

## CRUZAMIENTO INTRAESPECÍFICO EN EL CEMPOALXOCHITL (*Tagetes erecta* L.)

### INTRASPECIFIC CROSSING IN MEXICAN MARYGOLD (*Tagetes erecta* L.)

Miguel Ángel Serrato Cruz<sup>1</sup>, Salvador Miranda Colín<sup>2</sup>, Fernando Castillo González<sup>3</sup> y Armando García Velázquez<sup>2</sup>

#### RESUMEN

Para conocer el cruzamiento intraespecífico y su posible implicación en la domesticación del Cempoalxochitl (*Tagetes erecta* L.), se realizó manualmente la autopolinización y la polinización cruzada intrapoblacional (PaP) en *T. erecta* cultivada y su pariente silvestre. La autopolinización en el silvestre produjo poca semilla (17%), mientras que en el cultivado fue mayor (74%); con la polinización PaP, hubo alta producción de semillas en ambas poblaciones (91 a 95%). En el silvestre, las semillas de polinización PaP germinaron poco (0-4%), pero las de autopolinización germinaron más (19-31%); en el cultivado, la germinación fue mayor (93-96% de autopolinización y 100% de PaP) que en el silvestre. Plantas silvestres obtenidas por cruzamiento PaP presentaron morfología floral normal, pero las obtenidas por autopolinización presentaron morfología floral cercana a la del cultivado, con incrementos hasta del 100% respecto del fenotipo normal; en plantas cultivadas hubo mayor expresión floral, resultando mejor en plantas de polinización PaP que de autopolinización. Plantas silvestres derivadas de polinización PaP formaron pocas semillas (6%), pero las de autopolinización formaron más (24%); en las cultivadas, las plantas originadas de polinización PaP formaron 32% de semillas, lo cual fue menor que en aquellas de autopolinización (62%). Las respuestas que mostró la progenie silvestre obtenida por autopolinización, con tendencia parecida a las respuestas del cultivado, permiten plantear que la autopolinización en la población silvestre, produjo progenies con modificaciones seleccionadas durante el proceso de domesticación de *T. erecta*.

#### PALABRAS CLAVE ADICIONALES

*Tagetes erecta* L., germinación, formación de semillas, características florales, domesticación, Asteraceae.

#### SUMMARY

In order to study the intraspecific crossing in mexican marigold (*Tagetes erecta* L.) and its implication on domestication process in this plant, self- and outpollination in both cultivated and wild *T. erecta* subspecies were induced. Seed set was lower (17%) in wild subspecies than in cultivated one (74%) by selfpollination; high seed set (91 to 95%) in both subspecies was produced by outpollination. Low germination (0-4%) in seeds of wild subspecies from outpollination was detected, but it was 19-31% when seeds were obtained from selfpollination; high germination in seeds of cultivated subspecies was observed, 93-96% and 100% from self- and outpollination, respectively. Normal floral traits in wild progeny plants from outpollination were produced, but those plants from selfpollination shown a high floral expression near to cultivated subspecies floral traits; on the other hand, high floral expression was shown by cultivated species better from outpollination than from selfpollination. Seed set in wild progeny obtained from outpollination was poor (6%) but it was good (24%) in plants produced from selfpollination; seed set in cultivated progeny was high, 32% and 62% in plants from out- and selfpollination origin, respectively. Responses in wild progeny obtained by outpollination had similar tendency to those observed in cultivated progeny, which it supports the purpose that selfpollination in wild subspecies was able to develop morphological changes in progenies that eventually could have been selected along domestication process in *T. erecta*.

<sup>1</sup> Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carret. México-Texcoco. C.P. 56230 Chapingo, México. Tel. y Fax: 01(5) 95-21246.

<sup>2</sup> Instituto de Recursos Genéticos y Productividad del Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 56230. Tel. y Fax: 01(5) 95-1-0262

## ADDITIONAL INDEX WORDS

*Tagetes erecta* L., germination, seed set, floral expression, domestication, *Asteraceae*.

## INTRODUCCIÓN

Mesoamérica es uno de los centros de domesticación de plantas (Harlan, 1975). Se ha postulado que las plantas silvestres han contribuido al mejoramiento genético empírico practicado por los agricultores desde hace siglos (Hawkes, 1983), pero son escasos los trabajos experimentales que ilustren los mecanismos involucrados en la domesticación de plantas silvestres potencialmente útiles (Simmonds, 1984).

La detección de la utilidad de las plantas y su domesticación, se considera como un proceso esencial en la formación de recursos fitogenéticos, a partir de los cuales se ha fincado el fitomejoramiento científico; no obstante, son escasas las contribuciones que documenten el proceso de domesticación de plantas nativas de México.

En el estudio de los cambios ocurridos con la domesticación, se busca comparar atributos de la planta domesticada con su ancestro silvestre, destacando las principales modificaciones ocurridas e inferir, y en el mejor de los casos demostrar, que ello fue producto de la domesticación que involucró mecanismos biológicos y presiones selectivas de orden cultural (Schwartz, 1966; Harlan, 1975; Hawkes, 1983).

El cempoalxochitl (*Tagetes erecta* L.) es una planta domesticada en Mesoamérica, que además de emplearse como ceremonial y medicinal desde la época prehispánica (Código Florentino, 1980), actualmente es un importante recurso genético para la agroindustria mexicana que procesa colorantes utilizados en la elaboración de alimentos para animales y humanos y presenta amplias posibilidades de uso en agricultura sostenible por su efecto

nematicida y en el control de insectos (Serrato y Quijano, 1994).

Se considera que el centro sur de México es el área de mayor diversidad de especies del género *Tagetes* (Neher, 1966; Strother, 1977). A partir de plantas recolectadas recientemente en esa área, destaca una población silvestre localizada en Quenchendio Huetamo, Michoacán, plantas cuyo porte y forma de las hojas, parecidos a los del domesticado *T. erecta*, motivaron explorar sobre su aislamiento reproductivo. Los resultados indican proximidad genética entre ellos y por la morfología revisada, a la población Huetamo se le propone como la forma silvestre de *T. erecta* y como su probable ancestro (Serrato *et al.*, 1998). Entre otras implicaciones, este antecedente abre la posibilidad de estudiar la domesticación de *T. erecta*.

El objetivo del presente trabajo consistió en explorar el cruzamiento intraespecífico y su repercusión en los procesos de germinación, de expresión de la morfología floral y en la fertilidad de las descendencias, comparando al domesticado *T. erecta* y su contraparte silvestre.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales de *T. erecta* (tipo margarita): población cultivada y población silvestre huetamo, considerados por Serrato *et al.* (1998), se incluyeron para propiciar autopolinización y polinización planta a planta intrapoblación y se evaluó la formación de semillas. A partir de estas semillas progenie, se realizaron ensayos de germinación y se establecieron plantas para evaluar morfología floral y fertilidad (formación de semillas por autofecundación natural).

### Polinizaciones

Bajo condiciones de invernadero (en Chapingo, México) en el mes de junio de 1994, se establecieron bajo riego 30 plantas de cada población de *Tagetes* en macetas con ocho kilos



de una mezcla de suelo esterilizado: arena-suelo franco-tierra de monte (1:2:1, v/v), la cual se esterilizó con calor húmedo; no se aplicaron fertilizantes.

El período de la floración abarcó de septiembre hasta inicios de noviembre. Para las polinizaciones intrapoblacionales (autopolinización y polinización planta a planta) se eligieron las flores liguladas como progenitor femenino por disponer solamente de estigmas. La cosecha de polen se hizo entre las 10 y 12 del día; y los estigmas se impregnaron por completo, frotándolos en montículos de polen recolectado. Para la autopolinización se recogió polen de diferentes botones florales maduros de la misma planta sin necesidad de practicar emasculación; para la polinización planta a planta se cosechó polen de varias plantas de la misma población, sin incluir el de la planta en condición femenina, y se emascularon los dos primeros verticilos de flores hermafroditas inmaduras cercanas a las flores liguladas.

Se consideraron 60 inflorescencias para cada tratamiento de polinización por población. A los 20 días después de la polinización se cosecharon las inflorescencias secas y se extrajeron los aquenios formados, estimando su porcentaje respecto a 60 inflorescencias.

### Ensayo de germinación

Para realizar una prueba de germinación, se tomó una muestra de 200 semillas por cada tipo de polinización por población: 100 semillas se escarificaron, desprendiendo estrias longitudinales de la testa del aquenio, y otras 100 semillas se dejaron intactas. Lo anterior dio un total de cuatro tratamientos.

En cajas petri con discos de papel filtro Whatman número 2, humedecidos con agua destilada, se colocaron 25 semillas por caja con un total de cuatro repeticiones (cuatro cajas) por tratamiento. Se incubó a 22°C en obscuridad en

una estufa, modelo Thelio, marca GCA/Precision Scientific, USA. Se determinó la germinación diaria y se estimó la germinación total a los diez días y la germinación acumulada por día durante diez días.

### Morfología floral

De las semillas germinadas de cada tratamiento de polinización por población, se trasplantaron (en marzo de 1995) diez plántulas a macetas con ocho kilogramos de suelo, manejándose bajo riego e invernadero en Chapingo, México. El manejo de las plantas fue similar al hecho para las plantas que se polinizaron.

De cada planta se cosecharon los primeros cinco capítulos maduros (secos) y se les determinó, mediante vernier: ancho y longitud de involucro, ancho y longitud de la semilla de los aquenios formados en flores liguladas, longitud de arista corta y larga del aquenio, número de flores liguladas, y total de flores por capítulo. Cuando la planta presentó inflorescencias frescas y desarrolladas se midió, con vernier, el diámetro de la inflorescencia (capítulo) terminal.

### Fertilidad

De cada inflorescencia seca (capítulo), de las cinco cosechadas por planta, se extrajeron las semillas bien formadas por autofecundación natural, y se obtuvieron los porcentajes respectivos según el número de flores por capítulo.

### Análisis estadístico

Para procesar los datos correspondientes a la formación de semillas, tanto en los progenitores como en la progenie, así como los datos de germinación y de la morfología floral, se hizo el análisis de varianza univariado considerando el diseño experimental completamente al azar y se compararon los promedios de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), utilizando el SAS

(SAS Institute, 1986).

Los datos sobre morfología floral también se procesaron mediante el análisis de componentes principales con el programa PROC PRINCOMP de SAS (SAS Institute, 1986).

## RESULTADOS

### Formación de semillas

En la población silvestre ocurrió significativamente mayor prendimiento de semillas (91%) por polinización planta a planta (PaP) que por autopolinización (17%); tendencia que se reflejó también en la población cultivada, 94% por polinización PaP y 74% por autopolinización, aunque no fue estadísticamente significativa (Cuadro 1). La formación de semillas por autopolinización en la población cultivada fue aproximadamente cuatro veces mayor que en la silvestre; mientras que la formación de semillas por polinización PaP fue alta en ambas poblaciones.

Las plantas progenie provenientes de autopolinización se denominaron S1 y las semillas producidas por estas plantas se denominaron S2, debido a que hubo un segundo ciclo de autopolinización en forma natural. Las plantas progenie originadas de polinización PaP intrapoblacional se denominaron F1 y las semillas producidas por autopolinización natural se llamaron S1.

No se observó relación definida en la formación de semillas S1 o S2, según el origen de las progenies (tipo de polinización); pero considerando cada población, la formación de semillas fue específica (Cuadro 1).

En la progenie silvestre obtenida de autopolinización, se produjeron más semillas (24%) que en la progenie derivada de polinización PaP (6%), esto es, cuatro veces mayor. Algo similar ocurrió en la progenie

domesticada, aunque con porcentaje mayor: 62% en S2 y 32% en S1 (dos veces de aumento) (Cuadro 1).

### Germinación

Semillas con o sin testa de la progenie silvestre formadas por autopolinización germinaron significativamente más (18-31%) que aquellas obtenidas por polinización PaP intrapoblacional (0-4%) (Cuadro 2).

En semillas con o sin testa del material cultivado, la germinación fue mayor (93 a 100%) que en el material silvestre (0-31%); por otra parte, la germinación fue completa (100%) en semillas derivadas de polinización PaP, mientras que las obtenidas por autopolinización fue menor (93-96%), aunque no hubo diferencia significativa (Cuadro 2).

En la población cultivada el mayor incremento en la germinación se logró al segundo y tercer días (hasta 60%); mientras que en semillas de la población silvestre obtenidas por autopolinización, con germinación baja, el mayor incremento de la germinación (10%) fue al quinto día (Figura 1). Las semillas del material silvestre producidas por polinización PaP germinaron hasta los tres meses. La escarificación de semillas mejora la germinación, especialmente en la progenie silvestre obtenida de autopolinización, aunque la diferencia no fue significativa (Cuadro 2).

### Morfología floral

La mayoría de las características florales en la progenie silvestre obtenida por autopolinización tuvieron mejor expresión que la progenie obtenida por polinización PaP intrapoblacional (Cuadro 3). Los cambios en número y dimensión de partes florales obtenidos por autopolinización, se reflejaron principalmente en el



Cuadro 1. Formación de semillas (%) por autopolinización (⊗) y polinización planta a planta intrapoblación (PaP) en poblaciones de *Tagetes erecta* y producción de semillas en plantas progenie.

Población	Formación de semillas de la polinización		Formación de semillas de la progenie	
	⊗	PaP	⊗	PaP
Silvestre	17 b <sup>†</sup>	91 a	24 b	6 c
Cultivada	74 a	93 a	62 a	32 b
	DSH(5%)=28		DSH(5%)=12	

<sup>†</sup> Dentro de origen de semilla, valores con la misma letra no son significativamente diferentes.

Cuadro 2. Germinación total (%) a diez días en semillas de *Tagetes erecta* obtenidas de polinización intrapoblacional.

Población	Polinización intrapoblacional	
	⊗	PaP
Sin testa		
Silvestre	31 b <sup>†</sup>	4 c
Cultivada	96 a	100 a
Con testa		
Silvestre	18 b	0 c
Cultivada	93 a	100 a
	DSH(5)=13.9	

<sup>†</sup> Dentro de columnas e hileras, valores con la misma letra no son significativamente diferentes.

número de flores por capítulo y en el ancho del involucre (en 100%), siguiendo el número de flores liguladas (40%), el diámetro de capítulo (35%), el ancho de la semilla (30%) y longitud del involucre (10%). En cambio, en la progenie domesticada, la mayor expresión floral ocurrió en plantas obtenidas por polinización PaP que por autopolinización (Cuadro 3).

Mediante el análisis de componentes principales, los componentes 1 y 2 (CP1 y CP2), explican el 82% de la variación.

El CP1, con el mayor porcentaje de la variación explicada (65%), representó mejor a las variables ancho de involucre, diámetro de capítulo y número de flores liguladas; mientras

que el CP2, con el 17% de la variación explicada, representó mejor el ancho de semilla y flores liguladas.

El ordenamiento de las progenies obtenidas por las polinizaciones intrapoblacionales, considerando los componentes CP1 y CP2 (Figura 2), permitió destacar, de acuerdo al CP1, que la progenie silvestre obtenida por cruzamiento PaP se ubicó a la izquierda del eje vertical y la cultivada hacia la derecha. La progenie silvestre obtenida de autopolinización se ubicó a la derecha del CP1, en el área correspondiente a la progenie cultivada (Figura 2).

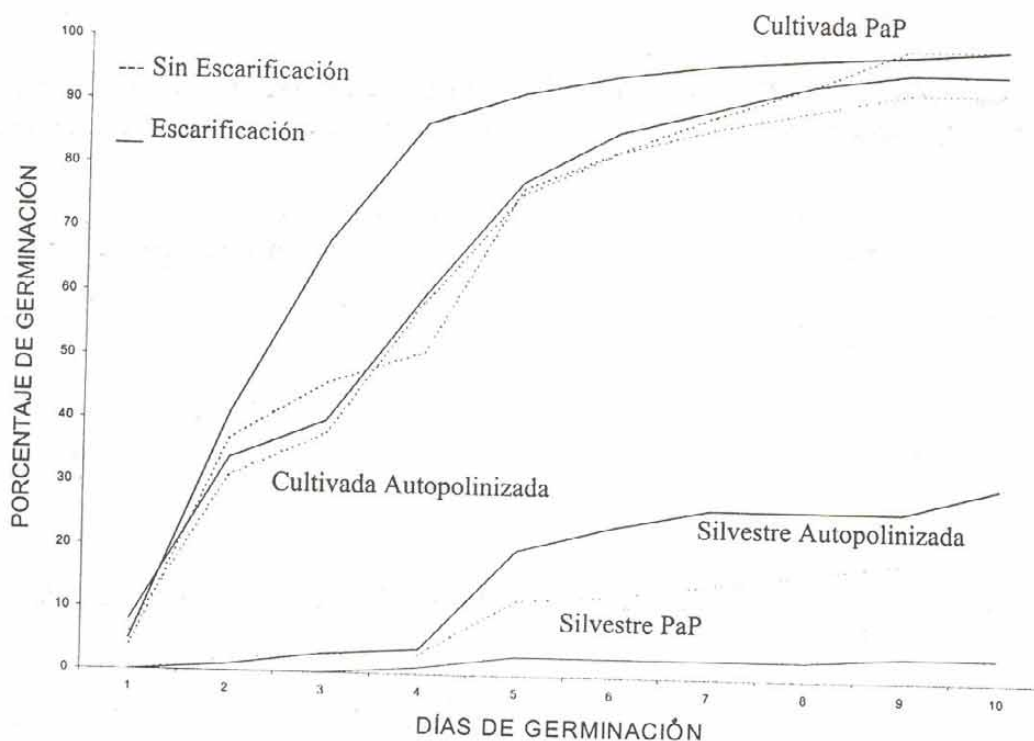


Figura 1. Germinación acumulada, durante el período de diez días, de semillas con y sin escarificación, obtenidas por autopolinización y polinización planta a planta (PaP) en *Tagetes erecta* cultivada y silvestre.

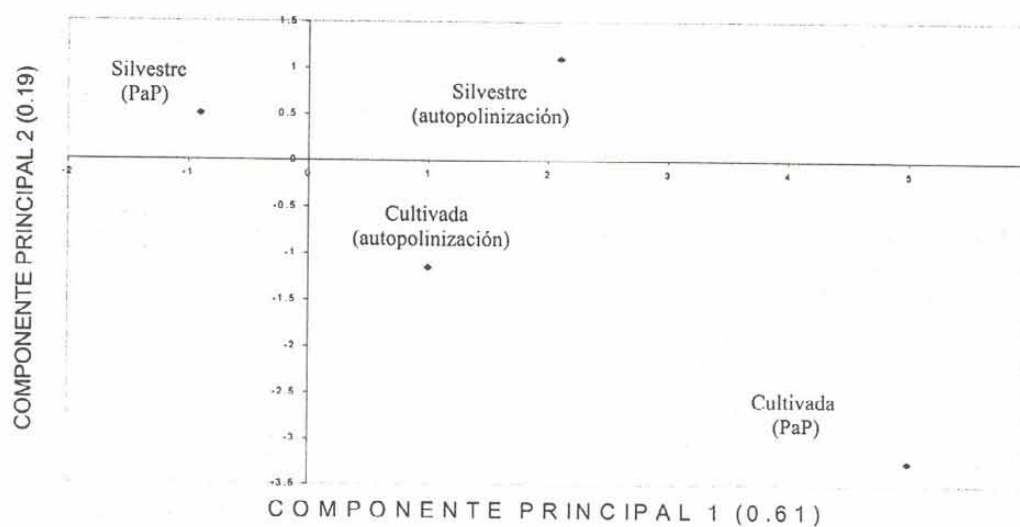


Figura 2. Dispersión de dos progenies de *Tagetes erecta* (cultivada y silvestre) obtenidas por polinizaciones intrapoblacionales mediante el análisis de componentes principales. El plano está determinado por los primeros componentes principales (cp); cp1: ancho de involucre, diámetro del capítulo y flores por capítulo, y el cp2: longitud de involucre y flores liguladas por capítulo. En el paréntesis se indica la proporción de la varianza explicada por cada componente.

Cuadro 3. Características florales (media y desviación estándar) en progenies de *Tagetes*, originadas de polinización intrapoblacional: autofecundación (⊗) y polinización planta a planta (PaP).

Origen de la progenie	Flores por capítulo	Flores liguladas	Diámetro (cm) del capítulo	Involucro (cm)		Semilla (cm)		Arista (cm)	
				Anchura	Longitud	Anchura	Longitud	Corta	Larga
Silvestre ⊗	77.0 a <sup>†</sup>	7.3 a	3.16 a	0.78 a	2.10 a	0.13 a	0.82 a	0.52 a	1.02 a
Silvestre PaP	33.8 b	5.0 b	2.33 b	0.43 b	1.93 b	0.10 b	0.74 b	0.43 b	0.88 b
DSH (5%):	9.0	0.4	0.24	0.07	0.12	0.01	0.05	0.04	0.09
Cultivada ⊗	184.0 b	8.0 b	3.94 b	0.96 b	1.80 a	0.10 b	0.80 b	0.45 b	0.50 b
Cultivada PaP	340.0 a	10.0 a	4.02 a	1.38 a	1.70 a	0.11 a	0.90 a	0.54 a	1.00 a
DSH (5%):	60.9	1.0	0.30	0.15	0.11	0.01	0.05	0.06	0.09

<sup>†</sup> Dentro de columnas, valores con la misma letra no son significativamente diferentes.

## DISCUSIÓN

El bajo desarrollo de semillas de la población silvestre autopolinizada, opuesto a la mayor formación de semilla por polinización cruzada, indica que posiblemente existe algún grado de incompatibilidad de esta población, y a la vez, destaca la importancia que tiene la alogamia como valor adaptativo bajo condiciones naturales, como lo ha señalado Strother (1977).

La mayor producción de semillas originadas por autopolinización en la población cultivada, sobre la nula o escasa formación de semillas en la población silvestre, indica que durante el proceso de domesticación de *T. erecta*, el carácter silvestre de incompatibilidad cambió a mayor grado de compatibilidad. Serrato (1994)

ha referido gradientes de autocompatibilidad en *T. erecta* cultivada, tipo margarita, no mayores al 50%, lo que sumado a la producción de semillas obtenida por autofecundación de la población cultivada (74%), menor que lo obtenido mediante polinización abierta (93%), se toma como evidencia de la antigua naturaleza silvestre de esta población. Los resultados de Serrato *et al.* (1998) sobre la formación de semillas, tanto del cruzamiento entre las poblaciones cultivada y silvestre de *T. erecta* como su ocurrencia en la progenie, complementan lo comentado líneas atrás.

La alta producción de semillas en las progenies domesticadas, obtenidas por autopolinización o por polinización cruzada, es una respuesta que puede indicar que el antiguo carácter de



autoincompatibilidad, ya no es vital como mecanismo de generación de variabilidad genética, ya que el hábitat natural de *T. erecta*, donde era indispensable la variación genética, se reemplazó por un ambiente de domesticación más homogéneo.

Si se considera que el proceso de evolución conduce a cambios genéticos, de lo silvestre a lo domesticado, entonces el silvestre autoincompatible (17% de semilla formada) avanzó en cuatro veces el grado de compatibilidad para adoptar la condición domesticada (74% de semilla formada). El cambio de alogamia al de autogamia se considera un efecto de la domesticación en plantas (Schwanitz, 1966; Simmonds, 1976; Hawkes, 1983; Zohary y Hopf, 1993)

La inducción de la autopolinización en la población silvestre, se plantea, representó una presión de selección de gametos con el carácter compatible, considerando que la autoincompatibilidad puede ser de origen esporofítico de acuerdo con Nettancourt (1977). De esta manera, las semillas originadas de autopolinización teóricamente tendrían genotipo distinto que semillas obtenidas por polinización cruzada. En este sentido, la escasa germinación de semillas originadas por polinización cruzada y el aumento de germinación con la autopolinización, pueden considerarse indicadores de que las progenies son genéticamente diferentes. El fenómeno de latencia, que limita la rápida germinación (Naylor, 1983), es característico de semillas de origen silvestre y por lo tanto, de naturaleza genética, entre otras causas.

Considerando la ausencia de aislamiento reproductivo entre las poblaciones silvestre y cultivada de *T. erecta* (Serrato *et al.*, 1998) y el resultado de la alta germinación de semillas en la población cultivada, originadas por ambos tipos de polinización, permiten sugerir que la germinación rápida fue de los cambios ocurridos con la domesticación, como se ha señalado para

otras plantas (Hawkes, 1983). En el paso del carácter silvestre de latencia, mantenida por la polinización cruzada (alogamia), como ocurre en la naturaleza, a otro de alta germinación como el que presentó la población cultivada, se propone que la autopolinización fue un mecanismo importante que dispuso cambio genético en beneficio de la capacidad de germinación, consideración fundamentada en el incremento de la germinación en semillas silvestres obtenidas por autopolinización (Cuadro 2). La germinación rápida en ambientes de domesticación, por ejemplo, en suelo con disponibilidad de humedad y sin maleza, pudo representar un valor adaptativo superior a la germinación tardía de semillas con latencia. A su vez, ello pudo predisponer la permanencia de plántulas en el terreno y su último desarrollo hasta la madurez. El estudio de la germinación de semillas en varios ciclos de autopolinización y con selección hacia las de rápida germinación (latencia nula), podría aportar más evidencia sobre la domesticación de ese carácter, tal como se ha planteado para lenteja (Ladizinsky, 1986).

En la población silvestre, la autopolinización no sólo tuvo efecto significativo sobre el aumento de la germinación en la progenie, sino que la expresión floral de ésta, en número y dimensión, también aumentó. Esta respuesta, comparada con la baja expresión floral de plantas obtenidas de polinización planta a planta, provenientes de semillas con baja germinación, como ocurre en forma natural, confirma que con la autopolinización se provocó cambio genético.

Una explicación plausible sobre la alta expresión floral de la progenie silvestre producida por autopolinización, consistiría en que si la selección de gametos masculinos con genes de compatibilidad posibilitan la formación de semillas, entonces también se portarían genes que probablemente en condición homocigótica (y con la posible eliminación de genes deletéreos) causarían la alta expresión fenotípica. Lo planteado no se ajusta al efecto esperado de la



autofecundación en alógamas y por lo mismo, requiere esclarecimiento.

La cantidad de flores por capítulo y de lígulas, entre otras características florales de la progenie silvestre obtenida por autopolinización, sobrepasó la morfología típica de la población silvestre representada por las características florales de la progenie obtenida de la polinización planta a planta (Cuadro 3), tal como se ha observado en otras poblaciones de *Tagetes* (Serrato *et al.*, 1998) y en diversas especies (Hawkes, 1983; Zohary y Hopf, 1993). Tal resultado significa un importante avance en la evolución hacia alta expresión floral como efecto de la autopolinización; lo que se constata con la ubicación que tuvo la progenie silvestre obtenida por autopolinización dentro de la categoría de planta domesticada, de acuerdo al análisis multivariado.

El agrandamiento de la parte de la planta de interés antropocéntrico, se considera uno de los efectos directos de la selección bajo domesticación (Zohary y Hopf, 1993). En este contexto, los resultados obtenidos para la progenie silvestre derivada de autopolinización, permiten suponer que un mayor tamaño de inflorescencia, en este caso conferido por la mayor anchura de involucro, número de flores por capítulo, diámetro de capítulo y más flores liguladas, correspondientes a plantas originadas de semillas con rápida germinación, predispuso su selección. En este modelo hipotético de la domesticación, se esperaría que los atributos florales de alta expresión, una vez seleccionada la parte de interés (inflorescencia), se debieron mantener mediante la formación de semilla.

La formación de semillas de la población silvestre, cercana a 20%, tanto por autopolinización natural (segundo ciclo de autopolinización, S2) como por autopolinización inicial inducida (S1), indica que el carácter de compatibilidad es heredable (Nettancourt, 1977).

Con relación a la mayor producción de semilla en la progenie silvestre obtenida por autofecundación, sobre la pobre formación de semillas en la progenie obtenida por polinización planta a planta, fue un resultado que también se presentó en progenies de *T. erecta* de la población cultivada (autopolinización 62% y polinización PaP 32%), lo que significaría cierto remanente silvestre en este material. La baja producción de semillas por autofecundación natural en la progenie silvestre o en la cultivada, las predispone a la polinización cruzada mediante insectos (Strother, 1977), especialmente en la silvestre en la que se evidenció mayor incompatibilidad. La continuación de posteriores ciclos de autopolinización natural en la población silvestre, comprobaría si el porcentaje de semillas formadas va en aumento, y por lo tanto, también la autocompatibilidad.

La tendencia poco definida de la formación de semillas en las poblaciones, con relación a sus progenies, por efecto de los dos tipos de polinización, sugiere que la herencia de la compatibilidad o incompatibilidad es compleja como lo señala Nettancourt (1977). Las evidencias conforman antecedentes importantes para su futuro esclarecimiento.

## CONCLUSIONES

Atendiendo al indicador formación de semillas por cruzamiento intraespecífico en *T. erecta*, la población silvestre es alógama, pero la cultivada, además de alógama también se comporta como autógama; este origen reproductivo no modifica la morfología floral de estas poblaciones.

La alogamia en las poblaciones silvestre y cultivada se asocia, en forma respectiva, con baja y alta capacidad de germinación de las semillas producidas.

La autogamia inducida en la población silvestre posibilitó la formación de semillas que

aumentaron su germinación y desarrollaron descendencias con mayor expresión floral y fertilidad.

Las evidencias encontradas en el presente trabajo pueden relacionarse con posibles causas y cambios en la domesticación de *T. erecta* cultivada a partir de silvestre.

## BIBLIOGRAFÍA

- Códice Florentino. 1980. Edición facsimil del manuscrito 218-20 de la Colección Palatina de la Biblioteca Medicea Laurenziana. 3 tomos, Gobierno de la República Mexicana.
- Harlan, J. R. 1975. Crops and Man. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. 295 pp.
- Hawkes, R. J. 1983. The Diversity of Crop Plants. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, USA. 184 p.
- Ladizinsky, G. 1986. Pulse domestication before cultivation. Econ. Bot. 41(1):60-65.
- Naylor, J. M. 1983. Studies on the genetic control of some physiology processes in seeds. Can. J. Bot. 61:3561-3567.
- Neher, R. T. 1966. Monograph of the genus *Tagetes* (Compositae). Ph. D. Thesis. Indiana University. Bloomington, Indiana. USA. 306 p.
- Nettancourt, D., de. 1977. Incompatibility in Angiosperms. Springer-Verlag, Berlin. 230 p.
- SAS Institute. 1986. SAS User's Guide. SAS Institute Inc. Raleigh, N.C.
- Schwanitz, F. 1966. The Origin of Cultivated Plants. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, USA. 175 p.
- Serrato C., M. A. 1994. Variabilidad de la autoincompatibilidad en *Tagetes erecta* L. In: Memorias del 11° Congreso Latinoamericano de Genética y XV Congreso de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética, Chapingo, México. 272 p.
- Serrato C., M. A. y L. Quijano A. 1994. Usos de algunas especies de *Tagetes*. Revisión Bibliográfica (1984-1992). In: Memorias del I Simposium Internacional y II Reunión Nacional sobre Agricultura Sostenible. Importancia y Contribución de la Agricultura Tradicional, CEICADAR, Puebla. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, México. 228-238 p.
- Serrato C., M. A., S. Miranda C., A. García V. y F. Castillo G. 1998. Aislamiento reproductivo en plantas de cempoalxóchitl (*Tagetes* spp). Rev. Fitotecnía Mexicana 21:127-138.
- Simmonds, N. W. 1976. Evolution of Crop Plants. Longman Inc., New York. USA. 339 p.
- Strother, J. L. 1977. Tageteae-systematic review. In: V. H. Heywood, J. B. Harborne, and B. O. Turner (Eds.), The Biology and Chemistry of the Compositae. Academic Press, New York. USA. 769-783 p.
- Zohary, D., and Hopf, M. 1993. Domestication of Plants in the Old World. Oxford University Press. New York. USA. 278 p.