

EL PROBLEMA DE LA AUTOPOLINIZACIÓN EN *PROSOPIS TAMARUGO* PHIL (MIMOSACEAE)

*The problem of self-pollination in Prosopis tamarugo Phil
(Mimosaceae)*

RODRIGO VILLASEÑOR*, E. CHIAPPA*, R. COVARRUBIAS** Y H. TORO***

*Fac. Ciencias Universidad de Playa Ancha, CC 34-V, Valparaíso, Chile

**Dpto. de Biología, Universidad Metropolitana, CC 147, Santiago, Chile

***Laboratorio de Zooloía. Univ. Católica de Valparaíso, CC 4059, Valparaíso, Chile

RESUMEN

Se presenta información sobre la autopolinización de *Prosopis tamarugo* Phil, especie que crece en el desierto de Atacama, en el norte de Chile. Las experiencias se llevaron a cabo en años consecutivos, embolsando inflorescencias y colectando frutos. Los resultados muestran un cierto grado de autocompatibilidad y de autopolinización de esta especie.

SUMMARY

Information about selfpollination in *Prosopis tamarugo* Phil. that grows in Atacama desert of northern Chile is presented. Experiences were carried out in consecutive years, bagging inflorescences and recording the fruit set. These results point out certain degree of self-compatibility and self-pollination for this species.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de estrategias destinadas a permitir la polinización y producción de frutos en *Prosopis tamarugo* Phil. (tamarugo), en una zona altamente selectiva por extrema falta de humedad y tem-

peraturas elevadas como es el Desierto de Atacama en Chile, es de un alto interés, no sólo desde un punto de vista biológico, sino también, por la incidencia que puede tener en la explotación de este único recurso forrajero de la zona.

Considerando a la polinización entomófila como factor de primera importancia en la fecundación y producción de frutos de *Prosopis tamarugo*, es necesario comprender el rol que juegan las abejas nativas e introducidas en este sentido (Toro *et al.*, 1993), y también el papel de otros factores que intervienen en ellas.

Es de particular interés el estudio de la posibilidad de polinización cruzada, geitonogamia y autogamia. Además del grado de autocompatibilidad que pueda presentar esta especie, para permitir la fecundación una vez producidas éstas.

La producción de frutos en árboles autocompatibles puede ser una ventaja selectiva a plantas que viven en ecosistemas extremos, como es el de la Pampa del Tamarugal, en el Desierto de Atacama de Chile, en ausencia de polinizadores o cuando éstos son de corto recorrido y poco radio de acción.

La autocompatibilidad es un sistema que no ha sido muy estudiado en la Familia Mimosaceae. Sin embargo, de acuerdo a Kalin (1981) hay casos en que se ha podido establecer en las Tribus Araceae, Mimosaceae, Ingeae y probablemente en Parkiae. Esta autora discute sobre la posible autocompatibilidad de algunas Mimosáceas y de la información recopilada hasta esa fecha, muestra que el 66.66% de las 27 especies de Mimosáceas presentan este mecanismo. Además sostiene que las 4 especies arbóreas de *Prosopis* estudiadas presentan auto-incompatibilidad lo que concuerda con las observaciones hechas por Simpson en *Prosopis torquata* (en Solbrig y Cantino, 1975).

En Chile, *Prosopis tamarugo* ha sido estudiado particularmente desde el punto de vista de la utilización de sus frutos y follaje como alimento para ganado (Elgueta & Calderón, 1971; Habit *et al.*, 1981; Habit, 1985; Corfo, 1983).

Como problema biológico, es interesante hacer notar que *P. tamarugo*, en la Pampa del Tamarugal, presenta dos floraciones durante el año, una de «devareo» en los meses de Abril a Julio y otra principal de Septiembre a Octubre (Bobadilla *et al.*, 1987), fenómeno especialmente relevante para la investigación aquí planteada, ya que diferentes especies de insectos con conducta distinta se presentan en cada uno de los períodos de floración (Toro *et al.*, 1993) y pudieran por su comportamiento, favorecer la autogamia o la geitonogamia.

Al enfrentar el estudio de *P. tamarugo* en la Pampa del Tamarugal, se presenta el problema de definir y cuantificar las posibles autopolinización y autocompatibilidad

en la especie, con el objetivo de tener una visión de todos factores que intervienen en su polinización (Toro *et al.*, 1993) y que permiten una elevada producción de frutos para asegurar la supervivencia.

MATERIAL Y MÉTODO

Se realizaron dos experiencias en años consecutivos (1990-1992). En una primera oportunidad se colocaron 300 bolsas de 20cm x 40cm: 100 de papel, 100 de tejido de malla y 100 de género denso, repartiéndolas al azar en 10 árboles diferentes. El papel y el tejido denso se probaron para eliminar la posibilidad de llegada de polen desde el aire, así como de insectos pequeños. La malla se probó para permitir dichos factores.

Se escogieron ramas libres con inflorescencias sin corolas abiertas y se introdujeron en las bolsas amarrando éstas firmemente con cordel, para aislarlos. Se tuvo la precaución de rociar las ramas con insecticida en spray para matar los insectos que pudieran haber quedado sin ser observados.

Las bolsas se dejaron durante el período de floración y fructificación (Octubre-Enero), luego se cortó la rama sin sacarla de la bolsa y, posteriormente, se analizó su contenido en laboratorio.

En una segunda oportunidad se hicieron las siguientes modificaciones:

- se puso 150 bolsas sólo de género denso,
- se colocó, al amarrarlas, una huincha de espuma plástica de manera que el cierre con el cordel quedara más hermético, sin dañar la rama,

- se seleccionaron ramas con inflorescencias en tres estados de desarrollo, fácilmente diferenciables (Villaseñor *et al.*, 1994), de modo que: se puso 50 bolsas en estado de botón joven, 50 bolsas en estado de flor cerrada, con estigma expuesto y 50 en estado de flor abierta.

Los caracteres analizados en esta segunda vez fueron los siguientes, para cada bolsa:

1. rama con hojas
2. rama seca
3. muchas flores abiertas sueltas
4. pocas flores abiertas
5. muchos botones
6. pocos botones
7. botones atacados por insectos
8. muchas hojas secas
9. estambres sueltos
10. flores con estambres
11. flores fecundadas
12. frutos de tamaño muy pequeño (< 1. 5cm)
13. frutos pequeños (1. 6-2. 5cm)
14. frutos medianos (2. 6-3. 5cm)
15. frutos grandes (>3. 6cm)
17. con yemas de inflorescencias secas

19. frutos atacados por Bruchidae
20. frutos atacados por Lepidoptera
21. presencia de insectos
22. presencia de arácnidos
23. frutos maduros
24. frutos verdes
25. no hay botones

Estos caracteres se analizaron estadísticamente, aplicando análisis de varianza de uno y dos criterios, dependiendo de los caracteres estudiados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La primera experiencia realizada entre los meses de Octubre de 1990 a Enero de 1991, fue de tipo prospectivo para determinar la cantidad y el material de las bolsas, que podían rendir mejores resultados en relación a probar la incidencia de la autocompatibilidad.

De las 300 bolsas colocadas se rescataron 144: 37 de papel, 42 de género y 65 de malla. De éstas, se encontraron frutos en 10 bolsas de papel, 25 de género y 46 de malla, lo que corresponde a un promedio general de 56,25 % (Tabla 1).

Tabla 1. Número de bolsas rescatadas y con frutos al final de la experiencia.

	Nº de bolsas Rescatadas			Nº de bolsas con frutos			porcentajes		
	papel	género	malla	papel	género	malla	papel	género	malla
Rango	0-11	1-6	3-20	0-6	0-3	0-8	0-75	0-75	0-100
Suma	37	42	65	10	25	46	27	27	71
Media	2	2	4	1	1	3	9	9	71
STD	3. 65	1	2	1	1	2	20	20	31

La mayor cantidad de bolsas que contenían frutos eran de malla, sin embargo la mayor cantidad de frutos se encontraron en las de género (Tabla 2).

Los inconvenientes que presentaron las bolsas de papel fueron los siguientes:

- alteración del microambiente dentro de la bolsa, por aumento de temperatura, disminución de la humedad y poca cantidad de luz, en esas condiciones casi todas las ramas se secaron,

- fueron alcanzadas por el ganado caprino, que las consumía con facilidad,

- algunos insectos las podían romper con las mandíbulas y penetrar en ellas,

- al resecarse, eran susceptibles de romperse con las ráfagas de viento.

Las bolsas de malla eran muy frágiles en árboles con espinas y presentaron problemas, como dejar el paso a insectos pequeños (trips por ejemplo), que podrían influir en la polinización. El pequeño por-

centaje de polen arrastrado por el viento también podría incidir en la fecundación de las flores.

De los resultados de la primera experiencia con ramas aisladas, se hizo un análisis de varianza de un criterio entre las bolsas de malla y de género, ya que cualitativamente se desecharon las bolsas de papel por los problemas señalados anteriormente y por el alto porcentaje de pérdida de esas bolsas. Este análisis dio como resultado que no existe una diferencia significativa en el número de bolsas con frutos confeccionadas en malla o género ($F= 3.988$; $P=0.0544$) (Tabla 1).

Se hizo una ANOVA de dos criterios entre las bolsas de malla y género y el número de frutos por tamaño (F de tamaño de frutos = 0.74; $P= 3.09$, F de tipos de bolsas = 0.09; $P=3.94$, F interacción = 0.28; $P= 3.09$) (Tabla 2). El tamaño de frutos muy pequeño no se incluyó en el análisis, ya que eran muy pocas las bolsas que presentaban este tipo de frutos.

Tabla 2. Tamaños de frutos número de frutos con distintos tamaños (Carácter 12-13-14-15)

	Carácter 12			Carácter 13		
	0 - 1	0 - 1	0 - 3	0 - 13	0 - 28	0 - 15
Rango	0 - 1	0 - 1	0 - 3	0 - 13	0 - 28	0 - 15
Suma	1.00	3.00	6.00	21.00	50.00	74.00
Media	0.06	0.18	0.35	1.24	2.94	4.35
STD	0.24	0.38	0.84	3.15	6.63	4.80

	Carácter 14			Carácter 15		
	0 - 14	0 - 22	0 - 34	0 - 3	0 - 45	0 - 26
Rango	0 - 14	0 - 22	0 - 34	0 - 3	0 - 45	0 - 26
Suma	14.00	119.00	95.00	5.00	112.00	83.00
Media	0.82	7.00	5.59	0.29	6.59	4.88
STD	3.29	13.00	9.08	0.82	11.62	7.40

12= < 1.5 cm; 13= 1.6-2.5 cm; 14= 2.6-3.5 cm; 15= > 3.6 cm.

El resultado de este análisis nos indica que no hay diferencias significativas entre los dos tipos de bolsas (género o malla), y tampoco, en el número de los 3 tamaños de frutos considerados (pequeño, mediano y grande). Lo anterior es especialmente importante ya que indica que no hay un efecto polinizador del viento ni de pequeños insectos que pudieran actuar en bolsas de malla.

Además, su interacción es no significativa, por lo que podemos decir que ambos factores son independientes, ya que existen frutos de 3 tamaños que están distribuidos indistintamente en los 3 tipos de bolsas. Por tanto, desde el punto de vista cuantitativo se puede escoger entre los dos materiales para confeccionar las bolsas.

Se eligió como solución óptima para las observaciones de autopolinización a la bolsa de género, por ser más resistente a los daños mecánicos, especialmente ruptura, que provocan las espinas y las ramas rígidas de los árboles.

Para la última experiencia se reconocieron tres estados florales en el tamarugo:

- **estado I de botón**, en que la corola encierra a todas las piezas florales

- **estado II de flor cerrada**, en que la corola cerrada permite sólo la salida del estilo, exponiendo al estigma, y

- **estado III, de flor abierta**, en que la corola está abierta y se exponen todos los órganos de la flor.

El número de bolsas recuperadas por estado floral y aquellas con frutos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Número de bolsas recuperadas y con frutos

	N° bolsas recuperadas			c/frutos			% frutos obtenidos		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Rango	2-5	0-5	1-5	2-4	0-4	1-5	40-100	0-80	60-100
Suma	49	49	49	33	26	42	67	53	86
Media	4	4	4	3	2	4	70	49	86
SDT	0.99	1.44	1.16	0.85	1.55	1.19	19.6	31.9	13.5

Se encontraron frutos en el 70% de las bolsas con botones, en el 86 % de bolsas de flores abiertas y sólo en el 49% de bolsas de flores cerradas. Esto nos puede mostrar que las flores en botón maduran dentro de la bolsa, son polinizadas y fe-

cundadas allí, lo que no podemos asegurar del estado de flor abierta, ya que la polinización podía haberse llevado a cabo en este estado o en el anterior de flor cerrada (Villaseñor *et al.*, 1993).

Se realizó un análisis de varianza para estos datos el que muestra que son muy significativas las diferencias entre los números de bolsas con frutos a partir de los 3 estados, lo que reafirma lo antes expuesto ($F= 31.387$; $P=4.420E-0.8$).

En la Tabla 4 se muestran los caracteres referidos al número de bolsas que

tienen flores abiertas y secas. El 87.8% de las bolsas llegó a tener flores abiertas (en su fondo), lo que prueba que no hubo, o hubo muy poco, un «efecto bolsa» en la producción de frutos, ya que siguió la maduración normal de las flores dentro de ella.

Tabla 4. Caracteres de las flores en bolsas (Caracter 3-4-9-10-11)

Estado	Caracter 3			Caracter 4			Caracter 5		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Rango	2-5	0-5	0-5	0-2	0-4	0-5	1-6	0-5	0-6
Suma	39	30	28	4	14	14	39	42	32
Media	4	3	3	1	1	1	4	4	3
STD	0.99	1.48	1.56	0.64	1.42	1.71	1.44	1.64	1.98

Estado	Caracter 10			Caracter 11		
	I	Ii	Iii	I	Ii	Iii
Rango	1-5	0-4	0-1	0-2	0-4	0-3
Suma	11	12	1	5	12	13
Media	1	2	0	1	1	1
Dst	1.71	1.38	0.29	0.70	1.16	1.20

Independientemente del hecho de que las bolsas encerraban botones, flores cerradas o flores abiertas, el número de bolsas en que se encontraron flores secas es sensiblemente parecido (ANOVA: $F=0.068$; $P=0.9342$). Sin embargo, como un gran porcentaje lo hizo a partir del botón, podemos indicarla como una experiencia que puede determinar un buen grado de autopolinización y autocompatibilidad en

P. tamarugo. Esto lo podemos apoyar con los datos del caracter 11 de la misma tabla, que indica la cantidad de flores fecundadas sin desarrollo que se encontraron en las bolsas. Esto puede confirmar la idea que, en estas condiciones, las flores de cualquier estado tienen posibilidades de llegar a ser fecundadas y eventualmente producir frutos.

Apoyando lo anterior, la Tabla 5 muestra, cuantitativamente, que en general se encontraron pocos botones secos dentro

de las muestras, lo que indica que en la mayoría de las bolsas las flores llegaron a su madurez.

Tabla 5. Caracteres de los botones en bolsas (Caracter 5-6-7-17-25)

		Caracter 5			Caracter 6					
Estado		I	II	III	I	II	III			
Rango		0-2	0-1	0-1	0-5	0-5	0-5			
Suma		2	1	1	13	16	16			
Media		2	0	0	1	1	1			
DST		0.29	0.29	0.29	1.99	1.83	1.88			

		Caracter 7			Caracter 17			Caracter 25		
Estado		I	II	III	I	II	III	I	II	III
Rango		0-2	0-3	0-4	0-3	0-3	0-4	0-5	0-5	0-5
Suma		5	14	16	13	14	13	25	21	19
Media		1	1	1	1	1	1	2	2	2
DST		0.66	1.14	1.5	1.27	1.21	1.75	1.54	2.02	1.91

Es interesante hacer notar que el caracter 7 (número de botones atacados por insectos) es mayor en los estados II y III que en el I, demostrando que el sistema de aislamiento y desinfección fue bueno, ya que indica que estos ya presentaban la característica antes de hacer el experimento (Tabla 5).

Además, como caracter adicional se contaron el número de artrópodos que

aparecieron en las bolsas (caracteres 19-22) que indica que el ataque fue muy bajo y que no hay diferencias entre los 3 tipos de estados (Tabla 6). El número de ataque de brúquidos y polillas fue muy bajo respecto al total de las bolsas, lo que confirma la buena desinfección de las ramas en la experiencia aunque no suficiente para eliminar insectos que probablemente estaban protegidos dentro de los tejidos vegetales.

Tabla 6. Presencia de artrópodos en las bolsas (Caracter 19-20-21-22)

		Caracter 19			Caracter 20					
Estado		I	II	III	I	II	III			
Rango		0-2	0-2	0-1	0-2	0-2	0-3			
Suma		3	2	5	3	5	10			
Media		0.27	0.18	0.45	0.27	0.45	0.91			
DST		0.62	0.57	0.50	0.62	0.66	1.00			

		Caracter 21			Caracter 22					
Estado		I	II	III	I	II	III			
Rango		0-4	0-3	0-2	0-1	0-2	0-3			
Suma		12	7	7	3	9	3			
Media		1.09	0.64	0.64	0.27	0.82	0.27			
DST		1.16	0.98	0.88	0.45	0.94	0.86			

Según datos obtenidos por nosotros y publicados en otros trabajos (Toro *et al.*, 1993; Villaseñor *et al.*, 1993), la producción de frutos es bastante menor que la producción de flores en los tres estados (Tabla 7 y 8), lo que ha coincidido con otros autores (Solbrig y Cantino, 1975; Simpson *et al.*, 1977; Salvo, 1986).

Tabla 7- Promedio de frutos producidos por inflorescencias en *Prosopis tamarugo* (Toro *et al.*, 1993)

	4-X-90	5-I-91	25-VI-91
Media	7	6	13
DST	6	6	8
n	306	181	199

Tabla 8. Número de flores por inflorescencia en cada estado y de frutos verdes por inflorescencias en *Prosopis tamarugo*

	I	II	III	Nº Frutos
Media	81	81	53	12
DST	23	21	21	7
Rango	26-130	26-126	18-105	3-69
Suma	6752	6711	4516	1484
Nº Inflorescencia	80	80	80	80

Finalmente, se contó el número de frutos encontrados en cada bolsa a partir de cada estado floral, a su vez éstos se clasificaron en 4 tamaños (caracteres 12-15 en Tabla 7).

Si consideramos las tres inflorescencias por bolsa muestreadas, se habría tenido en promedio por bolsa: 243 botones florales, 243 flores estado II y 159 flores en estado III. Como se produjeron en promedio 12 frutos desde el estado de botón, 3 a partir del estado de flor cerrada y 7 frutos desde es estado de flor abierta, con media significativamente muy diferentes ($X_1=11.53$; $X_2=2.33$; $X_3=6.87$. $F=7.54$; $P=0.01$), se tendría una producción de frutos, en promedio, de 5%, 1.2% y 4.4% respectivamente en cada caso.

Como hemos estimado que en *P. tamarugo* se produce alrededor de un 15

% (en promedio) de frutos a partir de los estados florales más jóvenes (Tabla 8), los datos anteriores nos indican que se podría producir al menos un 20% del total de la polinización por autopolinización.

En cuanto a las medias de los tamaños de los frutos son también significativamente diferentes ($X_{12}=11.42$; $X_{13}=6.47$; $X_{14}=1.5$; $P=0.01$; $F=8.91$; $P=0.01$).

La mayor cantidad de frutos son muy pequeños o pequeños (Tabla 9), lo que puede indicar que a pesar de que existe una buena producción de frutos, especialmente desde los estados de botón, no hay un buen desarrollo de ellos, lo que se podría deber a que las bolsas se retiraron antes que los frutos crecieran, o que las condiciones microambientales de ellas no favorecieran su total desarrollo.

Tabla 9. Caracteres de frutos en bolsas
(Caracter 12-13-14-15)

	Caracter 12			Caracter 13		
	I	II	III	I	II	III
Rango	3-50	0-18	0-28	0-41	0-9	0-48
Suma	194	44	101	121	24	94
Media	19	4	10	12	2	9
DST	15. 11	5. 02	9. 13	11. 61	2. 73	13. 64

	Caracter 14			Caracter 15		
	I	II	III	I	II	III
Rango	0-11	0-1	0-5	0-2	0	0
Suma	31	2	11	3	0	0
Media	3. 10	0. 2	1. 1	0. 3	0	0
DST	3. 78	0. 4	1. 64	0. 64	0	0

12= < 1. 5 cm; 13= 1. 6-2. 5 cm; 14= 2. 6-3. 5 cm; 15= >3. 6 cm.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que existe un alto porcentaje de frutos obtenidos a partir de los tres estados florales, especialmente desde el estado de botón, esto se estima en alrededor de un 5% de producción de frutos a partir de los primeros estados florales; lo que indica que el aporte de la autogamia podría alcanzar alrededor del 20% del total de la polinización estimada para *Prosopis tamarugo*.

Además, las flores se desarrollan sin problema dentro de las bolsas y son susceptibles de ser polinizadas y fecundadas en ellas, produciendo frutos que generalmente no alcanzan un buen desarrollo.

Esto representaría la existencia de un cierto grado de autopolinización y autocompatibilidad en *Prosopis tamarugo*, mecanismo que puede ser muy importante para el buen éxito de una polinización autosuficiente, por contacto directo entre las flores de las inflorescencias o por insectos pequeños de poco radio de acción, que al visitar las inflorescencias trasladan

polen entre sus flores, y muy importante en el período de floración invernal (de devareo) cuando los polinizadores son más escasos.

Estudios genéticos de autocompatibilidad en el tamarugo serían necesarios para corroborar esta tesis.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la CONAF I Región por permitir la realización de los estudios en la Reserva Nacional «El Refresco» y al Ing. Agr. Sr. Hector Vargas por acoger a los investigadores en la casa que posee la U. de Tarapacá en dicha Reserva.

BIBLIOGRAFÍA

BOBADILLA, D., R. CORTÉS y H. VARGAS, 1987. Estudio de los insectos que atacan al tamarugo (*Prosopis tamarugo* Phil) y algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stuntz). Informe FAO-PNUD-UTA. Universidad de Tarapacá. 168pp.

- CORFO, 1983. Actividades forestales y ganaderas de la Pampa del Tamarugal 1963-1983. Tomo I. Aspectos Generales y Forestales.
- ELGUETA, H. y S. CALDERÓN, 1971. Estudio del tamarugo como productor de alimento del ganado lanar en la Pampa del Tamarugal. Informe Técnico N°38. Instituto Forestal de Chile. Santiago. 33pp.
- HABIT, M., D. CONTRERAS y R. H. GONZÁLEZ, 1981. *Prosopis tamarugo*: arbustos forrajero para zonas áridas. Estudio FAO. Producción y Protección vegetal N°25, 143 pp.
- HABIT, M., 1985. Contribución al conocimiento del árbol forrajero del desierto *Prosopis tamarugo* Phil. FAO, Santiago, 124 pp.
- KALIN, M. T., 1981. Breeding Systems and Pollination Biology in Leguminosae. In: Advances in Legume Systematics. Ed. : R. M. Polhill & P. H. Raven : 723-769.
- SOLBRIG, O. & PH. CANTINO, 1975. Reproductive adaptations in *Prosopis* (Leguminosae. Mimosoideae). Journal of the Arnold Arboretum 56 (2):185-210.
- TORO, H., E. CHIAPPA, R. COVARRUBIAS y R. VILLASEÑOR, 1992. Transporte de polen por *Apis mellifera* en la Pampa del Tamarugal. Acta Ent. Chilena 17: 95-99.
- TORO, H., E. CHIAPPA, R. COVARRUBIAS y R. VILLASEÑOR, 1993. Interrelaciones de polinización en zonas áridas de Chile. Acta Ent. Chilena, 18:20-30.
- VILLASEÑOR, R., H. TORO., E. CHIAPPA. y R. COVARRUBIAS, 1994. *Prosopis* del desierto chileno, morfología floral y selección sexual. Ann. Mus. Hist. Nat. Valparaíso 22: 2-9.

Trabajo financiado por Proyecto FONDECYT
n° 40/04/90