



Agrociencia

ISSN: 1405-3195

agrocien@colpos.mx

Colegio de Postgraduados

México

Márquez Sánchez, Fidel

Endogamia de líneas Z y líneas PL de polinización libre de maíz, derivadas de una población de líneas S1

Agrociencia, vol. 38, núm. 6, noviembre-diciembre, 2004, pp. 625-641

Colegio de Postgraduados

Texcoco, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30238607>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ENDOGAMIA DE LÍNEAS Z' Y LÍNEAS PL' DE POLINIZACIÓN LIBRE DE MAÍZ, DERIVADAS DE UNA POBLACIÓN DE LÍNEAS S₁

INBREEDING OF Z' AND PL' OPEN-POLLINATED LINES OF MAIZE, DERIVED FROM A POPULATION OF S₁ LINES

Fidel Márquez-Sánchez

Centro Regional Universitario de Occidente. Dirección de Centros Regionales Universitarios. Universidad Autónoma Chapingo. Manuel M. Diéguez 113, Sector Hidalgo, Guadalajara, Jalisco, 44680. (fidelmqz@hotmail.com)

RESUMEN

En una investigación previa (Márquez, 2004) se demostró que líneas Z y de polinización libre (PL) de maíz (*Zea mays* L.), derivadas de una población de individuos no endogámicos ni emparentados, tienen valores de endogamia iguales en generaciones coincidentes. Esto fue cierto aun si las manipulaciones algebraicas para calcular la endogamia en los dos tipos de líneas fueron diferentes. Aquí se demuestra que los coeficientes de endogamia de las líneas PL son los mismos que los de las líneas Z; sin embargo, aquéllas tienen mayor diversidad genotípica que éstas. En el estudio de Márquez (2004) ambos tipos de líneas involucran elementos derivados por autofecundación y por cruza planta a planta, por lo que no era posible su derivación en el campo. Se postuló, por tanto, que apareamientos aleatorios de éstas dentro de una misma línea permitiría continuar la derivación en el campo de las líneas Z y las PL, y calcular su valor endogámico en generaciones sucesivas. En el presente estudio se usa como población base a una serie de líneas S₁, y ocurre el mismo fenómeno que en el estudio previo; pero como sólo se involucra polinización por autofecundación es posible calcular la endogamia en generaciones posteriores.

Palabras clave: Endogamia, líneas Z, líneas Z', líneas PL, líneas PL'.

INTRODUCCIÓN

Se han comparado las ecuaciones de la endogamia producida por líneas Z y por líneas de polinización libre (PL) en maíz (*Zea mays* L.) cuando la endogamia de la población base es cero (Márquez, 2004).

En ambos tipos de líneas se busca incrementar su endogamia, mayor que la de las líneas fraternales y mesofraternales convencionales, pero inferior a la de las líneas autofecundadas. En el presente estudio se persigue un objetivo similar que en el de Márquez (2004): comparar la endogamia de líneas Z y PL, cuando la endogamia de la población base es un medio ($F_{a',0} = 1/2$); a' se refiere a la endogamia de 1/2 en este caso; es decir, cuando la población es una serie de líneas de una sola

ABSTRACT

In a previous research (Márquez, 2004) it was demonstrated that Z and PL lines of maize (*Zea mays* L.), derived from a population of non inbred unrelated individuals, had the same inbreeding values in coincident generations. This was true although the algebraic operations to calculate inbreeding in both types of lines were different. In this study is shown that inbreeding coefficients of PL lines are the same as those of Z lines; however, the former had higher genotypic diversity than the latter. In the study of Márquez (2004) terms for selfing and plant-to-plant crosses were involved for both types of lines; therefore, in practice it was impossible to derive them through successive generations. Thus, it was postulated that if pollinations within a line were randomly made, then it would be possible to continue the derivation of the Z and PL lines in the field, and to calculate their inbreeding value in successive generations. In the present study, using as a base population a series of S₁ lines, the same phenomenon of the previous study takes place; however, as only pollinization by inbreeding takes place, it is possible to calculate inbreeding in successive generations.

Key words: Inbreeding, Z lines, Z' lines, PL lines, PL' lines.

INTRODUCTION

Equations of inbreeding produced by Z lines and by open-pollination (PL) in maize (*Zea mays* L.) have been compared when the inbreeding of the base population is zero (Márquez, 2004).

In both types of lines increased inbreeding is sought, more than that of sibling lines and conventional half-sibling lines, but less than that of the self-pollinated lines. In the present study, an objective similar to that of Márquez (2004) is pursued: to compare inbreeding of Z and PL lines when the inbreeding of the base population is one half ($F_{a',0} = 1/2$); a' refers to 1/2 inbreeding in this case, that is, when the population is a series of lines from a single selfing, for both Z' and PL' lines, using 2, 3, and 4 plants per variety.

The Z lines would be used in the cyclic hybridization originally designed by Hallauer (1967), with two prolific plants each belonging to a pair of heterotic varieties

Recibido: Marzo, 2004. Aprobado: Octubre, 2004.

Publicado como ENSAYO en *Agrociencia* 38: 635-641. 2004.

autofecundación, tanto para líneas Z' como para líneas PL', usando 2, 3 y 4 plantas por variedad.

Las líneas Z se usarían en la hibridación cíclica originalmente diseñada por Hallauer (1967), con dos plantas prolíficas pertenecientes, cada una, a un par de variedades heteróticas (Figura 1a). Para incrementar la endogamia en la hibridación cíclica usando plantas no prolíficas, Márquez (1982) propuso usar dos duplas de plantas, cada una perteneciente a una variedad de un par heterótico (variedad A, con plantas A1 y A2, y variedad B, con plantas B1 y B2) (Figura 1b).

En la variedad A se hace una mezcla del polen de las dos plantas que se aplica a una ellas (planta A1), mientras que el resto de la mezcla se cruza con una planta de la otra variedad (B1). Con la primera operación la progenie resultante se divide teóricamente en dos sub-progenies: la proveniente de autofecundación (a) (A1A1) y la proveniente de cruza planta a planta, cruza fraternales, o cruza (b), (A1A2); el resultado de la cruza es B1A1+B1A2. Haciendo lo opuesto en la dupla de la variedad B, la mezcla de polen de B1 y B2 se aplica a la planta B2, produciéndose la autofecundación B2B2 y la cruza B2B1, mientras que el resultado de la cruza es A2B1+A2B2.

Márquez (2004) ha propuesto usar líneas endogámicas de polinización libre (líneas PL). Para dos plantas, el polen de éstas se mezcla y se aplica en ambas; en la variedad A se obtienen las autofecundaciones A1A1+A2A2, y las cruza A1A2+ A2A1. En dicho estudio se comparó la endogamia de las líneas Z con la de líneas PL, cuando ambos tipos se derivan de poblaciones de individuos no emparentados con endogamia cero ($F_{a,0}=0$; a' significa autofecundación). Para generaciones coincidentes la endogamia es la misma. Estos resultados se hicieron extensivos para líneas Z y PL con tres (Figura 1c) y cuatro plantas (Figura 1d) por variedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La población previa a la población base está constituida por plantas no endogámicas ni emparentadas; de esta forma, la población base es la descendencia obtenida por autofecundación de un grupo de líneas S_1 ; es decir, una serie de plantas con $F_{a,0}=1/2$. En el presente estudio la hibridación cíclica se lleva a cabo también con dos duplas, dos tripletas o dos cuádruplas de plantas pertenecientes, cada grupo, a un par heterótico. La endogamia generada en las líneas Z' se comparará con la de líneas PL' derivadas también de líneas S_1 .

Al cruzar una planta autofecundada con otra de la misma línea, la endogamia de su prole es la misma que la de la línea; de manera que si la línea es S_1 la endogamia de la cruza es 1/2 (Márquez, 2004). Por tanto, en la generación -1, la endogamia proveniente de autofecundación (a') es 3/4, mientras que la proveniente de la cruza $b'=a$, cruza planta a planta, ya que los resultados son los mismos cuando $F_{a,0} = 0$, es 1/2.

(Figure 1a). To increase inbreeding in the cyclic hybridization using non-prolific plants, Marquez (1982) proposed using two plant duplexes, each one belonging to a variety of a heterotic pair (variety A, with A1 and A2 plants, and variety B, with B1 and B2 plants) (Figure 1b).

In the A variety, pollen from the two plants is mixed; which is applied to one of them (plant A1), while the rest of the mix is crossed with a plant from the other variety (B1). With the first operation, the resulting progeny is theoretically divided into two sub-progenies: that originating from selfing (a) (A1A1) and that from the plant to plant crosses, sibling crosses or (b) crosses, (A1A2); the result of the cross is B1A1+B1A2. Doing the opposite in the duplex of variety B, the mix of pollen from B1 and B2 is applied to plant B2, producing self-pollination B2B2 and the cross B2B1, and the result of the cross is A2B1 + A2B2.

Márquez (2004) has proposed using inbred lines from open pollination (PL lines). For two plants, their pollen is mixed and applied to both; in variety A the selfed A1A1+A2A2, and the crosses A1A2+A2A1. Said study compared inbreeding of the Z lines with that of PL lines when both types are derived from populations of unrelated individuals with zero inbreeding ($F_{a,0}=0$; a' means self-pollination). For coincident generations, inbreeding is the same. These results were made extensive to Z and PL lines with three (Figure 1c) and four (Figure 1d) plants per variety.

MATERIALS AND METHODS

The population previous to the base population is comprised by non-inbred and unrelated plants; in this way, the base population is the descendants obtained by selfing a group of S lines, that is, a series of plants with $F_{a,0}=1/2$. In the present study, cyclic hybridization is also carried out with two duplexes, two triplexes and two quadruplets of plants belonging, each group, to a heterotic pair. The inbreeding generated in the Z' lines is compared with the PL' lines also derived from S_1 lines.

When a selfed plant is crossed with another of the same line, the inbreeding of its progeny is the same as that of the line, so that if the line is S_1 , inbreeding of the cross is 1/2 (Márquez, 2004). Therefore, in generation -1, the inbreeding from selfing (a') is 3/4, while that originating from a cross $b'=a$, plant to plant cross since the results are the same when $F_{a,0}=0$, is 1/2.

Table 1 shows the inbreedings from selfing ($b'=a$) and crosses (a) in several generations and in generation t.

Cyclic hybridization with Z' lines

In each duplet, triplet, or quadruplet of plants of a population (A), its pollen is mixed; this is applied to one of them, while the rest of the mix is applied to the plants (except for one) of the other duplets, triplets, or quadruplets of another variety (B).

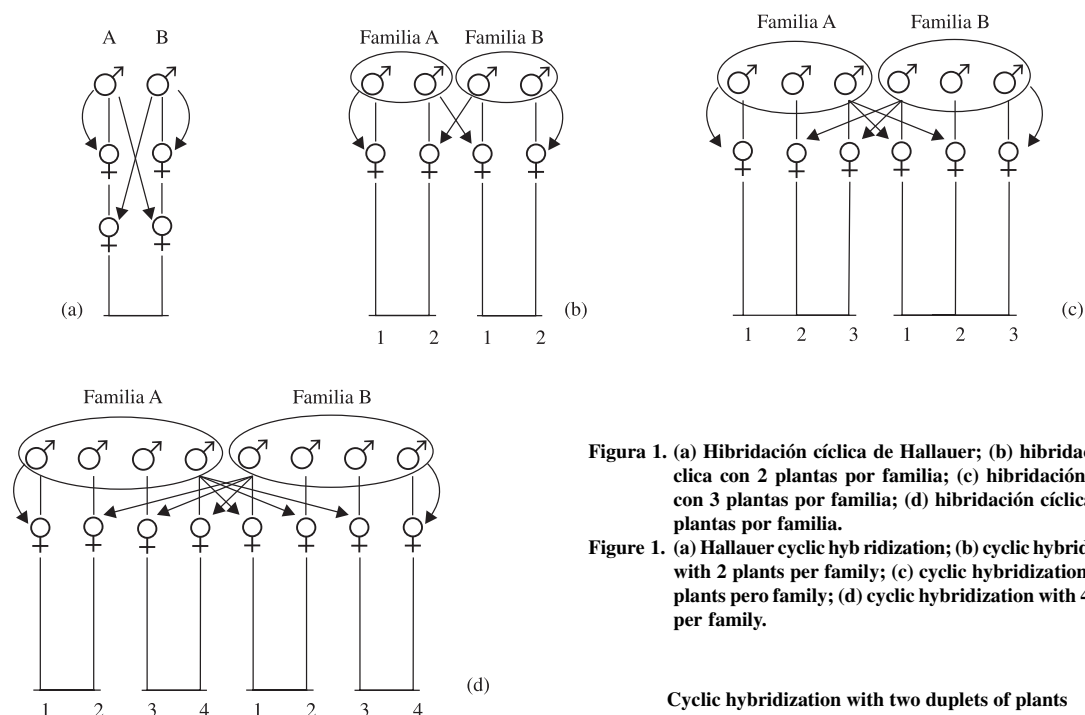


Figura 1. (a) Hibridación cíclica de Hallauer; (b) hibridación cíclica con 2 plantas por familia; (c) hibridación cíclica con 3 plantas por familia; (d) hibridación cíclica con 4 plantas por familia.

Figure 1. (a) Hallauer cyclic hybridization; (b) cyclic hybridization with 2 plants per family; (c) cyclic hybridization with 3 plants per family; (d) cyclic hybridization with 4 plants per family.

Cyclic hybridization with two duplets of plants

According to Figure 1b, the inbreeding coefficient is calculated as follows:

For generation -1

$$\begin{aligned} F(Z'-2)_1 &= (1/2)(F_{a',1} + F_{a,1}) \\ &= (1/2)\left[(1/2)(1 + F_{a',0}) + F_{a,0}\right] \\ &= (1/4)(1 + 3F_{a',0}) \\ &= 5/8 \end{aligned}$$

Cuadro 1. Coeficientes de endogamia provenientes de autofecundación (a') y de cruzamiento (a) cuando en la población base $F_{a',0} = 1/2$.

Table 1. Inbreeding coefficients from selfing (a') and crossing (a) when in the base population $F_{a',0} = 1/2$.

Generación t	a' [†]	b'=a [‡]
0	1/2	0
1	3/4	1/2
2	7/8	3/4
3	15/16	7/8
4	31/32	15/16
5	63/64	31/32
.	.	.
.	.	.
.	.	.
t	$1 - (1/2)^t$	$1 - (1/2)^{t-1}$

[†] Endogamia proveniente por autofecundación cuando $F_{a',0} = 1/2$

[‡] Endogamia proveniente por cruzamiento cuando $F_{a,0} = 0$

En el Cuadro 1 se muestran las endogamias provenientes de autofecundación (a') y cruzamiento (b'=a) en varias generaciones y en la generación t.

Hibridación cíclica con líneas Z'

En cada dupla, tripleta o cuádrupla de plantas de una población (A) se mezcla su polen que se aplica a una de ellas, mientras que el resto de la mezcla se aplica a las plantas (excepto a una) de las otras duplas, tripletas o cuádruplas de la otra variedad (B).

Hibridación cíclica con dos duplas de plantas

De acuerdo con la Figura 1b, el coeficiente de endogamia se calcula como sigue:

Para la generación -1

$$\begin{aligned} F(Z'-2)_1 &= (1/2)(F_{a',1} + F_{a,1}) \\ &= (1/2)\left[(1/2)(1 + F_{a',0}) + F_{a,0}\right] \\ &= (1/4)(1 + 3F_{a',0}) \\ &= 5/8 \end{aligned}$$

y, por extrapolación:

$$F(Z'-2)_t = (1/4)(1 + 3F_{a',t-1}) \quad (1)$$

Hibridación cíclica con dos triplas de plantas

De acuerdo con la Figura 1c, el coeficiente de endogamia se calcula como sigue:

Para la generación -1

$$\begin{aligned} F(Z'-3)_1 &= (1/3)(F_{a',1} + 2F_{a,1}) \\ &= (1/3)\left[(1/2)(1 + F_{a',0}) + 2F_{a',0}\right] \\ &= (1/6)(1 + 5F_{a',0}) \\ &= 7/12 \end{aligned}$$

y, por extrapolación:

$$F(Z'-3)_t = (1/6)(1 + 5F_{a',t-1}) \quad (2)$$

Hibridación cíclica con dos cuádruplas de plantas

De acuerdo con la Figura 1d, el coeficiente de endogamia se calcula como sigue:

Para la generación -1

$$\begin{aligned} F(Z'-4)_1 &= (1/4)(F_{a',1} + 3F_{a,1}) \\ &= (1/4)\left[(1/2)(1 + F_{a',0}) + 3F_{a',0}\right] \\ &= (1/8)(1 + 7F_{a',0}) \\ &= 9/16 \end{aligned}$$

y, por extrapolación:

$$F(Z'-4)_t = (1/8)(1 + 7F_{a',t-1}) \quad (3)$$

Líneas de polinización libre PL'

El objetivo de este método es derivar líneas con mayor endogamia que las convencionales, excepto las líneas autofecundadas. En este estudio, en una variedad se tiene una serie de duplas, triplas o cuádruplas de plantas de las cuales se derivarán las líneas PL'. Se supone que tales líneas se usarán posteriormente en selección por aptitud combinatoria general o específica, hibridación, o bien en síntesis. La derivación general de líneas PL se presenta en Márquez (2004).

En cada grupo de plantas, la mezcla de su polen se aplica en cada una de las plantas del grupo; si se tienen m plantas hay entonces m² polinizaciones, m de las cuales son autofecundaciones (a') y las permutaciones de m tomadas de 2 en 2 (P_2^m) son cruza planta a planta (a); es decir: m + m(m-1) = m + m² - m = m².

Líneas PL con dos plantas

De acuerdo con la Figura 2a, el coeficiente de endogamia se calcula como sigue:

and, by extrapolation:

$$F(Z'-2)_t = (1/4)(1 + 3F_{a',t-1}) \quad (1)$$

Cyclic hybridization with two triplets of plants

According to Figure 1c, the inbreeding coefficient is calculated as follows:

For generation -1

$$\begin{aligned} F(Z'-3)_1 &= (1/3)(F_{a',1} + 2F_{a,1}) \\ &= (1/3)\left[(1/2)(1 + F_{a',0}) + 2F_{a',0}\right] \\ &= (1/6)(1 + 5F_{a',0}) \\ &= 7/12 \end{aligned}$$

and, by extrapolation:

$$F(Z'-3)_t = (1/6)(1 + 5F_{a',t-1}) \quad (2)$$

Cyclic hybridization with two quadruplets of plants

According to Figure 1d, the inbreeding coefficient is calculated as follows:

For generation -1

$$\begin{aligned} F(Z'-4)_1 &= (1/4)(F_{a',1} + 3F_{a,1}) \\ &= (1/4)\left[(1/2)(1 + F_{a',0}) + 3F_{a',0}\right] \\ &= (1/8)(1 + 7F_{a',0}) \\ &= 9/16 \end{aligned}$$

and, by extrapolation:

$$F(Z'-4)_t = (1/8)(1 + 7F_{a',t-1}) \quad (3)$$

Open pollination lines (PL')

The objective of this method is to derive lines with greater inbreeding than the conventional lines, except for the selfed ones. In this study, in one variety there is a series of duplets, triplets or quadruplets of plants from which the PL' lines are derived. It is assumed that such lines will be used later in selection by general or specific combinatorial aptitude, hybridization, or synthesis. The general derivation of PL lines is presented in Márquez (2004).

In each group of plants, the mix of their pollen is applied to each of the plants in the group; if there are m plants there are, thus, m² pollinations, m of which are self-pollinated (a') and the permutaciones of m taken 2 by 2 (P_2^m) are plant to plant crosses (a); that is, m + m(m-1) = m + m² - m = m².

El número total de polinizaciones es $2^2 = 4$, con 2 autofecundaciones a' y $(P_2^2) = 2$ cruza a.

La endogamia en la primera generación es

$$\begin{aligned} F(PL' - 2)_1 &= (1/4)(2F_{a',1} + 2F_{a,1}) \\ &= (1/4)[2(1/2)(1 + F_{a',0}) + 2F_{a',0}] \\ &= (1/4)(1 + 3F_{a',0}) \\ &= 5/8 \end{aligned}$$

y, por extrapolación:

$$F(PL' - 2)_t = (1/4)(1 + 3F_{a',t-1}) \quad (4)$$

Líneas PL' con tres plantas

De acuerdo con la Figura 2b, el coeficiente de endogamia se calcula como sigue:

El número total de polinizaciones es $3^2 = 9$, con 3 autofecundaciones a' y $P_2^3 = 6$ cruza a.

La endogamia en la primera generación es

$$\begin{aligned} F(PL' - 3)_1 &= (1/9)(3F_{a',1} + 6F_{a,1}) \\ &= (1/9)[3(1/2)(1 + F_{a',0}) + 6F_{a',0}] \\ &= (1/6)(1 + 5F_{a',0}) \\ &= 7/12 \end{aligned}$$

y, por extrapolación:

$$F(PL' - 3)_t = (1/6)(1 + 5F_{a',t-1}) \quad (5)$$

Líneas PL' con cuatro plantas

De acuerdo con la Figura 2c, el coeficiente de endogamia se calcula como sigue.

El número total de polinizaciones es $4^2 = 16$, con 4 autofecundaciones y $P_2^4 = 12$ cruza a.

La endogamia en la primera generación es

$$\begin{aligned} F(PL' - 4)_1 &= (1/16)(4F_{a',1} + 12F_{a,1}) \\ &= (1/16)[4(1/2)(1 + F_{a',0}) + 12F_{a',0}] \\ &= (1/8)(1 + 7F_{a',0}) \\ &= 9/16 \end{aligned}$$

y, por extrapolación:

$$F(PL' - 4)_t = (1/8)(1 + 7F_{a',t-1}) \quad (6)$$

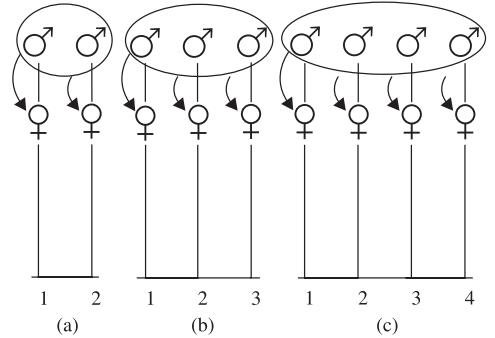


Figura 2. Derivación de líneas endogámicas por polinización libre incluyendo autofecundación, o líneas PL: (a) con 2 plantas; (b) con 3 plantas; (c) con 4 plantas.

Figure 2. Derivation of inbred lines by open-pollination including selfing, or PL lines: (a) with 2 plants; (b) with 3 plants, (c) with 4 plants.

PL lines with two plants

According to Figure 2a, the inbreeding coefficient is calculated as follows:

The total number of pollinations is $2^2 = 4$, with 2 selfings a' and $(P_2^2) = 2$ a crosses.

Inbreeding in the first generation is

$$\begin{aligned} F(PL' - 2)_1 &= (1/4)(2F_{a',1} + 2F_{a,1}) \\ &= (1/4)[2(1/2)(1 + F_{a',0}) + 2F_{a',0}] \\ &= (1/4)(1 + 3F_{a',0}) \\ &= 5/8 \end{aligned}$$

and, by extrapolation:

$$F(PL' - 2)_t = (1/4)(1 + 3F_{a',t-1}) \quad (4)$$

PL' lines with three plants

According to Figure 2b, the inbreeding coefficient is calculated as follows:

The total number of pollinations is $3^2 = 9$, with 3 selfings a' and $P_2^3 = 6$ a crosses.

Inbreeding in the first generation is

$$\begin{aligned} F(PL' - 3)_1 &= (1/9)(3F_{a',1} + 6F_{a,1}) \\ &= (1/9)[3(1/2)(1 + F_{a',0}) + 6F_{a',0}] \\ &= (1/6)(1 + 5F_{a',0}) \\ &= 7/12 \end{aligned}$$

and, by extrapolation:

En el Cuadro 2 se muestran los valores endogámicos de líneas PL' para cinco generaciones con dos, tres y cuatro plantas y los obtenidos con autofecundación. Puede apreciarse que sólo existen diferencias entre las líneas de dos plantas respecto a las de tres y cuatro plantas, ya que en éstas los valores son muy similares. En relación con la autofecundación las diferencias respecto a las líneas de dos plantas, comienzan a manifestarse significativamente desde la segunda generación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comparar los respectivos pares de ecuaciones de líneas Z' y de líneas PL', es decir, (1) y (4), (2) y (5), y (3) y (6), se verá que tienen los mismos resultados. En la explicación dada por Márquez (2004) en cuanto a la igualdad de la endogamia en los pares de líneas Z' y PL', las segundas son múltiplos de las primeras. Esto se puede observar en las ecuaciones de las que se parte para derivar la endogamia de las líneas Z' y las líneas PL'. Con 2 plantas por línea se tiene: líneas Z', 1 autofecundación (a') y una 1 cruza (a); líneas PL', 2 autofecundaciones (a') y 2 cruza (a). Con 3 plantas por línea se tiene: líneas Z', 1 autofecundación (a') y 2 cruza (a); líneas PL', 3 autofecundaciones (a') y 6 cruza (a). Con 4 plantas por línea se tiene: Líneas Z', 1 autofecundación (a') y 3 cruza (a); líneas PL', 4 autofecundaciones (a') y 12 cruza (a). Sin embargo, las Ecs. [1] a [3] son para usarse en hibridación cíclica, mientras que las Ecs. [4] a [6] son para derivar líneas endogámicas con varios propósitos. Pero a pesar de la igualdad numérica entre los valores endogámicos de los pares de ecuaciones referidos, dentro de cada par su diversidad genética no es la misma. En las líneas Z' de 2 plantas, por ejemplo, hay una autofecundación y un cruzamiento; mientras que en la respectiva línea PL' hay 2 autofecundaciones y 2 cruza-mientos; esto, indudablemente, confiere a la línea PL' mayor diversidad genotípica para la selección principalmente entre líneas.

Cuadro 2. Valores de endogamia para líneas PL' con 2, 3 y 4 plantas.

Table 2. Inbreeding values for PL' lines with 2, 3, and 4 plants.

Generación (t)	Autofecundación [†]	2 Plantas	3 Plantas	4 Plantas
0	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
1	0.7500	0.6250	0.5833	0.5625
2	0.8750	0.7187	0.6527	0.6171
3	0.9375	0.7890	0.7106	0.6650
4	0.9687	0.8417	0.7588	0.7069
5	0.9843	0.8813	0.7990	0.7435
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
t	$F(a')_t = (1/2)(1 + F_{a',t-1})$	$F(PL'-2)_t = (1/4)(1 + 3F_{a',t-1})$	$F(PL'-3)_t = (1/6)(1 + 5F_{a',t-1})$	$F(PL'-4)_t = (1/8)(1 + 7F_{a',t-1})$

[†] Para hacer comparables los valores de endogamia se le asigna a la autofecundación 0.5000, aunque en la generación-0 su valor es cero.

$$F(PL'-3)_t = (1/6)(1 + 5F_{a',t-1}) \quad (5)$$

PL' lines with four plants

According to Figure 2c, the inbreeding coefficient is calculated as follows:

The total number of pollinations is $4^2 = 16$, with 4 selfings a' and $P_2^4 = 12$ a crosses.

Inbreeding in the first generation is:

$$\begin{aligned} F(PL'-4)_t &= (1/16)(4F_{a',1} + 12F_{a',0}) \\ &= (1/16)[4(1/2)(1 + F_{a',0}) + 12F_{a',0}] \\ &= (1/8)(1 + 7F_{a',0}) \\ &= 9/16 \end{aligned}$$

and, by extrapolation:

$$F(PL'-4)_t = (1/8)(1 + 7F_{a',t-1}) \quad (6)$$

Table 2 shows the inbreeding values of PL' lines for five generations with two, three, and four plants, as well as those obtained by self-pollination. It can be observed that there are actually differences between the lines of two plants with respect to lines of three and four plants whose values are very similar. In relation to selfing, the differences with respect to the 2-plant lines begin to show significantly in the second generation.

RESULTS AND DISCUSSION

When comparing the respective pairs of equations for Z' and PL' lines, that is (1) and (4), (2) and (5), and (3) and (6), it can be seen that the results are the same. In the explanation given by Marquez (2004) in terms of inbreeding equality in the pairs of Z' and PL' lines, the latter are multiples of the former. This can be observed in

Respecto a los valores endogámicos, en la hibridación cíclica es suficiente usar dos plantas para obtener líneas Z'; con más plantas el trabajo de campo es más complicado, aunque habría una mayor diversidad genética entre líneas. Respecto al material de partida con endogamia cero (Márquez, 2004) es indudable que el valor de la endogamia en el presente estudio es mayor que el obtenido con líneas de aquél, aunque, se requiere una generación más (para obtener las líneas de una autofecundación), la cual puede hacerse en la estación otoño-invierno.

El interés en las líneas PL' puede parecer puramente académico; una línea PL' sería como mezclar una línea autofecundada de una generación con otra de una generación inmediatamente anterior; sin embargo, además de no tener sentido esto, se requerirían dos generaciones por "ciclo". En el presente estudio se obtiene lo mismo que se acaba de describir en una sola generación. Probablemente, al hacer selección dentro de líneas, se tendería a escoger plantas de la generación inmediatamente anterior (por ser más vigorosas), pero esto acontecería sólo en la primera o segunda generaciones.

Finalmente, no tendría sentido iniciar la obtención de líneas Z' o PL' en generaciones de líneas autofecundadas más de una vez. En primer lugar porque habría cierta indecisión en escoger una sub línea (o unas pocas sub líneas) entre las muchas segregantes, en la segunda generación, por ejemplo; y segundo, conforme las generaciones fueran más avanzadas, nos acercaríamos cada vez más a la derivación de líneas por autofecundación.

CONCLUSIONES

Se ha demostrado que las líneas Z y las líneas de polinización libre (PL) tienen el mismo valor endogámico en generaciones coincidentes, cuando ambos tipos de líneas se derivan de una población de individuos no endogámicos ni emparentados. En la presente investigación se llega al mismo resultado cuando las líneas Z' y PL' se derivan de una población consistente de una serie de líneas S_1 .

LITERATURA CITADA

- Hallauer R., A. 1967. Development of single-cross hybrids from two eared populations. *Crop Sci.* 7:192-195.
- Márquez, S. F. 1982. Modifications to cyclic hybridization in maize with single eared plants. *Crop. Sci.*
- Márquez S., F. 1994. La endogamia en el incremento de semilla y calificación de cuatro tipos de líneas de maíz. *Sociedad Mexicana de Fitogenética, Serie Didáctica* 1. 72 p.
- Márquez S., F. 2004. Derivation of open-pollinated inbred lines, and their relation to "Z" lines for cyclic hybridization. In: Lee M., and K. Lamkey (eds). "Arnel R. Hallauer" International Symposium on Plant Breeding. Agosto, 2003. México, D. F. (En prensa).

the equations from which inbreeding of Z' and PL' lines is derived. With 2 plants per line, we have: Z' lines, 1 selfing (a') and 2 crosses (a); PL' lines, 2 selfings (a') and 2 crosses (a). With three plants per line, we have: Z' lines, 1 selfing (a') and 2 crosses (a); PL' lines, 3 selfings (a') and 6 crosses (a). With 4 plants per line, we have Z' lines, 1 selfing (a') and 3 crosses (a); PL' lines, 4 selfings (a') and 12 crosses (a). However, equations [1] to [3] are to be used in cyclic hybridization, while equations [4] to [6] are to derive inbred lines with several purposes. But in spite of the numeric equality between inbreeding values of the these pairs of equations, the genetic diversity within each pair is not the same. In the 2-plant Z' lines, for example, there is one selfing and one cross, while in the respective PL' line there are 2 selfings and 2 crosses; this undoubtedly confers greater genotypic diversity for selection principally between lines.

Regarding inbreeding values, in cyclic hybridization, it is enough to use two plants to obtain Z' lines; with more plants the field work is more complicated, although there would be greater genetic diversity between lines. As for the base material with zero inbreeding (Márquez, 2004), it is without doubt that the inbreeding value obtained in the present study is greater than that obtained with lines of the former study, although one generation more is needed (to obtain the lines of one selfing), which can be done in the fall-winter season.

Interest in the PL' lines may appear to be purely academic; one PL' line would be like mixing one selfed line of one generation with another of the previous generation. However, besides not making sense, it would require two generations per "cycle". In the present study the same as that just described is obtained in a single generation. Probably, when selecting within lines, the tendency is to choose plants of the immediately previous generation (being more vigorous), but this would occur only in the first or second generations.

Finally, it would not make sense to begin obtaining Z' or PL' lines in generations of selfed lines more than once, in the first place, because there would be certain indecision in choosing a sub-line (or a few sub-lines) among the many segregates, and in the second generation, for example; and second, as generations advance, we would be approaching the derivation of lines by selfing.

CONCLUSIONS

It has been demonstrated that Z lines and open pollinated lines (PL) have the same inbreeding value in coincident generations when both types of lines are derived from a population on non-inbred, unrelated individuals. In the present study, the same result is obtained when Z' and PL' lines are derived from a population composed of a series of S_1 lines.