo (10, 100 y 190% de abatimiento). Los niveles de riego se obtuvieron por las características edáficas de cada suelo (Cuadro 1). De esta forma, se determinó el tiempo de riego para cada nivel de abatimiento en estudio, los cuales se realizaron en dos etapas críticas del cultivo: a) formación de órganos (V5-V6) y; b) alargamiento de jilote (R13-R15). El suministro de agua estuvo en función de las necesidades hídricas del maíz (600 mm), planificado para distribuirse en 10 riegos con láminas de 6 cm en el ciclo de cultivo; sin embargo, sólo se realizaron ocho riegos normales con láminas de 6 cm y dos riegos de tratamiento en las etapas críticas ya mencionadas; de tal forma que se aplicó un tiempo de 1.15, 11.49 y 21.84 h de acuerdo con el tratamiento de 10, 100 y 190% de humedad, respectivamente para Dolores Hidalgo y en Jaral del Progreso el tiempo fue de 1.6, 16.57 y 31.47 h en los mismos niveles hídricos mencionados. La presión de descarga de 9 libras fue constante en cada riego, con el propósito de suministrar la cantidad de agua estimada por el tiempo de riego programado; y 3) densidad de población (90, 100 y 110 mil plantas ha⁻¹).

Factors tested were: 1) three inbred maize lines supplied by Monsanto Company, previously classified with *Silk Baling* problems (Prog A, B and C); 2) soil moisture (10, 100 and 190% abatement). Irrigation levels were obtained considering the characteristics of each soil (Table 1). Thus, determining watering time for each level of abatement under study, performed at two critical stages: a) organs formation (V5-V6) and; b) lengthening of tender maize (R13-R15). Water supply was according of the needs of maize (600 mm), planned to be distributed in 10 irrigations with sheets of 6 cm in the growing season; however, only eight regular irrigations were made with sheets of 6 cm and two irrigations of treatment at the critical stages just mentioned; applying a time of 1.15, 11.49 and 21.84 h according to the treatment with 10, 100 and 190% of humidity, respectively for Dolores Hidalgo and Jaral del Progreso, the time was 1.6, 16.57 and 31.47 h in the same water levels mentioned. The discharge pressure of 9 pounds was constant in each watering, in order to supply the amount of water estimated by the programmed watering time; and 3) population density (90, 100 and 110 000 plants ha⁻¹).

We used an experimental design of sud-divided plots, with 27 treatments and four replications. The largest plot was occupied by the genotypes, the medium plot by the levels

Se utilizó un diseño experimental de parcelas sud-divididas, con 27 tratamientos y cuatro repeticiones. La parcela mayor se ocupó por los genotipos, la parcela media por niveles de abatimiento de humedad aprovechable (10, 100 y 190%) y la parcela chica por la densidad de población de plantas (90, 100 y 110 mil plantas ha⁻¹). Cada unidad experimental estuvo constituida por dos surcos de 4.5 m de longitud, separados 0.76 m.

Los caracteres evaluados fueron porcentaje de mazorcas con *Silk Balling* (ESB), el cual se obtuvo visualmente, al cuantificar el número de mazorcas por parcela con presencia de estigmas hechos bola, entre el número total de mazorcas localizadas en la parcela y multiplicado por 100. La determinación del porcentaje de severidad del *Silk Balling* (SBI), también se evaluó de forma visual, pero se empleó una escala del 1 al 10, de acuerdo con la proporción de daño en cada mazorca: 1= mazorca con buen llenado de grano y 10= mazorca sin grano; posteriormente se obtuvo un promedio que se multiplicó por 100. También se registró altura de planta y de mazorca, porcentaje de acame de raíz y rendimiento de grano en campo (ajustado a 13% de humedad) y sus componentes (longitud de la mazorca y peso volumétrico del grano).

Las características correspondientes al *Silk Balling* y porcentaje de acame de raíz, se transformaron mediante la fórmula $\sqrt{x + 0.5}$; posteriormente se realizó el análisis estadístico combinado para determinar el efecto del ambiente, mediante el uso del programa SAS (SAS, 1999) ver. 9.1. La comparación múltiple de medias se realizó de acuerdo a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Caracteres agronómicos y *Silk Balling*

Los resultados del análisis de varianza muestran significancia estadística a efectos simples de localidad (L), genotipo (G) y nivel de humedad de suelo (H) para alturas de planta (AP) y mazorca (AM), acame de raíz (AR), mazorcas con *Silk Balling* (ESB) y severidad de daño por *Silk Balling* (SBI); en cambio, no se detectaron efectos estadísticos significativos en densidad de población (D). Las diferencias significativas sólo ocurrieron en interacciones dobles de factores como L * G, L * H, G * H y H * D para algunas de las variables evaluadas.

Localidades

La prueba de comparación de medias en los caracteres agronómicos y de expresión y severidad del *Silk Balling*, demuestran el efecto de la localidad y es Jaral del Progreso donde ocurrió la mayor deformación de mazorcas (ESB) y la mayor severidad de daño (SBI) provocadas por *Silk Balling*,

of abatement of available moisture (10, 100 and 190%) and the small plot for the plant population density (90, 100 and 110 000 plants ha⁻¹). Each experimental unit consisted of two rows of 4.5 m length, 0.76 m apart.

The evaluated characters were percentage of cobs with *Silk Balling* (ESB), which was visually obtained by quantifying the number of ears per plot with the presence of balled stigmas by the total number of ears located on the plot and multiplied by 100. The determination of the percentage of severity of *Silk Balling* (SBI) was also visually assessed, using a scale of 1 to 10, according to the proportion of damage in each ear: 1= cob with good grain filling and 10= cob with no kernels; subsequently obtaining an average to be multiplied by 100. We also recorded plant height and ear, percent of root lodging and grain yield in field (adjusted to 13% moisture) and its components (ear length and volumetric weight of grain).

The corresponding features to *Silk Balling* and percentage of root lodging were transformed using the formula $\sqrt{x + 0.5}$; thereafter performing the combined statistical analysis for determining the effect of the environment, through the use of SAS (SAS, 1999) ver. 9.1. The multiple comparison of means was performed according to the Tukey test ($p \leq 0.05$).

Agronomic characters and *Silk Balling*

The results of the analysis of variance showed statistical significance to simple effects of locality (L), genotype (G) and soil moisture level (H) for plant heights (PH) and cob (CH), root lodging (RL) cobs with *Silk Balling* (ESB) and severity of injury by *Silk Balling* (SBI); however, no statistically significant effects were detected in population density (D). Significant differences occurred only in two-way interactions of factors such as L * G, L * H, G * H and H * D for some of the evaluated variables.

Localities

The test for comparison of means in agronomic characters, expression and severity of *Silk Balling*, demonstrate the effect of location and, in Jaral del Progreso presented the highest deformation of ears (ESB) and the worst damage (SBI) caused by *Silk Balling*, estimated in 46.6 and 31.8%, respectively, compared with Dolores Hidalgo (Table 3). Looking at the Table 2, it shows that in Jaral del Progreso, during March and April, maximum relative humidity values

estimados en 46.6 y 31.8%, respectivamente, en comparación con Dolores Hidalgo (Cuadro 3). Al observar el Cuadro 2 muestra que, durante marzo y abril, en Jaral del Progreso se registraron valores de humedad relativa máxima superiores a 80% y temperaturas mínimas por debajo de 10 °C; además, la amplitud de temperatura entre la máxima y la mínima fue de 21 °C en el mismo período. Estas observaciones coinciden con afirmaciones que ligan al *Silk Balling* con noches frías o con cambios rápidos de temperatura antes de la aparición de estigmas (Nielsen, 2000). Este mismo autor menciona que el *Silk Balling* no es un problema frecuente y que sus causas no han sido precisadas.

above 80% and minimum temperatures below 10 °C were recorded; in addition, the temperature span between the maximum and the minimum was 21 °C in the same period. These observations agreed with assertions that bind the *Silk Balling* with cold nights or with rapid temperature change before silking (Nielsen, 2000). The same author mentioned that, the *Silk Balling* is not a common problem and its causes have not been specified.

Similarly, it was the response of plant height and ear, where Dolores Hidalgo had the lowest values. However, regarding root lodging, it expressed the highest percentage (4.4).

Cuadro 3. Comparación de medias para caracteres agronómicos y de expresión del *Silk Balling* en líneas endogámicas de maíz evaluadas en Dolores Hidalgo y Jaral del Progreso, Guanajuato. 2011.

Table 3. Comparison of means for agronomic traits and the expression of *Silk Balling* in inbred maize lines evaluated in Dolores Hidalgo and Jaral del Progreso, Guanajuato. 2011.

Factores de estudio	ESB (%)	SBI (%)	AP (cm)	AM (cm)	PA (%)
Localidades de evaluación					
Dolores Hidalgo	27.14b	18.23b	102.35b	36.07b	4.4a
Jaral del Progreso	46.64a	31.8 ^a	104.17a	43.07a	3.56b
Genotipos					
Prog A	23.23b	17.38b	108.3a	44.06a	4.23a
Prog B	27.56b	14.44c	100.85b	41.86b	3.91b
Prog C	63.84a	47.61 ^a	100.85b	33.47c	3.80b
Nivel de abatimiento de humedad del suelo (%)					
10	56.86a	32.49 ^a	98.46c	35.42c	4.12a
100	28.72b	21.43b	104.07b	40.92b	3.95b
190	26.62b	20.7b	107.46a	43.05a	3.87b
Densidad de población (plantas ha ⁻¹)					
90 000	36.96a	24.9 ^a	102.35a	39.25a	3.99a
100 000	35.88a	24.6 ^a	103.3a	39.78a	3.99a
110 000	35.88a	24.2 ^a	103.72a	40.37a	3.96a

ESB, SBI, AP, AM y PA= porcentaje de mazorcas afectadas por *Silk Balling*, porcentaje de severidad en la mazorca por *Silk Balling*, altura de planta, altura de mazorca y porcentaje de acame.

En el mismo sentido, fue la respuesta de altura de planta y mazorca donde la localidad de Dolores Hidalgo presentó los valores más bajos. Sin embargo, con relación al acame de raíz expresó mayor porcentaje (4.4). Esta condición se atribuye a las características del tipo de suelo (Cuadro 1), ya que son suelos pobres y pocos profundos, aunado a esto presentan propiedades físicas y químicas no aptas para el buen desarrollo del cultivo, por ejemplo, pobre desarrollo del sistema radicular que ocasiona el acame de raíz y planta.

Genotipos

Por otro lado, el genotipo Prog C expresó el mayor porcentaje de daño y severidad por *Silk Balling* (63.8 y 47.6, respectivamente). De este modo, los genotipos Prog A y B

This condition is attributed to the characteristics of the soil type (Table 1), because the soils are poor and little deep, coupled with this, they have unsuitable physical and chemical properties for the proper development of the crop, for example, poor root development causing plant and root lodging.

Genotypes

Furthermore, the genotype Prog C expressed the highest percentage of damage and severity by *Silk Balling* (63.8 and 47.6, respectively). Thus, the genotypes Prog A and B had the lowest percentages for these characters. The best expression of plant height and ear correspond to the genotype Prog A, even though, this material was

presentaron los menores porcentajes para estos caracteres. La mejor expresión de altura de planta y mazorca corresponden al genotipo Prog A, aunque este material fue consistente con el mayor porcentaje de acame de raíz (Cuadro 3). Estos resultados están de acuerdo con los reportados en la publicación de Trademarks and Service Markets of Pioneer Hi-Bred International Inc. (2010) donde se establece que este problema se debe al genotipo. Otros autores mencionan que el recorte de estigmas ayuda a obtener un alto porcentaje de polinización y mayor rendimiento de semilla en líneas de maíz (Lennon *et al.*, 1997).

Humedad edáfica

Con respecto al nivel de abatimiento de humedad en el suelo, se observa que al aplicar un estrés por humedad (10% de humedad) hubo la máxima expresión del *Silk Balling* (56.86 y 32.49%, respectivamente) para todos los genotipos; mientras que el riego normal (100%) y con exceso de agua (190%) presentaron los menores porcentajes para este fenómeno (Cuadro 3). Lo que indica, que el estrés por agua favorece la expresión de este carácter. En este sentido, Wilhelm *et al.* (1999); Suzuki *et al.* (2001) mencionan que temperaturas altas y estrés por agua afectan el proceso de polinización, fecundación y desarrollo del grano como consecuencia de la desecación de estigmas, y/o de los granos de polen. En este mismo tópico, Bassetti y Westgate (1993) afirman que un déficit hídrico en estado de antesis puede disminuir la receptibilidad de los estigmas en maíz.

Con respecto a la altura de planta y mazorca (Cuadro 3) el estrés por agua disminuye el tamaño de la planta, y aumenta el porcentaje de acame de raíz, en este sentido, existen evidencias que la falta de agua en cualquier etapa fenológica del cultivo afecta su crecimiento y desarrollo lo cual reduce el potencial agronómico, por ejemplo, los rendimientos en condiciones de temporal son mucho más bajo que cuando se realiza con algún sistema de riego, en contraste, la condición de estrés de agua provoca mayor ataque de plagas, enfermedades y acames. Estos resultados están de acuerdo a los obtenidos por Eck (1986); Cakir (2004) quienes encontraron que el déficit por agua en estado vegetativo y a inicios de la floración reduce la altura de la planta en maíz.

Densidad de población

Los cambios en los niveles de población de plantas no provocan tendencia de cambio para estos caracteres. Estos resultados no coinciden con los reportados por Oyervides *et*

consistent with the highest percentage of root lodging (Table 3). These results agree with those reported in the publication of Trademarks and Service Markets of Pioneer Hi-Bred International Inc. (2010) which states that this problem is due to the genotype. Other authors mention that cutting off stigmas do helps getting high percentage of pollination and higher seed yield in maize lines (Lennon *et al.*, 1997).

Soil moisture

Regarding the level of abatement of soil moisture, it is observed that by applying a moisture stress (10% moisture) the epitome of *Silk Balling* (56.86 and 32.49%, respectively) was observed for all genotypes; while regular irrigation (100%) and with excess of water (190%) had the lowest percentages for this phenomenon (Table 3). Indicating that water stress promotes the expression of this characteristic. In this regard, Wilhelm *et al.* (1999); Suzuki *et al.* (2001) noted that high temperatures and water stress affect the process of pollination, fertilization and grain growth as a result of desiccation of stigmas, and/or pollen grains. On this same topic, Bassetti and Westgate (1993) stated that a water shortage during the anthesis might reduce the receptivity of the stigmas of maize.

Regarding plant height and ear (Table 3), water stress decreases the size of the plant, and increases the percentage of root lodging, in this regard, there is evidence that, the lack of water in any phenological stage of the crop affects growth and development which reduces the agronomic potential, for example, yields under rainfed conditions are much lower than when performed with a sprinkler system, in contrast, the condition of water stress leads to increased pest attack, diseases and lodging as well. These results agree with those obtained by Eck (1986); Cakir (2004) who found that water deficit in vegetative state and early flowering reduces plant height in maize.

Population density

Changes in plant population levels do not cause change trend for these characters. These results do not coincide with those reported by Oyervides *et al.* (1990); Cervantes *et al.* (2013), who found that plant density usually modifies flowering and plant height in maize lines.

al. (1990); Cervantes *et al.* (2013), quienes encontraron que usualmente la densidad de siembra modifica la floración y la altura de la planta en líneas de maíz.

Rendimiento y sus componentes

El comportamiento del rendimiento y algunos de sus componentes influenciados por los factores externos de evaluación indican que la localidad (L) sólo tuvo efecto estadístico ($p \leq 0.01$) en el rendimiento de campo y longitud de la mazorca. Del mismo modo, hubo efecto significativo ($p \leq 0.01$) de los genotipos (G) para el índice de prolificidad (mazorcas por planta), rendimiento de campo y longitud de mazorca y ($p \leq 0.05$) para el peso volumétrico del grano. El nivel de abatimiento de humedad (H) afectó estadísticamente el rendimiento de campo y la longitud de la mazorca. También el factor densidad de población (D) provocó cambios estadísticos en el rendimiento de campo ($p \leq 0.05$) y longitud de la mazorca ($p \leq 0.01$). El efecto de la interacción L * G y L * H expresaron cambios estadísticos significativos para el rendimiento de campo ($p \leq 0.05$) y longitud de la mazorca ($p \leq 0.01$). Por otro lado, la interacción G * H también afectaron ($p \leq 0.01$) estos mismos caracteres. Por último, la interacción L * G * H * D tuvo efecto significativo ($p \leq 0.01$) únicamente para longitud de la mazorca. El resto de las interacciones no modificaron estadísticamente la expresión de estos caracteres agronómicos.

Localidad

Los resultados de la prueba de comparación de medias (Cuadro 4) señalan que Dolores Hidalgo aparece como el ambiente con mejores recursos que condujeron al mayor rendimiento de grano de maíz, equivalente a 3 885.2 kg ha⁻¹, cifra que es superior en 1 413 kg ha⁻¹ a la producción lograda en Jaral del Progreso. Los resultados anteriores confirman que el rendimiento de grano es un carácter cuantitativo y sujeto fuertemente a la influencia del ambiente de producción (Flores *et al.*, 1998; Alejos *et al.*, 2006; Cepeda *et al.*, 2009). También es importante señalar, que el ambiente de producción no afectó significativamente el índice de prolificidad y el peso volumétrico del grano. Referente a prolificidad es debido a que es una característica propia del genotipo y no del ambiente, y con respecto a la otra características existen reportes contrastantes (Virgen *et al.*, 2013).

Genotipo

Con respecto al efecto de los genotipos, se observa que la línea Prog A y B fueron consistentes con los mejores resultados; ya que, expresaron el rendimiento de campo

Yield and its components

The behaviour of yield and some of its influenced components by external factors of evaluation indicate that, the locality (L) had only statistical effect ($p \leq 0.01$) in the yield of field and ear length. Similarly, there were a significant effect ($p \leq 0.01$) of the genotype (G) for the prolificacy index (ears per plant), field yield and ear length ($p \leq 0.05$) and, for the volumetric grain weight. The level of abatement of humidity (H) statistically affected field yield and the length of the cob. Also, the population density (D) factor caused changes in the statistical field yield ($p \leq 0.05$) and ear length ($p \leq 0.01$). The interaction effect of L * G and L * H expressed significant statistical changes in field yield ($p \leq 0.05$) and ear length ($p \leq 0.01$). On the other hand, the interaction G * H also affected ($p \leq 0.01$) these very same characters. Finally, the interaction L * G * H * D had a significant effect ($p \leq 0.01$) only for ear length. All the other interactions did not statistically altered the expression of these agronomic traits.

Locality

The test results for comparison of means (Table 4) indicate that Dolores Hidalgo appears as the environment with better resources leading to higher grain yield of maize, equivalent to 3 885.2 kg ha⁻¹, a number higher in 1 413 kg ha⁻¹ for the production achieved in Jaral del Progreso. These results confirm that, the grain yield is a quantitative character and is strongly subjected to the influence of the production environment (Flores *et al.*, 1998; Alejos *et al.*, 2006; Cepeda *et al.*, 2009). It is also important to note that, the production environment did not significantly affected the rate of prolificacy nor the volumetric grain weight. Prolificacy reference is a feature characteristic of the genotype and not of the environment, and with respect to the other features, there are contrasting reports (Virgen *et al.*, 2013).

Genotype

Regarding the effect of genotypes, we observed that the line Prog A and B were consistent with the best results; expressing the highest field yield, higher values for ear length and volumetric weight, producing at least one ear per plant; while the genotype Prog C had the worst behaviour with a yield of 1 632.2 kg ha⁻¹ (Table 4). These results agree with those reported by Chávez, (1995) who mentioned that when evaluating inbred maize lines, having different behaviours is due to their genetic constitution.

más alto, los valores más elevados para longitud de mazorca y peso volumétrico, y al menos produjeron una mazorca por planta; mientras que, el genotipo Prog C tuvo el peor comportamiento con un rendimiento de 1 632.2 kg ha⁻¹ (Cuadro 4). Estos resultados coinciden con los reportados por (Chávez, 1995) quien menciona que cuando se evalúan líneas endogámicas de maíz se tienen comportamientos diferentes debido a su constitución genética.

Soil moisture

Similarly, depression levels of moisture (100 and 190%) generated the highest yield of field values (3636 and 3 605 kg⁻¹, respectively) and likewise, producing larger cobs; while stress from lack of water (10% abatement) reduces yield significantly (2 664.5 kg ha⁻¹) and the size of the ear (Table 4). These results agree with those obtained by

Cuadro 4. Comparación de medias para el rendimiento y sus componentes en líneas endogámicas de maíz evaluadas en Dolores Hidalgo y Jaral del Progreso, Guanajuato. 2011.

Table 4. Comparison of means for yield and its components in inbred maize lines evaluated in Dolores Hidalgo and Jaral del Progreso, Guanajuato. 2011.

Factores de estudio	P	RTO (kg ha ⁻¹)	LM (cm)	PV (kg HI ⁻¹)
Localidades de evaluación				
Dolores Hidalgo	1.00a	3 885.22a	12.91a	79.42a
Jaral del Progreso	0.99a	2 472.08b	11.71b	78.73a
Genotipos				
Prog A	1.03a	3 975.07a	12.76a	78.91b
Prog B	1.00a	3 928.68a	12.15b	80.23a
Prog C	0.95b	1 632.21b	12.02b	78.08b
Nivel de abatimiento de humedad del suelo (%)				
10	0.98a	2 264.50b	11.95b	79.07a
100	1.00a	3 666.32a	12.46a	78.71a
190	1.00a	3 605.14a	12.49a	79.43a
Densidad de población (plantas ha ⁻¹)				
90 000	1.00a	3 084.27b	12.55a	79.53a
100 000	1.00a	3 138.34b	12.19b	79.14a
110 000	0.98a	3 313.35a	12.19b	78.55a

P, RTO, LM y PV= índice de prolificidad, rendimiento de campo, longitud de mazorca y peso volumétrico.

Humedad edáfica

Del mismo modo, los niveles de abatimiento de humedad (100 y 190%) generaron los valores más altos para rendimiento de campo (3 636 y 3 605 kg ha⁻¹, respectivamente) y así mismo, producen las mazorcas de mayor tamaño; mientras que el estrés por falta de agua (10% de abatimiento) reduce el rendimiento de forma significativa (2 664.5 kg ha⁻¹) y el tamaño de la mazorca (Cuadro 4). Estos resultados están de acuerdo a los obtenidos por Eck (1986); Oktem, (2008) quienes afirman que el déficit hídrico reduce significativamente el rendimiento, longitud de la mazorca, número de grano y el peso del grano en maíz. Por otro lado, Cakir (2004), menciona que se obtienen los rendimientos más altos bajo condiciones de riego normal (100%); aunque esta investigación se realizó en híbridos de maíz.

Eck (1986); Oktem (2008) who argued that water deficit significantly reduces yield, ear length, grain number and grain weight in maize. Furthermore, Cakir (2004) mentioned that, the highest yields under regular irrigation are obtained (100%); although this research was conducted with maize hybrids.

Population density

On the other hand, there is a positive trend of field yield with the increasing population density evaluated for the three genotypes (Table 4). This might be because the genotypes have a high degree of inbreeding which gives them a low-growing plant and this condition favours to support high plant populations. These results are consistent with those reported by De la Cruz *et al.* (2009); Yasari *et al.* (2012); Cervantes *et al.* (2013).

Densidad de población

Por otro lado, existe una tendencia positiva del rendimiento de campo con el incremento en la densidad de población para los tres genotipos evaluados (Cuadro 4). Esta situación puede explicarse porque los genotipos presentan un alto grado de endogamia lo que les da un bajo porte de la planta y esta condición favorece a soportar altos niveles de población de plantas. Estos resultados son congruentes con los reportados por De la Cruz *et al.* (2009); Yasari *et al.* (2012); Cervantes *et al.* (2013).

También se observa que el peso volumétrico de la semilla solo fue afectado por el genotipo; donde la línea Prog B presentó el valor más alto (80.23 kg hL⁻¹). El ambiente de evaluación y estrés por humedad no provocaron cambios en esta característica. Estos resultados difieren de los reportados por Virgen *et al.* (2013), quienes observaron diferencias en el peso volumétrico al evaluar líneas progenitoras de híbridos de maíz en localidades de Valles Altos de México; lo cual indica que es un parámetro influido por el ambiente de producción. Por otro lado, Zepeda *et al.* (2007) mencionan que el peso volumétrico de la semilla tiene una respuesta positiva a la fertilización nitrogenada.

Las líneas Prog A y B fueron las que expresaron el menor porcentaje de daño y severidad en la mazorca por efectos del *Silk Balling*.

Todos los genotipos presentaron una disminución en su comportamiento agronómico cuando fueron sometidos al nivel de abatimiento de humedad de 10%; y esta condición favoreció la expresión del *Silk Balling*.

El factor densidad de población no tuvo efecto significativo en la expresión del *Silk Balling* y en la mayoría de las características agronómicas evaluadas en esta investigación; sin embargo, el rendimiento de campo fue favorecido al incrementar el número de plantas y un efecto negativo para longitud de la mazorca.

Conclusión

Todas aquellas combinaciones entre los genotipos Prog A y B con los niveles de humedad del suelo de 100 y 190% y con 110 000 plantas ha⁻¹ produce la mejor respuesta para el rendimiento de campo; así mismo, se expresan los porcentajes más bajos de *Silk Balling*.

It is also observed that, the volumetric weight of the seed alone was affected by the genotype; where the line Prog B showed the highest value (80.23 kg hL⁻¹). The environment evaluation and moisture stress caused no changes in this feature at all. These results differ from those reported by Virgen *et al.* (2013) who observed differences in volume and weight when assessing parental lines of maize hybrids in localities of Valles Altos in Mexico; which indicates an influence on the production environment parameter. Furthermore, Zepeda *et al.* (2007) mentioned that, the volumetric weight of the seed has a positive response to nitrogen fertilization.

The lines Prog A and B were the ones that expressed the lowest percentage of damage and severity on the cob caused by *Silk Balling*.

All the genotypes showed a decrease in their agronomic yield when subjected to the level of abatement of 10% moisture; and this condition favoured the expression of *Silk Balling*.

The population density factor had no significant effect on the expression of *Silk Balling* as well as in most of the agronomic traits evaluated in this paper; however, field yield was favoured by increasing the number of plants and a negative effect on ear length.

Conclusion

Therefore, all the combinations between the genotypes Prog A and B with soil moisture levels of 100 and 190% and with 110 000 plants ha⁻¹ produced the best answer for field yield; likewise, the lowest percentages of *Silk Balling* are expressed.

End of the English version



Literatura citada

Ajamnouroozi, H and Bohrani, J. 1998. The effects of planting configuration and plant density on the yield and yield components of the late maturing grain corn cultivar of SC 704 and the intermediate maturing corn cultivar of SC 704 in the region of Aliabad Kamin in the province of Fars. *In*: proceeding 5th Congress of Iranian Agronomy and Plant Breeding. Karaj, Iran. 380 p.

- Alejos, G.; Monasterios, P y Rea, R. 2006. Análisis de la interacción genotipo-ambiente para rendimiento de maíz en la región maicera del estado de Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical*. 56(3):369-384.
- Avendaño, A, C. H.; Molina, G. J. D.; Trejo, L. C.; López, C. C. y Cadena, I, J. 2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. *Agron. Mesoam*. 19(1):27-37.
- Cakir, R. 2004. Effects of water stress at different development state on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Res*. 89(1):1-16.
- Campos, H.; Cooper, M.; Edmeades, G. O.; Loffler, C.; Schussler, J. R. and Ibanez, M. 2006. Changes in drought tolerance in maize associated with fifty years of breeding for yield in the U.S. Corn Belt. *Maydica* 51:369-381.
- Cepeda, B. R.; Carballo, C. A. y Hernández A, C. 2009. Interacción genotipo ambiente en la estructura y calidad de nixtamal-tortilla de grano en híbridos de maíz. *Agrociencia* 43(7):95-706.
- Cervantes, O. F.; Covarrubias, P. J.; Rangel, L. J. A.; Terrón, I. A. D.; Mendoza, E. M. y Preciado, O. R. E. 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agron. Mesoam*. 24(1):101-110.
- Chávez, A. J. L. 1995. Mejoramiento de plantas 2: métodos específicos de plantas alógamas. México, D. F. Ed. Trillas. UAAAN. 143 p.
- De la Cruz, L. E.; Córdoba, O. H.; Estrada, B. M.; Mendoza, P. J. D.; Gómez, V. A. y Brito, M. N. P. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia*. 25(1):93-98.
- Eck, H. V. 1986. Effects of water deficit on yield, yield component, and water use efficiency of irrigated corn. *Agron. J*. 78(6):1035-1040.
- Flores, F.; Moreno, T. and Cubero, J. 1998. A comparison of univariate and multivariate methods to analyze G x E interaction field. *Crops Res*. 47:117-127.
- Fundación Guanajuato Produce, A. C. 2011. Red de estaciones. <http://www.fundacionguanajuato.com/somos.html>.
- Lennon del V, I. A.; Luchsinger, L. A. y Aedo, A. 1997. Efecto de distintos tratamientos a los estilos de la mazorca en la producción de semilla Híbrida de maíz (*Zeamays* L.). *Investig. Agríc*. 17:25-34.
- NeSmith, D. S and Ritchie, J. T. 1992. Maize (*Zea mays* L.) response to a severe soil water-deficit during grain-filling. *Field Crops Res*. 29:23-35.
- Nielsen, R. L. 2000. Scrambled silks, anyone? Corn y news network. Purdue University. <http://www.kingcorn.org/news/articles.00/SilkBalling-0718.html>.
- Oktem, A. 2008. Effects of deficit irrigation on some yield characteristics of sweet corn. *Bangladesh. J. Bot*. 37(2):127-131.
- Oyervides, G. A.; Ortiz, C. J.; Gonzáles, H. V. A y Carballo, C. A. 1990. El número de mazorcas por planta y la formación de arquetipos de maíz. *Agrociencia*. 1(4):103-117.
- Sangoi, L. 2000. Understanding plant density effects on maize growth and envelopment: an important issue to maximize grain yield. *Ciencia Rural, Santa Maria*. 31(1):159-158.
- SAS, Institute Inc. 1999. SAS/STAT user's guide. Version 9.1. Cary, NC, USA. 359 p.
- Suzuki, K.; Sukaguchi, T. T.; Takeda, H. and Egawa, Y. 2001. Decrease of pollen stain ability of green bean at high temperatures and relationship to heat tolerance. *J. Am. Soc. Hortic. Sci*. 126- 571.
- Trademarks and service marks of pioneer Hi-Bred International Inc. FIELD FACTS. 2010. Silk balling in corn hybrids. 8(6):2.
- Virgen, V. J.; Zepeda, B. R.; Arellano, V. J. L.; Ávila, P. M. A y Rojas, M. I. 2013. Producción de semilla de progenitores e híbridos de maíz de Valles Altos en dos fechas de siembra. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México*. 1(1): 26-32.
- Wilhelm, E. P.; Mullen, R. E.; Keeling, P. L and Singletary, G. W. 1999. Heat stress during grain filling in maize. Effects on kernel growth and metabolism. *Crop Sci*. 39:1733.
- Yasari, E.; Noori, M. and Haddadi, M. 2012. Comparison of seed corn single crooesses SC 704 and SC 770 response to different plant densities and nitrogen levels. *J. Agric. Sci*. 4(5):263-272.
- Zepeda, B. R.; Carballo, C. A.; Muñoz, O. A.; Mejía, C. J. A.; Figueroa, S. B. y González, C. F. 2007. Fertilización nitrogenada y características físicas, estructurales y calidad de nixtamal-tortilla del grano de híbridos de maíz. *Agric. Téc. Méx*. 33(1):17-24.