



ALOGAMIA EN QUINUA TASA EN MENDOZA (ARGENTINA)

ALLOGAMY IN QUINUA RATE IN MENDOZA (ARGENTINA)

Víctor Silvestri ¹
Flavia Gil ²

RESUMEN

Se ha estimado la tasa de alogamia (α) de la variedad Sajama de Quinua (*Chenopodium quinoa* W.), en Chacras de Coria (Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina). Su determinación se efectuó en función de los cruzamientos naturales detectados en la progenie de la variedad Sajama, reconocidos por la manifestación en plántula del marcador dominante proveniente de la variedad Paca.

La alogamia determinada fue de 17,36 \pm 0,82 %, lo que permite considerar a esta población como parcialmente autógena. Este valor prácticamente duplica el valor máximo sugerido para esta especie en ensayos similares.

La distribución de la tasa de alogamia entre individuos origina una curva asimétrica ($A = 0,33$) y leptocúrtica ($k = 0,34$), que no se ajusta a la normal. El valor logrado de α máximo fue de 36 % y el mínimo, de 0 %, mientras que el C.V. dio 53,80 %. Esta distribución concuerda con la citada bibliográficamente para otras poblaciones, realizadas a partir de observaciones de la estructura floral.

Palabras clave

quinua • *Chenopodium quinoa* •
reproducción • tasa de alogamia •
tasa de exogamia

SUMMARY

It is informed that the estimated allogamy rate (α) of the Sajama of Quinoa variety (*Chenopodium quinoa* W.), in Chacras de Coria (Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina). The allogamy rate was estimated in function of the natural outcrossings found in the progeny of the Sajama variety, recognized by the revelation in plantule of the dominant marker coming from the Paca variety.

The determined allogamy was 17,36 \pm 0,82 %, that allows us to consider this population as partly autogamous. This value practically double the maximum value suggested for this species, in similar rehearsals.

The distribution of allogamy rate among progeny creates an asymmetric (skewness = 0,33) and leptokurtic (kurtosis = 0,34) curve, not adjusted to the normal distribution. The α maximum value achieved was 36 % and the minimum was 0 %, while the C.V. value was 53,80 %. This distribution conciliates with the prediction done by others population's bibliography, from observations of the floral structure.

Key words

quinua • *Chenopodium quinoa* •
reproduction • allogamy rate •
outcrossing rate

1 Departamento de Ciencias Biológicas.

2 Departamento de Producción Agropecuaria.

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Alte. Brown 500. (5505) Chacras de Coria, Mendoza, Argentina.

e-mail: ccea@fca.uncu.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Para el manejo de las colecciones de germoplasma, la elección de la estrategia de mejoramiento y la producción de semilla, es necesario contar con la mayor información posible sobre el comportamiento reproductivo de la especie en las condiciones ecológicas locales. La bibliografía no es coincidente sobre el sistema reproductivo de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.); se ha citado como alógama (3), preferentemente autógama (8) o alo-autógama (11, 16). La posibilidad de encontrar poblaciones con diferentes grados de fecundación cruzada fue emitida a partir de las observaciones de flores hermafroditas, femeninas y androestériles, coexistiendo en una misma planta en diferentes proporciones en los distintos individuos (13). Esta sugerencia fue reforzada por las descripciones de los sistemas hereditarios relacionados (6, 15, 18, 19). Dichos antecedentes, sumados a las conocidas influencias de factores ambientales en los cruzamientos naturales, justifican la realización de evaluaciones locales (5).

En este ensayo se propuso estimar el porcentaje de alogamia del cv. Sajama, en Chacras de Coria (Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina), cuyas coordenadas geográficas son: latitud: 32° 59' 82" S; longitud: 68° 52' O y altitud: 920,82 msnm. La elección del cv. Sajama se basó en el buen comportamiento logrado en ensayos regionales de adaptación y en determinaciones de calidad nutritiva (2, 14), siendo considerada un germoplasma apropiado para iniciar selecciones locales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para estimar los cruzamientos naturales se usó el color de planta como carácter marcador, por la facilidad de determinarlo masivamente al estado de plántula. De acuerdo con la bibliografía, el color verde que presenta la variedad Sajama es recesivo (rr) (7). Como genotipo dominante (RR) se usó la población Paca de planta coloreada. La semilla utilizada de las dos variedades correspondió a la primera generación de reproducción controlada de las muestras de una colección procedente del Banco de Germoplasma de Patacamaya (Bolivia) (12).

La siembra se realizó en cartuchos de papel de 8 cm de diámetro por 15 de profundidad, en una mezcla de partes iguales de turba y de tierra proveniente de un suelo franco-arcilloso. Mediante un trasplante inicial y sucesivos repasos para reemplazar las pérdidas, se estableció una parcela con igual número de plantas de genotipo rr y RR, distribuidas en surcos alternados. La distancia entre plantas y entre surcos fue de 0,50 m. Se cosechó en forma individual semilla de 50 plantas de la variedad Sajama (rr).

En germinador se sembraron 100 semillas de cada planta y se determinó la proporción de plántulas coloreadas sobre el total de germinadas. Los cruzamientos naturales detectados (cnd) se indican con la expresión:

$$cnd = \frac{\text{plántulas rojas (Rr)}}{\text{plántulas rojas (Rr)} + \text{plántulas verdes (rr)}} \times 100$$

La desviación, donde N representa el número total de descendientes computados (Rr + rr), es:

$$ds (cnd) = \sqrt{\frac{cnd \times (1-cnd)}{N}} \times 100$$

Dada la misma proporción de plantas verdes y coloreadas, y bajo el supuesto de igual aptitud para los dos genotipos, se consideraron iguales a las frecuencias génicas del polen:

$$p (R) = q (r) = 0,5$$

Este supuesto permite estimar el porcentaje total de alogamia como el doble de los cruzamientos naturales detectados (3, 9):

$$\alpha = \frac{1}{p} cnd = 2 cnd$$

$$ds (\infty) = \sqrt{\frac{4 \times cnd \times (1-cnd)}{N}} \times 100 = 2 ds (cnd)$$

Para comprobar si el sistema hereditario del color de plántula correspondía al supuesto de un gen simple con dominancia completa, se determinó la segregación de la autofecundación de una de las plantas coloreadas de la F₁.

RESULTADOS

La siguiente tabla reúne las observaciones fenológicas, expresadas en días a partir de la siembra (7 de octubre), germinación, primer par de hojas, formación de panoja, floración y maduración:

Variedad	Germinación	1 ^{er} par de hojas	Formación de panoja	Inicio de floración	Maduración
Paca	4	9	71	97	157
Sajama	4	9	68	92	145

El retardo en el inicio de la floración en la variedad Paca pudo hacer subestimar la tasa de alogamia, a pesar de que el prolongado período de floración característico de esta especie permitió la superposición de la plena floración en las dos variedades. El poder germinativo medio estimado para las 50 progenies fue de 92,12 ± 11,34 %. El número total de plántulas, coloreadas y verdes, y el porcentaje de cruzamientos naturales detectados fueron:

Coloreadas	Verdes	Totales	cn %
386	4 220	4 606	8,38 ± 0,41

En consecuencia, el valor estimado de alogamia es:

$$\alpha = 17,76 \pm 0,82$$

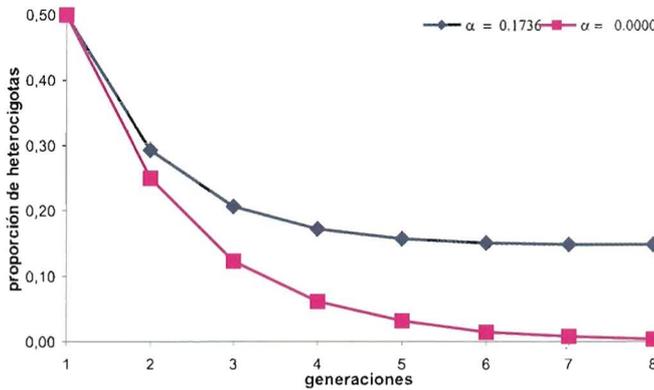
Para este valor, el coeficiente de consanguinidad correspondiente en el estado de equilibrio puede calcularse a partir de (1, 4):

$$F_e = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} = 0.70$$

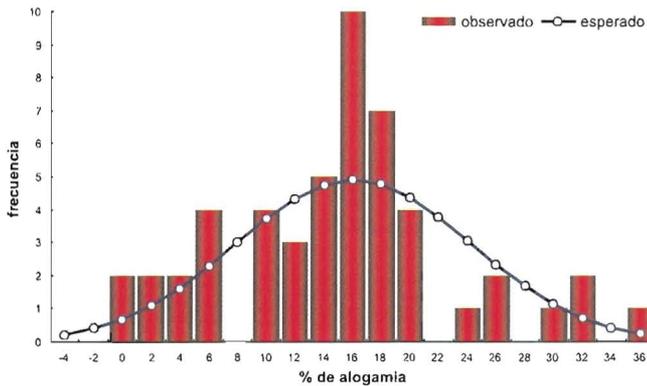
La frecuencia máxima de heterocigotas esperadas en las segregaciones de cruzamientos ($p = q = 0.5$) en ese equilibrio, están dadas por:

$$He = \frac{\alpha}{1 + \alpha} = 0.15$$

La siguiente figura indica el valor de heterocigotas que se espera alcanzar en cinco generaciones, comparada con la disminución de los heterocigotas de la tasa media estimada y la autogamia completa.



En esta otra figura se ilustra la distribución del porcentaje de alogamia en las 50 progenies, observado y esperado para la normalidad:



Los parámetros descriptivos de la distribución se resumen en la siguiente tabla:

N	50	máximo	36,00 %
media	15,08 %	cuartil superior	18,00 %
desviación estándar	8,03 %	mediana	16,00 %
coef. de variación	53,24 %	cuartil inferior	10,00 %
asimetría	0,33	mínimo	00,00 %
curtosis	0,34	moda	16,00 %

La diferencia entre el valor de α estimado para la población (17,6 %) y el valor encontrado para el individuo medio (15,50 %), está dada por la falta de ponderación del número de semillas germinadas por planta en este último. No obstante la correlación entre los valores individuales de α y el poder germinativo no fue significativa, por lo que se asume que los genotipos no difieren en la germinación. Mediante la prueba de Shapiro-Wilk se probó y rechazó el ajuste a la normalidad de la distribución, $W = 0.952$ y probabilidad $< W = 0.071$.

Los valores obtenidos para la segregación, originada por autofecundación de la progenie de una planta de fenotipo coloreado, se expresan a continuación:

Coloreadas	Verdes	Total	Coloreadas / Verdes
258	89	347	2,89 / 1

Estos valores se ajustan a los esperados para la F_2 de un gen simple ($\chi^2 = 0,034$ y $P = 0,85$).

DISCUSIÓN

El grado de alogamia determinado en este ensayo duplica el máximo de polinización cruzada del 9 %, para distancias mínimas de un metro de separación entre las plantas de los genotipos recesivo y dominante (8). Puede interpretarse que el valor mencionado corresponde sólo a los cruzamientos por el marcador, sin la corrección correspondiente por las posibles fecundaciones con el alelo recesivo. En ese caso, y asumiendo similares frecuencias del dominante y el recesivo, las dos estimaciones serían altamente concordantes.

La curva de distribución presenta asimetría hacia la derecha ($A = 0,33$) y tendencia hacia el tipo leptocúrtica ($K = 0,34$), asemejándose a uno de los modelos de distribución de la alogamia conocidos para otras especies y representado por una población de algodón (10). La variación entre los cincuenta individuos: C.V. = 53,80 %, es compatible con las diferencias individuales en las proporciones de los tipos florales, detectándose individuos totalmente autógamos, pero no los totalmente alogamos (13).

CONCLUSIONES

El valor estimado para el porcentaje de alogamia medio de 17,76 %, permite considerar a esta población como parcialmente autógena, correspondiéndole el grupo B del esquema de Fryxell (5). Esta proporción de cruzamientos es lo suficientemente alta para ser tenida en cuenta en el manejo de las colecciones, en el mejoramiento y en la producción masiva de semillas. Se puede inferir, a partir de estos datos, que no son exagerados los aislamientos mínimos de 180 a 360 m, para la producción de semilla de esta especie (11).

El valor medio de consanguinidad esperado para segregaciones de cruzamientos cuando alcanzan el equilibrio ($F = 0,70$), es algo menor que el correspondiente a líneas con dos autofecundaciones ($F = 0,75$) y la proporción de heterocigotas o alelos segregantes puede llegar, en consecuencia, al 15 %. La falta de individuos totalmente autógenos sugiere la inexistencia de androestériles en esta población o, al menos, su presencia en frecuencias muy bajas, no detectables con el tamaño usado de la muestra.

Debe tenerse presente que los valores logrados representan a un solo gen en un solo año y que pueden estar subestimados, por la diferencia de cinco días que presentó la variedad Sajama en el inicio de la floración, con relación a la variedad Paca.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bos, I. and Caligari, P. 1995. Selection methods in plant breeding. Chapman & Hall. London.
2. Candia, R. et al. 1983. Cultivo experimental de *Chenopodium quinoa* Wild en Mendoza. IADIZA.
3. Covas, Q. 1964. Elementos de fitotecnia. In L. Parodi. Enciclopedia Argentina de la Agricultura y Jardinería. ACME. Argentina 367-407
4. Falcorner, D. 1981. Introducción a la Genética cuantitativa. Continental. México. p 383.
5. Fryxell, P. 1957. Mode of reproduction of higher plants. Botanical review XXIII. (3) 135-233.
6. Gandarillas, H. 1969. Esterilidad genética y citoplásmica en quinoa. Turrialba 19 (3) 429-430.
7. _____. 1976. Genética y origen de *Chenopodium quinoa*. Bol. Genét. Fitotec. 9:3-14.
8. _____. 1979. Mejoramiento genético. In M. Tapia M. et al. La quinua y la kañiwa. CIID. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícola (IICA). 65-80.
9. Harding, J. and Tucker, C. 1964. Quantitative studies on mating systems. I. Evidence for the non-randomness of outcrossing in *Phaseolus lunatus*. Heredity 19: 369-387
10. Jainn, S. et al. 1968 Simulation of models involving mixed selfing random mating. I. Stochastic variation in outcrossing and selection parameters. Heredity 23 (3) 411-432.
11. Kernick, M. 1961 Producción de semillas de determinados cultivos. In F.A.O. Las semillas agrícolas y hortícolas. FAO: Producción y protección vegetal N° 12. Roma.
12. Masuelli, R. 1987. Orígenes de las 46 introducciones de la colección de Quinoa de Genética General y Aplicada. F. Cs. Agrarias. UNCuyo.
13. Rea, J. 1969. Biología floral de la *Chenopodium quinoa*. Turrialba 19 (1) : 91-96.
14. Silvestri, V. et al. 1989. Observaciones preliminares sobre el comportamiento de 46 poblaciones de *Chenopodium quinoa* en Mendoza. 3ª Jornadas de Investigación y Docencia. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo.
15. Simmonds, N. 1971. The breeding system of *Chenopodium quinoa*. 1. Male sterility. Heredity 27: 73-82.
16. Simmonds, N. 1981. Principles of crop improvement. Longman. London. p 480.
17. Ward, S. & D. Johnson. 1993. Cytoplasmic male sterility in quinoa. Euphatica 66:217-223.
18. Ward, S. 1998. A new source of restorable de cytoplasmic male sterility. Euphatica. 101 (2) 157-163.