

PREDICCIÓN DE SINTÉTICOS DE MAÍZ HECHOS CON CRUZAS SIMPLES

PREDICTION OF MAIZE SYNTHETICS MADE WITH SINGLE CROSSES

Fidel Márquez-Sánchez

Centro Regional Universitario de Occidente, Universidad Autónoma Chapingo. Rosario Castellanos 2332. Colonia Residencial La Cruz, Guadalajara, Jalisco. 44950. (fidelmqz@hotmail.com)

RESUMEN

En la agricultura del maíz (*Zea mays* L.) los productores pueden usar cruzas simples comerciales para hacer sintéticos. En este caso es conveniente conocer cuánto rinde el sintético en comparación con el promedio de rendimiento de las cruzas simples participantes. En este estudio se presenta la deducción de la predicción del rendimiento de un sintético de cruzas simples cuyas líneas homocigóticas son desconocidas, usando la ecuación de predicción de un compuesto. El resultado es el mismo encontrado previamente por dos autores, aunque se considera que el método que se presenta en este artículo es más sencillo.

Palabras clave: Sintético, predicción del rendimiento, cruzas simples, maíz (*Zea mays* L.)

INTRODUCCIÓN

La predicción del rendimiento de sintéticos no es posible según Busbice (1970) si $F_0 = F_1 = 0$. Esto sucede, por ejemplo, en la predicción de variedades compuestas (VC) en que la endogamia de las variedades (V) progenitoras no emparentadas y la de sus cruzamientos (C) es igual a cero. Para hacer posible esta predicción, Márquez (1992) obtuvo la ecuación de predicción de una VC la que, por definición, tiene que obtenerse en una sola generación (generación-1) de acuerdo con Busbice (1970). La generación de la cual se parte, generación-0, es la de las V variedades, con endogamia igual a cero. La ecuación de predicción de Márquez (1992) es:

$$VC_1 = C - (C - V)/n - (V - S_1)/nm, \quad (1)$$

donde VC_1 es el rendimiento de la VC en la primera generación de polinización libre o generación-1, mientras que V y C ya han sido definidas, S_1 es el promedio de las líneas autofecundadas que se derivan de cada V, n es el número de variedades progenitoras y m el número de plantas que se autofecundan en cada progenitor. En un sintético con cruzas simples progenitoras (Csp) entre líneas altamente endogámicas no

ABSTRACT

In maize (*Zea mays* L.) agriculture, producers may use commercial single crosses in order to make synthetics. In this case, it is convenient to know how much the synthetic yields compared to the mean yield of the participating single crosses. This study presents the deduction of yield prediction of a single cross synthetic, whose homozygous lines are unknown, using the prediction equation of a composite. The result is the same as the one previously found by two authors, though it is considered that the method presented in this article is less complicated.

Key words: Synthetic, yield prediction, single crosses, maize (*Zea mays* L.)

INTRODUCTION

Yield prediction of synthetics, according to Busbice (1970), is not possible if $F_0 = F_1 = 0$. This happens, for example, in the prediction of composite varieties (VC) where inbreeding of unrelated parent varieties (V) and of their crosses (C) is equal to zero. To make this prediction possible Márquez (1992) obtained the prediction equation of a VC, which by definition must be obtained in one single generation (generation-1) according to Busbice (1970). The generation from which to start, generation-0, is that of V varieties with inbreeding equal to zero. Márquez's prediction equation (1992) is:

$$VC_1 = C - (C - V)/n - (V - S_1)/nm, \quad (1)$$

where VC_1 is the yield of VC in the first generation of free pollination, or generation-1, while V and C have already been defined, S_1 is the average of the self-fertilized lines deriving from each V, n is the number of parent varieties, and m the number of self-fertilized plants in each parent. In a synthetic with parent single crosses (Csp) among highly inbred unrelated lines, the value of inbreeding coefficients of Csp and their crosses is zero; therefore, equation 1 can also be applied for its prediction. In this study, a method is searched for the yield prediction of a maize synthetic made with single crosses, alternative to the one presented by Sahagún and Villanueva (1997).

emparentadas, el valor de los coeficientes de endogamia de las *Csp* y de sus cruzamientos es cero, por lo que para su predicción puede aplicarse también la ecuación 1. En esta investigación se busca un método alternativo al presentado por Sahagún y Villanueva (1997) para la predicción del rendimiento de un sintético de maíz hecho con cruza simples.

METODOLOGÍA

Sahagún y Villanueva (1997) usaron el método de arreglos genotípicos para calcular la endogamia y predecir el rendimiento de un sintético de maíz hecho con cruza simples. Gilmore (1969), con *n* plantas heterocigóticas predijo el rendimiento de los sintéticos hechos con cruza simples. En ambos estudios la predicción del rendimiento fue la misma.

Ecuación de predicción

Considérese *n* cruza simples progenitoras (*Csp*) cada una con *m* plantas. Las *nm* plantas se someten a apareamiento aleatorio que incluya a la autofecundación, lo que produce la generación-1; la progenie del apareamiento aleatorio se muestra en la Figura 1. En la diagonal, de izquierda a derecha, hay *m* plantas en cada *Csp* que se reproducen por autofecundación, y las permutaciones (*P*) de las *m* plantas tomadas de dos en dos, las que se reproducen por cruzamientos planta a planta; por ejemplo, para la *Csp* *AB*, se tendrán *m* plantas *S*₁ con endogamia de 1/2, y *m(m-1)* cruzamientos planta a planta en *AB*, o sea cruzamientos entre pares de plantas (*AB*×*AB*). Sin embargo, la progenie de las *Csp*, la cual se puede denominar *C'sp*, tiene también la endogamia de las líneas *S*₁; ésto se demuestra por la coancestría entre *AB* y *AB*, es decir, la probabilidad de obtener líneas homocigóticas en *AB/AB*, que es $(AA + AB + BA + BB)/4 = (1 + 0 + 0 + 1)/4 = 2/4 = 1/2$. Los números en que suceden las autofecundaciones y las cruza planta a planta considerando las *n* líneas bajo apareamiento aleatorio son, respectivamente, *nm* y *nm(m-1)*. En el resto de las celdas se tienen los cruzamientos posibles entre las *n* *Csp*, que equivalen a cruza dobles (*Cd*), con un número igual a $P_2^n m^2 = nm^2 (n-1)$. En el Cuadro 1 se muestran los tipos generales de apareamiento, sus números, sus frecuencias codificadas y las coancestrías entre los progenitores; éstas se usarán posteriormente para calcular la endogamia promedio del sintético.

De acuerdo con el Cuadro 1, la media promedio del sintético en la primera generación (*SINCsp*)₁, es el producto de las frecuencias codificadas por sus respectivos valores genotípicos (que se representarán por *S*₁, y por *C'sp* y *Cd*) divididas por el total codificado *nm*, o sea:

$$\begin{aligned}
 (SINCsp)_1 &= [S_1 + (m-1)C'sp + m(n-1)Cd] / nm \\
 &= S_1 / nm + C'sp / n - C'sp / nm + Cd - Cd / n \\
 &= Cd - (Cd - C'sp) / n - (C'sp - S_1) / nm
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

La ecuación 2 es similar a la ecuación 1. En ésta, para cada híbrido se tienen *m*² celdas; en la diagonal de izquierda a derecha en

METHODOLOGY

Sahagún and Villanueva (1997) used the method of genotypic arrays to calculate inbreeding and to predict the yield of a maize synthetic made with single crosses. Gilmore (1969) predicted the yield of the synthetics made with single crosses with *n* heterozygous plants. In both studies the yield prediction was the same.

Prediction equation

Consider *n* parent single crosses (*Csp*) with *m* plants each. The *nm* plants are subjected to random mating which includes self-fertilization, producing generation-1; progeny of the random mating is shown in Figure 1. In the diagonal, from left to right, there are *m* plants in each *Csp*, which reproduce by selfing, and the permutations (*P*) of the *m* plants taken two at a time, which reproduce by plant to plant crossing; for example, for *AB Csp*, *m S*₁ plants will be obtained with inbreeding of 1/2, and *m(m-1)* plant to plant crosses in *AB*, in other words, crossings between plant pairs (*AB*×*AB*). The *Csp* progeny, however, which can be named *C'sp*, has also inbreeding of the *S*₁ lines; this is proved by the co ancestry between *AB* and *AB*, that is, the probability of obtaining homozygous lines in *AB/AB*, which is $(AA+AB+BA+BB)/4 = (1 + 0 + 0 + 1)/4 = 2/4 = 1/2$. The numbers in which selfings and plant-to-plant-crosses occur considering the *n* lines under random mating are *nm* and *nm(m-1)*, respectively. In the remaining cells possible crosses among *n* *Csp* are obtained, equivalent to double crosses (*Cd*) with a number equal to $P_2^n m^2 = nm^2 (n-1)$. Table 1 shows the general mating types, their numbers, their coded frequencies, and the coancestries between

Figura 1. Apareamiento aleatorio entre n híbridos de cruza simple, cada uno con m plantas.

Figure 1. Random mating among n single cross hybrids, each with m plants

	(1) <i>AB</i>	(2) <i>CD</i>	. . .	(n) <i>YZ</i>
(1)				
<i>AB</i>	1 2 3... <i>m</i>	1 2 3... <i>m</i>		1 2 3... <i>m</i>
1	S C' C' C'	C C C C		C C C C
2	C' S C' C'	C C C C		C C C C
3	C' C' S C'	C C C C		C C C C
.				
.				
<i>n</i>	C' C' C' S	C C C C		C C C C
<i>YZ</i>				
1	C C C C	C C C C		S C' C' C'
2	C C C C	C C C C		C' S C' C
3	C C C C	C C C C		C' C' S C
.				
.				
<i>m</i>	C C C C	C C C C		C' C' C' S

C' es el cruzamiento tipo *AB*×*AB*, o *C'sp*; *S* es la autofecundación tipo de *AB*; *C* es el cruzamiento tipo *AB*×*CD*, o *Cd* × *C'* is crossing type *AB*×*AB*, or *C'sp*; *S* is self-fertilization type of *AB*; *C* is crossing type *AB*×*CD*, or *Cd*.

Cuadro 1. Tipos generales de apareamiento y sus números, frecuencias codificadas y coancestrías, correspondientes a la Figura 1.

Table 1. General types of mating and their numbers, coded frequencies and coancestries, corresponding to Figure 1.

Tipo de apareamiento	Números	Frecuencias codificadas [†]	Coancestrías [‡]
S =autofecundación de Csp	nm	1	$(1/2)(1 + F_0)$
C' =cruzamiento $C'sp AB \times AB$	$nm(m-1)$	$(m-1)$	$r_{0w}=(1/2)(1 + F_0)$
C =cruzamiento $AB \times CD$	$nm^2(n-1)$	$m(n-1)$	r_{0B}

[†] con factor común nm , total $n^2 m^2$, total codificado nm . \diamond with common factor nm , total $n^2 m^2$, coded total nm .

[‡] F_0 es igual a la endogamia de la autofecundación $\diamond F_0$ is equal to inbreeding of self-fertilization.

r_{0w} es igual a la coancestría dentro de la progenie aleatoria de cada Csp $\diamond r_{0w}$ is equal to coancestry within random progeny of each Csp .

r_{0B} es igual a la coancestría entre Csp diferentes: AB y CD $\diamond r_{0B}$ is equal to coancestry among different Csp : AB , and CD .

la Figura 1 hay m celdas que son el resultado de las autofecundaciones de los híbridos, o sea los valores de las líneas S_1 . Sin embargo, como se dijo, los cruzamientos de las celdas restantes, del tipo $AB \times AB$ tienen también como endogamia $1/2$, como se ha mostrado; por tanto la ecuación 2 deviene en:

$$(SINCsp)_1 = Cd - (Cd - C'sp)/n \quad (3)$$

Según Sahagún y Villanueva (1997) la predicción del rendimiento de un sintético hecho con n cruza simples, calculada en la generación-2 del sintético, es:

$$Y_2 = Y_1 - (Y_1 - R)/n \quad (4)$$

Al comparar las ecuaciones 3 y 4 se ve que ambas significan lo mismo; sin embargo es necesario referirnos a la Figura 1. En la ecuación 4, Y_1 es el rendimiento de las cruza ente los híbridos de crza simple los que, obviamente, producen cruza dobles, es decir, las Cd de la ecuación 3; por otra parte, en la ecuación 4, R es el rendimiento promedio que se obtiene por apareamiento aleatorio en cada híbrido simple, y es igual al rendimiento promedio que se obtiene por apareamiento aleatorio de cada Csp , o sea las $C'sp$ de la ecuación 3.

Cálculo de la endogamia

En el Cuadro 1 se muestran las coancestrías de los apareamientos generales en la generación-0, que dan lugar a la endogamia del sintético de la generación-1. El primer tipo general de apareamiento es la autofecundación en las nm plantas que resulta en una endogamia

parents; these will be used subsequently to calculate the mean synthetic inbreeding.

According to Table 1, the average mean of the synthetic in the first generation ($SINCsp$) is the product of the coded frequencies by their respective genotypic values (that will be represented by S_1 and by $C'sp$ and Cd), divided by the coded total nm , in other words:

$$\begin{aligned} (SINCsp)_1 &= [S_1 + (m-1)C'sp, m(n-1)Cd]/nm \\ &= S_1/nm + C'sp/n - C'sp/nm + Cd - Cd/n \\ &= Cd - (Cd - C'sp)/n - (C'sp - S_1)/nm \end{aligned} \quad (2)$$

Equation 2 is similar to equation 1. In this, for each hybrid m^2 cells are obtained; in the diagonal from left to right in Figure 1, there are m cells, which are the result of self-fertilizations of hybrids, in other words, the values of the S_1 lines. Nevertheless, as mentioned above, the crosses of the remaining cells of type $AB \times AB$ also have $1/2$ as inbreeding, as demonstrated; therefore, equation 2 becomes:

$$(SINCsp)_1 = Cd - (Cd - C'sp)/n \quad (3)$$

According to Sahagún and Villanueva (1997), the yield prediction of a synthetic made with n single crosses, calculated in generation-2 of the synthetic, is:

$$Y_2 = Y_1 - (Y_1 - R)/n \quad (4)$$

Comparing equations 3 and 4, it is evident that both mean the same, however, it is necessary to refer to Figure 1. In equation 4, Y_1 is the yield of the crosses among the single cross hybrids, which obviously produce double crosses, that is, the Cd of equation 3; on the other hand, in equation 4, R is the average yield obtained by random mating in each single hybrid, and equal to the mean yield, obtained by random mating of each Csp or the $C'sp$ of equation 3.

Inbreeding calculation

Table 1 presents the coancestries of general matings in generation-0, which give rise to the synthetic inbreeding in generation-1. The first general mating type is selfing of the nm plants, that results in inbreeding of $1/2$ since $F_0 = 0$; in the second one, crosses among plants of the same hybrid are obtained, in other words, coancestry within one hybrid (r_{0w}), for example, the crossing $AB \times AB$; as the plants of each Csp are identical, their coancestry is also that of selfing; finally, coancestry among different Csp is r_{0B} .

The average coancestry in one generation is equal to inbreeding (F) of the next generation; therefore the calculation of average coancestry is equal to the sum of the products of the coded frecuencies by their respective coancestries, all divided by the coded total which is nm , or:

$$\begin{aligned} F(SINCsp)_1 &= (1/nm)[(1/2)(1 + F_0) + \\ &\quad (m-1)(1/2)(1 + F_0) + m(n-1)r_{0B}], \end{aligned}$$

since $F_0 = r_{0B} = 0$, then:

de 1/2, ya que $F_0=0$; en el segundo se tienen cruzamientos entre plantas de un mismo híbrido, o sea la coancestría dentro de un híbrido (r_{0w}), por ejemplo el cruzamiento $AB \times AB$; como las plantas de cada Csp son idénticas, su coancestría es también la de la autofecundación; finalmente la coancestría entre Csp diferentes es r_{0B} .

La coancestría promedio en una generación es igual a la endogamia (F) de la siguiente generación; por tanto, el cálculo de la coancestría promedio es igual a la suma de los productos de las frecuencias codificadas por las respectivas coancestrías, dividido todo por el total codificado que es nm , o sea:

$$F(SINCS)_1 = (1/nm)[(1/2)(1+F_0) + (m-1)(1/2)(1+F_0) + m(n-1)r_{0B}],$$

como $F_0=r_{0B}=0$, entonces:

$$F(SINCS)_1 = (1/nm)(1/2 + m/2 - 1/2) = 1/2n$$

que es el resultado obtenido por Sahagún y Villanueva (1997).

DISCUSIÓN

La ecuación 1 se obtuvo independientemente por Márquez (1992) y por Sahagún y Villanueva (1997). Márquez (1992) hizo la deducción directamente sin recurrir a ningún auxilio gráfico. Gilmore (1969) partió de n plantas S_0 para llegar a la conclusión de que si en cada una de éstas se derivaban dos líneas homocigóticas, por ejemplo de la planta AB se obtendrían las líneas AA y BB , la predicción del sintético sería:

$$Y_2 = Y_1 - (Y_1 - Y_0)/2n, \quad (5)$$

donde Y_0 es el rendimiento promedio de las n plantas heterocigóticas. En la ecuación 5, Y_2 , Y_1 y Y_0 tienen el mismo significado general que en cualquiera otra ecuación que prediga el rendimiento de los sintéticos. De acuerdo con la nomenclatura de Busbice (1970), Y_2 es el rendimiento del sintético en la generación 2; Y_1 es el rendimiento promedio del sintético en la generación 1, el de las cruces entre las poblaciones progenitoras; y Y_0 es el rendimiento promedio del sintético en la generación 0, el de las poblaciones progenitoras. De manera que si particularizamos para la ecuación 5, puesto que n se refiere a plantas heterocigóticas S_0 , entonces $2n$ es el número de líneas homocigóticas derivadas de tales plantas S_0 .

Finalmente, el método empleado por J. Sahagún C. en varios de sus trabajos sobre sintéticos está basado en el desarrollo de arreglos gaméticos y genotípicos. Al autor de esta nota el método le parece algo complicado, aunque es muy efectivo y flexible. Para que los

$$F(SINCS)_1 = (1/nm)(1/2 + m/2 - 1/2) = 1/2n$$

which is the result obtained by Sahagún and Villanueva (1997).

DISCUSSION

Equation 1 was obtained independently by Márquez (1992) and by Sahagún and Villanueva (1997). Márquez made the deduction directly without utilizing any graphic representation. Gilmore (1969) started from n S_0 plants to arrive to the conclusion that if from each of those, two homozygous lines were derived, for example, the lines AA and BB would be obtained from plant AB , the prediction of the synthetic would be:

$$Y_2 = Y_1 - (Y_1 - Y_0)/2n, \quad (5)$$

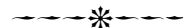
where Y_0 is the mean yield of the heterozygous n plants. In equation 5, Y_2 , Y_1 , and Y_0 have the same general meaning as in any other equation predicting the yield of synthetics. According to the nomenclature of Busbice (1970), Y_2 is the yield of the synthetic in generation 2; Y_1 is the average yield of the synthetic in generation 1, that of the crosses among the parent populations, and Y_0 is the average yield of the synthetic in generation 0, that of the parent populations. So that if we particularize for equation 5, since n refers to heterozygous S_0 plants, then $2n$ is the number of homozygous lines derived from such S_0 plants.

Finally, the method employed by J. Sahagún C. in several of his studies on synthetics is based on the development of gametic and genotypic arrays. To the author of this paper, the method seems to be somewhat complicated, though it is very effective and flexible. In order to provide the professors of genetic improvement in maize with alternatives for the calculation of inbreeding and synthetics prediction, another method is presented which leads to the same results as those of Sahagún and Villanueva (1997).

CONCLUSIONS

Inbreeding calculation of a maize synthetic which is made by random mating of a mixture of single cross hybrids, leads to the same results obtained by other authors. The method presented in this paper is less complicated and helps to better understand the different types of parent plants and their progenies.

—End of the English version—



profesores de mejoramiento genético en el maíz tengan la posibilidad de presentar alternativas para el cálculo de la endogamia y predicción de sintéticos, se presenta otro método que conduce a los mismos resultados de Sahagún y Villanueva (1997).

CONCLUSIONES

El cálculo de la endogamia de un sintético de maíz que se hace mediante el apareamiento aleatorio de una mezcla de híbridos de crusa simple conduce a los mismos resultados que han obtenido otros autores. El método que aquí se presenta es más sencillo y ayuda a

un mejor entendimiento de los diferentes tipos de plantas progenitoras y sus progenies.

LITERATURA CITADA

- Busbice, T. H. 1970. Predicting yield of synthetic varieties. *Crop Sci.* 10: 265-269.
- Gilmore, E. C. 1969. Effect of inbreeding of parental lines on predicted yields of synthetics. *Crop Sci.* 9:104.
- Márquez S., F. 1992. On the yield prediction of composite varieties of maize. *Maydica* 37: 271-274.
- Sahagún C., J., y C. Villanueva V. 1997. Teoría de las variedades sintéticas formadas con híbridos de crusa simple. *Rev. Fitotec. Mex.* 20:69- 79.