

CARACTERÍSTICAS ASOCIADAS CON RESISTENCIA AL DAÑO POR PÁJAROS EN GIRASOL

TRAITS ASSOCIATED WITH RESISTANCE TO BIRD DAMAGE IN SUNFLOWER

M. Humberto Reyes-Valdés^{1*} y Aliber Apolo Andrade Aguilar²

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Fitomejoramiento. Buenavista, C.P. 25315. Saltillo, Coah., México. Correo electrónico: mhreyes@uaaan.mx. ² Reco de Reynosa, S.A. de C.V. Hierón Ramírez 869, Colonia Rodríguez, Cd. Reynosa, Tamps. Correo electrónico: reco@acnet.net.

*Autor responsable

RESUMEN

Se evaluaron 10 híbridos experimentales de girasol (*Helianthus annuus* L.), una variedad de polinización libre y una línea en cuanto a su resistencia al ataque de pájaros y algunos caracteres morfológicos. El experimento se llevó al cabo en Saltillo, Coah., México en 1990, con el fin de identificar alguna posible variación genética en el girasol en cuanto a susceptibilidad al consumo de los achenios por las aves, así como su correlación con otros caracteres. Complementariamente, se desarrolló un método para medir la curvatura en los capítulos, por considerar a esta variable como asociada al daño por pájaros. Las especies principales de pájaros que se encontraron consumiendo achenios fueron *Passer domesticus* y *Carpodacus mexicanus*. Se detectaron diferencias significativas para daño por pájaros entre los materiales evaluados. Asimismo, se encontraron correlaciones estadísticamente significativas entre el porcentaje de área no consumida por aves y las variables curvatura de capítulo ($r = -0.673$), longitud de achenio ($r = 0.630$) y porcentaje de cáscara ($r = 0.741$). Los resultados de este trabajo indican que materiales con capítulos cóncavos o alto porcentaje de cáscara tienen muchas posibilidades de ser resistentes al daño por pájaros.

Palabras clave: *Helianthus annuus*, aves, forma de capítulo, porcentaje de cáscara.

SUMMARY

Ten sunflower (*Helianthus annuus* L.) experimental hybrids, an open-pollinated variety and an inbred line, were evaluated for their resistance to bird depredation and several morphological traits. The experiment was carried out in Saltillo, Coah., Mexico in 1990, to identify any possible genetic variation in the susceptibility of sunflowers to achene consumption by birds, as well as its correlation with other traits. Complementarily, a method was developed to measure the curvature of the heads, since this trait was considered associated to bird damage. The bird species found consuming achenes were mainly *Passer domesticus* and *Carpodacus mexicanus*. Significant differences in bird damage were detected among the evaluated materials. Furthermore, statistically significant correlations were detected between percentage of non-consumed area by birds and the variables head curvature ($r = -0.673$), achene length ($r = 0.630$), and hull percentage ($r = 0.741$). These results indicate that materials with concave heads or high hull percentage are very likely to be resistant to bird damage.

Index words: *Helianthus annuus* L., birds, head shape, hull percentage.

INTRODUCCIÓN

El girasol cultivado (*Helianthus annuus* L.), tiene importancia mundial en términos de producción de aceite para consumo humano, además de su uso ornamental y en la producción de confituras. Prácticamente todas las partes del mundo donde se siembra girasol para el aprovechamiento de sus achenios, tienen problemas de daño por pájaros. Las aves gustan de los achenios, a los que eliminan la cáscara para ingerir la almendra, o bien consumen el fruto completo. Continuamente se buscan estrategias para evitar las pérdidas así originadas; sin embargo, muchos de los métodos resultan costosos y no han sido aceptados por los productores. Dentro de las investigaciones concurrentes a conocer este fenómeno y a tratar de controlarlo, se encuentra el estudio de las características de la planta que podrían conferirle cierto grado de resistencia genética al ataque de pájaros.

Este trabajo tuvo como objetivo estudiar la relación entre algunas características de la planta y la magnitud del daño por pájaros en diferentes materiales genéticos, bajo la hipótesis de que existe preferencia de las aves por ciertos tipos de planta y de que algunas características morfológicas podrían proteger en cierto grado al girasol de este daño. De esta forma se busca contribuir al entendimiento de la relación planta-depredador, y al conocimiento de los caracteres que deberán tenerse en cuenta en un programa de mejoramiento de girasol para incrementar la resistencia genética al ataque de pájaros. Aunque se han realizado ya varios estudios al respecto, la información sobre la interacción entre materiales de girasol y las aves es casi nula en el ámbito nacional, no obstante la importancia de conocer dicha interacción en el contexto de nuestra fauna ornitológica.

REVISIÓN DE LITERATURA

La pérdida de aquenios en los capítulos de girasol, como consecuencia del ataque de pájaros, causa disminuciones cuantiosas en algunos lugares del mundo (Parfitt, 1984; Reyes *et al.*, 1992). En las grandes planicies de Canadá y del norte de los Estados Unidos se observan pérdidas significativas debido a la incidencia de los tordos (*Agelaius phoeniceus* y *Xanthocephalus xanthocephalus*) (Parfitt y Fox, 1986). Linz y Hanzel (1997) reportaron que las pérdidas anuales en los Estados Unidos debidas a pájaros exceden los dos millones de dólares. En México, Reyes *et al.* (1992) realizaron un experimento en Saltillo, Coah., donde observaron que las especies que más atacaron al girasol fueron el chilero (*Passer domesticus*) y el gorrión (*Carpodacus mexicanus*), y registraron un promedio de 52 % de área consumida en los capítulos del material genético evaluado.

Una estrategia posible para reducir el daño por pájaros es el desarrollo de variedades con resistencia, para lo cual se requiere la presencia de variación genética en este carácter. Al respecto, Parfitt y Fox (1986) reportaron una heredabilidad de 67 % para el daño por pájaros, en un estudio realizado con cruzamientos de girasol. Adicionalmente, se ha encontrado que la línea experimental BRS-1 (desarrollada en la Universidad Estatal de North Dakota, Estados Unidos) y la variedad Neagra de Cluj (NdC), presentan menores niveles de daño de pájaros, comparadas con las variedades comerciales para producción de aceite (Dolbeer *et al.*, 1986; Bullard *et al.*, 1989; Mason *et al.*, 1989). Por otro lado, Reyes *et al.* (1992) no encontraron variación genética para resistencia al ataque de pájaros en un estudio realizado con familias de medios hermanos derivadas de la población Tamaulipas Selección para Alto Rendimiento, ciclo 3 (TSARc3).

En cuanto a los caracteres de planta asociados con la resistencia al ataque de pájaros, Deodikar *et al.* (1978) reportaron que el daño se presenta con mayor grado en plantas con brácteas cortas. Parfitt (1984) y Mah y Nuechterlein (1990) coinciden en señalar que los capítulos cóncavos disminuyen el grado de consumo por el tordo (*Agelaius phoeniceus*). Estos autores encontraron además que, para los tordos, el daño estuvo correlacionado positivamente con peso de semilla y negativamente con cáscara. Bullard *et al.* (1989) evaluaron características bioquímicas y morfológicas en dos cultivares con diferente grado de preferencia por los tordos: Jacques Discovery (JD) (susceptible) y NdC (resistente); encontraron tres diferencias fundamentales entre dichos cultivares: (i) la variedad NdC tuvo significativamente más porcentaje de cáscara que JD; (ii) las antocianinas fueron sintetizadas solamente por NdC; y (iii) el cultivar JD

presentó mayor contenido de aceite. Cada una de las tres características puede desempeñar un papel importante en la baja preferencia de los tordos por la variedad NdC. Además, estos mismos autores sugieren que la preferencia exhibida por los tordos sobre el cultivar JD puede deberse a su mayor contenido de aceite.

En el Departamento de Ciencia de Cultivos y Malezas de la Universidad Estatal de Dakota del Norte, Estados Unidos, se han desarrollado variedades de girasol resistentes a pájaros (BRS). Las características morfológicas principales que se han postulado como responsables de su resistencia son: capítulos cóncavos e inclinados y aquenios con cáscaras fibrosas y gruesas (Mah y Nuechterlein, 1990), pero dichas características de aquenio comprometen la calidad agronómica de los materiales BRS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético y diseño experimental

El material genético utilizado en el presente estudio constó de diez híbridos experimentales proporcionados por la compañía Inter State, la variedad de polinización libre Navidad I, producida por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, y la línea experimental BRS-1 obtenida por la Universidad Estatal de Dakota del Norte, como parte de las investigaciones sobre ataque de pájaros en girasol.

Para la evaluación de los materiales, se utilizó un diseño en bloques completamente al azar con 12 tratamientos y dos repeticiones. Cada parcela estuvo constituida por cuatro surcos de 4 m, de los cuales los dos centrales formaron la parcela útil. Los capítulos de las plantas de un surco de la parcela útil fueron tapados con bolsas de papel al final de la floración, con la finalidad de que sirvieran como testigos sin exposición al daño de pájaros. El surco restante se dejó libre al ataque de las aves, para evaluar el daño. El estudio se realizó en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coah. en 1990. Esta localidad se ubica en las coordenadas 25° 21.4' de L. N. y 101° 02.4' de L.O., y a una altitud de 1737 m.

Variables evaluadas

Se cuantificaron las variables siguientes: 1) Días a floración (DF), número de días transcurridos desde la siembra hasta que 50 % de las plantas de la parcela llegaron a la fase de antesis. 2) Altura de la planta (AP), longitud vertical desde la superficie del suelo hasta el receptáculo del capítulo. 3) Distancia de capítulo (DC), distancia horizontal del pedúnculo del capítulo hasta la superficie

del tallo. 4) Inclinación de capítulo (IC), evaluación cuantitativa realizada por medio de un transportador expresamente fabricado para ello, y que varía de 0° en los capítulos con la superficie hacia arriba, hasta 180° en los capítulos totalmente inclinados. 5) Diámetro de capítulo (DCAP), tomado como el promedio de dos medidas cruzadas para cada capítulo. 6) Curvatura de capítulo (CAP), grado de concavidad o convexidad de los capítulos, evaluado cuantitativamente. 7) Rendimiento por planta (R), peso de los achenios cosechados en las parcelas testigo, dividido por el número de plantas. 8) Longitud de achenios (LA), promedio de la longitud de cien achenios por parcela. 9) Peso de 100 achenios (P100A), peso de una muestra aleatoria de 100 achenios por parcela. 10) Porcentaje de cáscara (PCAS), peso de la cascarrilla sobre el peso total en muestras de 100 achenios por parcela, y multiplicado por cien. 11) Porcentaje de área no consumida por pájaros (ANC), área de los capítulos consumida por pájaros dividida sobre el área total, restada de la unidad y multiplicada por 100.

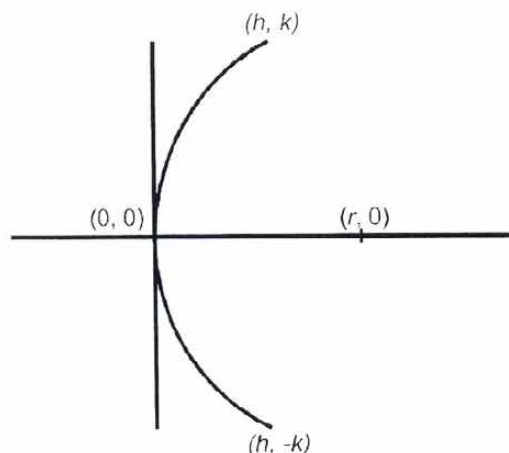


Figura 1. Representación de la sección longitudinal de un capítulo a lo largo de su eje central, en un sistema de coordenadas cartesianas. El símbolo h representa la profundidad si el capítulo es cóncavo, o la altura si el capítulo es convexo, k es el radio del disco, y r es el radio de curvatura. En este caso particular se representa a un capítulo convexo.

Curvatura de capítulo (CAP)

Se desarrolló una fórmula que describe la curvatura de la sección longitudinal central de los capítulos, con un signo negativo para los capítulos cóncavos, positivo para los convexos y cero para los planos. Sea k el radio del capítulo en vista superior y h su profundidad o altura, medida desde el nivel de las brácteas hasta el nivel de la superficie central del capítulo (Figura 1). Si el capítulo es cóncavo h tomará un valor negativo, si es convexo tomará

un valor positivo, y será igual a cero en los capítulos planos. Se supondrá que el corte del capítulo equivale a la sección de la superficie de una esfera de radio r . Se define a los vectores \mathbf{o} , \mathbf{a} y \mathbf{b} de la siguiente manera: $\mathbf{o} = (0, 0)$, $\mathbf{a} = (h, k)$ y $\mathbf{b} = (r, 0)$. Así, el vector \mathbf{b} debe cumplir con la siguiente igualdad:

$$\|\mathbf{b} - \mathbf{a}\| = \|\mathbf{b} - \mathbf{o}\| \\ = \|\mathbf{b}\|$$

Es decir,

$$r = \|(r - h - k)\| \\ = \left[(r - h)^2 + k^2 \right]^{1/2}$$

Despejando r de la ecuación anterior se obtiene el radio de curvatura:

$$r = \frac{h^2 + k^2}{2h}$$

Como puede verse, el signo de r será igual al signo de h . Finalmente, el cociente $1/r$, una medida de la curvatura c en un segmento de círculo de radio r (Salas y Hille, 1990) será la magnitud que se busca, y tomará un valor negativo en los capítulos cóncavos, cero en los planos y positivo en los convexos:

$$c = \frac{2h}{h^2 + k^2}$$

El procedimiento general para llevar al cabo esta medición se estableció como sigue: 1) Medir el diámetro del capítulo. Para ello se hacen dos mediciones perpendiculares y así obtener el promedio. La mitad de este promedio será designado con la letra k . 2) Medir la altura o profundidad del capítulo (h). Cuando el capítulo es cóncavo, colocarlo con los achenios hacia arriba y medir su profundidad central asignándole un signo negativo. Si es convexo, colocarlo con los achenios hacia abajo y medir la longitud vertical de la base de apoyo hacia la orilla del capítulo y a esta medida se le dará un signo positivo. 3) Aplicar la fórmula para obtener la curvatura c .

Porcentaje de área no consumida (ANC)

Esta variable se utilizó como una medida de la resistencia de las plantas al ataque de pájaros. Para ello se calcularon en acetatos las imágenes de las áreas de los capítulos consumidas por los pájaros. Estas imágenes fueron foto-

copiadas en papel y recortadas para medir su área. Esto se logró pesando los recortes en una balanza analítica y multiplicando los pesos por un factor para convertir a centímetros cuadrados. Se obtuvo un área consumida total para cada parcela, la cual se dividió por el área total de los capítulos, calculada a partir de sus diámetros. Finalmente, el porcentaje de área no consumida se calculó como $ANC = 100 [1 - \text{área consumida}/\text{área total}]$.

Porcentaje de cáscara (PCAS)

Para ello se determinó el peso total de 100 aquenios por parcela. Posteriormente se removió la cascarilla en forma manual y se obtuvo el peso de la misma. La medida final se obtuvo como: $PCAS = 100 (\text{peso de cáscara}/\text{peso total})$.

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos consistieron en i) análisis de varianza para cada una de las variables utilizadas; ii) estimación de coeficientes de correlación entre cada par de variables, con base en medias de variedades; y iii) análisis de senderos sobre un modelo que tiene como variable de respuesta al porcentaje de área no consumida y como variables causales las tres que, además de tener una base teórica de impacto sobre la resistencia al ataque de pájaros, mostraron correlación significativa con ésta. Los análisis de varianza y correlación se llevaron al cabo en el paquete SAS. Por lo que respecta al análisis de senderos, éste se llevó a cabo de acuerdo con los principios establecidos por Wright (1934) y a los métodos descritos por Kempthorne (1969) y Reyes y Benavides (1993). Para la ejecución de los cálculos se elaboró un programa en el lenguaje Mathematica (Wolfram, 1988). Las variables porcentaje de cáscara y porcentaje de área no consumida, fueron transformados con $\text{ArcSen} \sqrt{X/100}$ previamente a cada uno de los análisis, con el fin de cumplir con los supuestos del análisis de varianza (Steel y Torrie, 1960).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las principales especies de aves que se encontraron consumiendo semillas de girasol fueron el chilero (*Passer domesticus*) y el gorrión (*Carpodacus mexicanus*), al igual que lo reportado anteriormente por Reyes *et al.* (1992). Se observó que estas especies consumen solamente la almendra de los aquenios, tras eliminar la cáscara con el pico. El daño promedio de los materiales fue de 5.5 % con base en el área de los capítulos; el máximo observado por material fue de 11.9 % y el mínimo de 0.7 %.

En el Cuadro 1 se muestran los resultados de los análisis de varianza para cada una de las variables estudiadas. Para el factor tratamientos, que en este caso se refiere a los materiales genéticos utilizados, se observaron diferencias altamente significativas para el carácter curvatura de capítulo y longitud de aquenio, así como diferencias significativas para rendimiento por planta, porcentaje de cáscara y porcentaje de área no consumida. En concordancia con lo reportado por Parfitt y Fox (1986), esto último indica que existen diferencias genéticas entre las variedades estudiadas en cuanto a su resistencia al ataque de pájaros. Por lo que respecta a la variable curvatura de capítulo, los resultados indican que los materiales tienen diferencias genéticas en lo que se refiere a la forma del capítulo. Es pertinente aclarar que dicha variable no tuvo una distribución normal, aún con la aplicación de transformaciones; sin embargo, como afirman Steel y Torrie (1960), la experiencia indica que para la mayoría de los datos biológicos los disturbios en las pruebas, resultantes de la falla en la suposición de normalidad, son usualmente poco importantes.

En el Cuadro 2 se muestran los valores medios para cada variable en cada una de las variedades, en orden ascendente con respecto al área no consumida. El híbrido 72004 de la Inter State mostró la más alta resistencia al ataque de pájaros, con un porcentaje no transformado de área no consumida de 99.34. Le siguieron la línea BRS-1, desarrollada en Dakota del Norte, y la variedad de polinización libre Navidad-1 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Por lo que respecta a la línea BRS-1, su superioridad en resistencia al daño por pájaros sobre otras variedades ha sido ya reportada en varias ocasiones (Dolbeer *et al.*, 1986; Bullard *et al.*, 1989; Mason *et al.*, 1989).

En el análisis de correlación (Cuadro 3) se observó que las variables asociadas en forma significativa con el porcentaje de área no consumida fueron: curvatura de capítulo, longitud de aquenio y porcentaje de cáscara. En la curvatura de capítulo, la correlación negativa y significativa observada, indica que los capítulos planos o cóncavos fueron menos susceptibles al consumo de aquenios por pájaros. Esto puede tener una explicación mecánica, ya que las aves tienen más problemas en alcanzar las semillas en este tipo de capítulos, especialmente cuando están inclinados. En la longitud de aquenio, su correlación positiva significativa con el porcentaje de área no consumida, indica que las plantas con aquenios más largos fueron menos atacadas. El porcentaje de cáscara fue la variable más correlacionada con porcentaje de área no consumida; su asociación positiva y altamente significativa indica que las variedades con mayor cantidad de cáscara en los aquenios, fueron menos susceptibles al ataque de

Cuadro 1. Análisis de varianza (cuadrados medios) y coeficientes de variación para 10 caracteres en 12 materiales de cáscara y de área no consumida se transformaron con la función $\text{ArcSen}(X/100)$.

Fuente de variación	Grados de libertad	Inclinación de capítulo	Distancia de capítulo	Curvatura de capítulo	Diámetro de capítulo	Altura de planta	Rendimiento por planta	Peso de 100 achenos	Longitud de acheno	Porcentaje de cáscara	Área no consumida
Repeticiones	11	1019.467**	24.301	0.000	1.446	0.299*	27195.930	0.070	0.005**	6.255	38.236
Tratamientos	1	74.457	20.779	0.005**	5.041	0.066	42393.410*	0.570	0.022**	11.981*	47.663*
Error	11	99.640	16.645	0.000	3.711	0.033	12724.030	0.698	0.001	2.839	16.473
C.V. (%)		6.621	22.404	21.199	12.649	14.849	25.585	16.776	1.975	5.749	5.236

*, ** Significativo y altamente significativo a los niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

Cuadro 2. Comportamiento medio de cada una de las variables para los materiales de girasol evaluados. El porcentaje de cáscara y de área no consumida se anotan en valores no transformados.

Variedad	Inclinación de capítulo (grados)	Distancia de capítulo (cm)	Curvatura de capítulo (cm ⁻¹)	Diámetro de capítulo (cm)	Altura de planta (m)	Rendimiento por planta (g)	Peso de 100 achenos (g)	Longitud de acheno (mm)	Porcentaje de cáscara (%)	Área no consumida (%)
72004	136.25	21.84	-0.04	15.94	1.10	502.20	4.85	1.21	26.27	99.34
BRS-1	153.95	19.23	0.03	18.25	1.26	94.90	6.10	1.43	33.50	99.29
Navidad-1	157.35	18.27	0.12	12.25	0.97	297.40	5.65	1.14	25.31	96.79
A 65048	152.70	18.59	0.11	13.78	1.26	395.15	4.35	1.11	24.87	96.03
A 61030	144.25	18.62	0.13	15.83	1.08	502.35	4.65	1.13	25.56	95.83
73130	153.70	14.18	0.11	16.36	1.57	424.75	4.55	1.08	23.28	94.80
M 33080	156.76	22.95	0.11	15.04	1.12	607.30	5.05	1.15	18.33	94.46
3311	152.00	20.14	0.11	15.56	1.25	642.30	5.45	1.20	22.47	92.92
A 61074	151.30	19.08	0.09	15.73	1.14	543.75	5.25	1.04	21.26	92.85
M 61121	152.20	18.82	0.09	15.79	1.51	461.00	4.50	1.09	23.68	91.94
3107	154.15	15.61	0.09	15.23	1.33	439.65	4.60	1.04	23.20	91.26
7000	144.50	11.18	0.12	13.05	1.07	379.80	4.75	1.17	21.12	88.14
Media	150.76	18.21	0.09	15.23	1.22	440.88	4.98	1.15	24.07	94.47

pájaros. Esto puede ser explicado por la dificultad o gasto de energía necesaria para eliminar la cáscara de los aquenios por parte de las aves.

En la Figura 2 se presenta la matriz de diagramas de dispersión, que incluye al porcentaje de área no consumida (transformada) y las variables con las cuales tuvo una correlación estadísticamente significativa. Para cada diagrama, la ordenada está representada por la variable anotada en la diagonal correspondiente a su fila, y la abscisa por la variable anotada en la diagonal correspondiente a su columna. Concentrando la atención en los tres diagramas de la fila inferior (sombreados), se puede visualizar la asociación entre cada una de las tres variables y el porcentaje de área no consumida (ANC), con esta última en el eje de las ordenadas (vertical). Para el caso de curvatura de capítulo (CAP) destacan dos puntos hacia la izquierda (A y B), que representan a las dos variedades que mostraron la mayor resistencia. El punto más extremo (A) representa al híbrido 72004, que fue el que mostró más resistencia, le sigue a la derecha el punto B, que representa a la línea BRS-1, la cual quedó clasificada en segundo lugar en cuanto a su resistencia. Por lo que respecta a longitud de aquenio (LA), los dos puntos de la extrema derecha (A y B), es decir los materiales con aquenios más largos, son también el híbrido 72004 y la línea BRS-1; sin embargo aquí es la línea BRS-1 la que se encuentra situada en el extremo (B), con la mayor longitud de aquenio. Para el caso de porcentaje de cáscara (PCAS), se observa una relación lineal más pronunciada y con los mismos dos materiales situados en el extremo (A y B), con la línea BRS-1 (B) ubicada en el mayor porcentaje de cáscara. Es notable la similitud entre los dos últimos diagramas de dispersión, es decir, los correspondientes a longitud de aquenio y porcentaje de cáscara. Esto puede deberse a la correlación positiva, altamente significativa, entre ambas variables (Cuadro 3 y Figura 2). La variedad Navidad I (C), aunque se encontró en tercer lugar en cuanto a resistencia, se ubica claramente en un grupo inferior al de los dos materiales más resistentes.

Considerando los resultados obtenidos, se construyó un modelo de relación causa-efecto, con longitud de aquenio, curvatura de capítulo y porcentaje de cáscara como variables causales, y con el porcentaje de área no consumida, una medida de la resistencia al ataque de pájaros, como variable de respuesta (Figura 3). En esta figura, las flechas de un sólo sentido representan efectos directos, cuan-

tificados por coeficientes de regresión estandarizados. Las flechas de dos sentidos representan asociaciones, cuantificadas por coeficientes de correlación. El símbolo e es el residual y representa a las variables que tienen efectos sobre la resistencia al daño por pájaros, y que no están consideradas en el modelo. En el Cuadro 4 se anotan los resultados del análisis de senderos bajo dicho modelo. Se observa que la variable porcentaje de cáscara tuvo el máximo efecto directo positivo sobre el porcentaje de área no consumida. Le sigue en magnitud absoluta el efecto directo de la curvatura de capítulo, con signo negativo. Un examen de los coeficientes de sendero para los efectos indirectos, revela que la correlación de 0.630 entre longitud de aquenio y porcentaje de área no consumida, se debe fundamentalmente al efecto indirecto de la longitud de aquenio a través del porcentaje de cáscara. Esto significaría que la longitud de aquenio no es muy importante *per se*, sino que está asociado a la resistencia al ataque de pájaros porque los aquenios largos tienen un mayor porcentaje de cáscara. Estos resultados son concordantes con lo reportado por Mah y Nuechterlein (1990), en el sentido de que los capítulos cóncavos y alto porcentaje de cáscara son los principales caracteres que le confieren resistencia a la línea BRS-1; aunque, como se verá más adelante, en este trabajo se encontró que dicha línea mostró capítulos aproximadamente planos en promedio.

Considerando el porcentaje de cáscara y la forma de capítulo como caracteres causales de la resistencia a pájaros y examinando el Cuadro 2, se puede ver que los dos materiales que presentaron menor incidencia de ataque de pájaros, tuvieron dos "estrategias" diferentes, hablando en sentido figurado. En el caso del híbrido 72004, la resistencia pudo ser conferida principalmente por sus capítulos cóncavos, ya que fue el único material con una curvatura promedio negativa. Para la línea BRS-1, la causa principal del poco daño de pájaros observado pareció ser el alto porcentaje de cáscara de sus aquenios; ya que fue el material con el más alto promedio para dicha variable. Sin embargo, cabe aclarar que ambos caracteres morfológicos parecen ser importantes en la determinación de resistencia al daño por pájaros, en estos dos materiales sobresalientes. En el otro extremo de la escala se sitúa el híbrido 7000, que fue el más dañado por los pájaros. Este material se clasificó entre aquellos de capítulos más convexos, con una curvatura promedio de 0.12, además de que sus aquenios tuvieron el menor porcentaje de cáscara.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación entre las variables cuantificadas, con base en las medias de los materiales de girasol evaluados. Los porcentajes de cáscara y de área no consumida se transformaron con la función $\text{ArcSen} \sqrt{X/100}$.

	Inclinación de capítulo	Distancia de capítulo	Curvatura de capítulo	Diámetro de capítulo	Altura de planta	Rendimiento por planta	Peso de 100 achenios	Longitud de achenio	Porcentaje de cáscara	Porcentaje de área no consumida
Inclinación de capítulo	0.021	0.540	-0.091	0.278	-0.181	0.283	-0.103	-0.121	-0.208	
Distancia de capítulo		-0.393	0.292	-0.217	0.319	0.309	0.243	0.079	0.542	
Curvatura de capítulo			-0.468	0.040	0.176	-0.211	-0.461	-0.482	-0.673*	
Diámetro de capítulo				0.487	-0.102	0.217	0.424	0.459	0.399	
Altura de planta					-0.179	-0.371	-0.177	0.054	-0.189	
Rendimiento por planta						-0.394	-0.560*	-0.772**	-0.423	
Peso de 100 achenios							0.677*	0.427	0.424	
Longitud de achenio								0.693**	0.630*	
Porcentaje de cáscara									0.741**	

*, ** Significativo y altamente significativo a los niveles de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

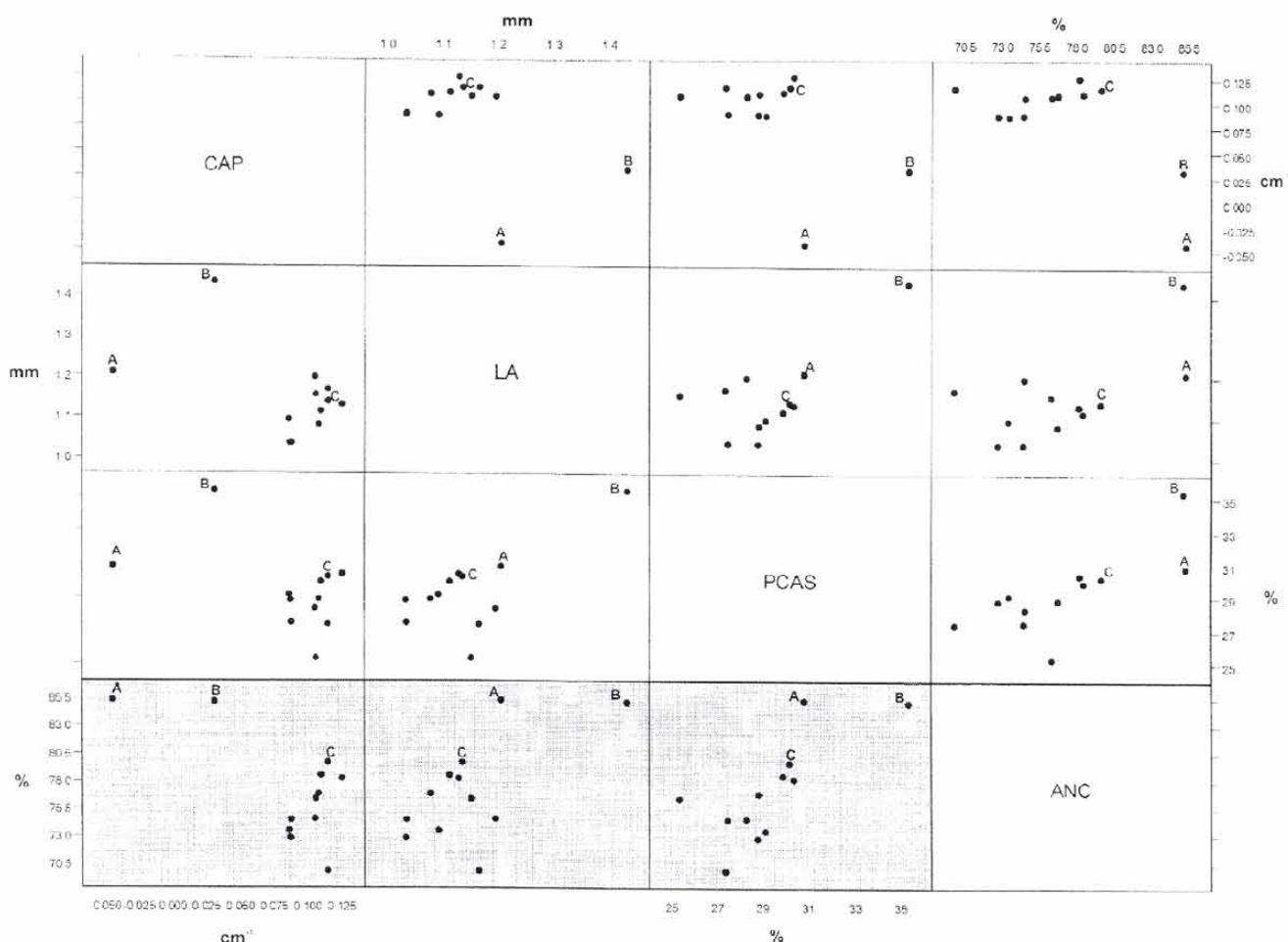


Figura 2. Matriz de diagramas de dispersión de la resistencia al ataque de pájaros y las variables con las que tuvo correlación estadísticamente significativa. CAP = curvatura de capítulo (cm^{-1}); LA = longitud de achenio (mm); PCAS = porcentaje de cáscara transformado con la función $\text{ArcSen} \sqrt{X/100}$; y ANC = porcentaje de área no consumida transformado con la función $\text{ArcSen} \sqrt{X/100}$. Los puntos marcados corresponden a: híbrido 72004 (A), línea BRS-1 (B) y variedad Navidad-1 (C). Los puntos restantes representan híbridos experimentales.

La asociación de la resistencia al ataque de pájaros con capítulos cóncavos o planos y achenios con alto porcentaje de cáscara, resulta consistente con un modelo energético de costo-beneficio en el comportamiento de las aves. Esto significa, que los pájaros "tratan" de obtener la máxima ingestión calórica con un mínimo de inversión energética. Así, los achenios de los capítulos cóncavos o planos son más inaccesibles para las aves, y alcanzarlos requiere un costo energético extra. Por lo que respecta a los achenios con mayor porcentaje de cáscara, su almen-dra tiene un menor tamaño y por lo tanto un menor contenido calórico, además de que la eliminación de la cáscara puede tener un mayor costo energético. Podría postularse que las aves seleccionan a las plantas más favorables de acuerdo con un esquema de ensayo y error.

Cuadro 4. Análisis de senderos para variables relacionadas con la resistencia al ataque de pájaros. †

	Longitud de achenio (mm)	Curvatura de capítulo (unidad)	Porcentaje de cáscara (%)	Correlación con área no consumida
Longitud de achenio	<u>0.129</u>	0.180	0.321	0.630
Curvatura de capítulo	-0.059	<u>-0.390</u>	-0.224	-0.673
Porcentaje de cáscara	0.089	0.188	<u>0.464</u>	0.741

$r = 0.559$

† Los efectos directos (subrayados) están en la diagonal. Fuera de la diagonal se anotan los efectos indirectos. El símbolo e denota el efecto residual.

Aunque en este estudio se trabajó con especies de aves diferentes a los reportados por Mah y Nuechterlein (1990), se obtuvieron resultados similares. Esto indica que existe consistencia en cuanto al efecto de los capítulos cóncavos y el alto porcentaje de cáscara en los achenios,

para ser considerados en trabajos de mejoramiento de girasol para resistencia al daño por pájaros. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que un alto porcentaje de cáscara en los achenios puede disminuir el valor económico de los cultivares de girasol.

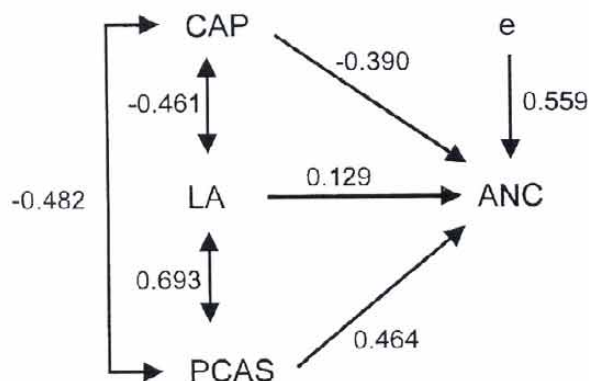


Figura 3. Diagrama causal en el cual la curvatura de capítulo (CAP), la longitud de achenio (LA) y el porcentaje de cáscara (PCAS) tienen efecto sobre el porcentaje de área no consumida (ANC). La letra e representa a las variables residuales.

CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio indican la presencia de diversidad genética para resistencia al ataque de pájaros en girasol. Dicha resistencia, medida a través del porcentaje de área no consumida, se encontró asociada positivamente con los caracteres porcentaje de cáscara y longitud de achenio, y negativamente con la curvatura de capítulo. Esto último indica que son los capítulos cóncavos los que podrían conferir resistencia. Por otro lado, los resultados sugieren que la longitud de achenio no es un carácter causal importante *per se* de resistencia al ataque de pájaros, sino que su correlación con dicho carácter se debe a su influencia indirecta a través del porcentaje de cáscara. Esta asociación de caracteres morfológicos con la resistencia al daño por pájaros, es consistente con un esquema de balance costo-beneficio energético en los hábitos alimenticios de las aves. Los materiales más so-

bresalientes en cuanto a resistencia al daño por pájaros fueron: el híbrido experimental 72004 de la compañía Inter State, con 99.34 % de área no consumida, la línea BRS-1 de la Universidad Estatal de North Dakota, Estados Unidos, con 99.29 % y la variedad de polinización libre Navidad-1 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con 96.79 %.

BIBLIOGRAFÍA

- Bullard, R.W., P.P. Woronecki, R.A. Dolbeer, and J.R. Mason. 1989. Biochemical and morphological characteristics in maturing achenes from purple-hulled and oilseed sunflower cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 37:886-890.
- Deodikar, G.B., T.S. Seethalakshmi, and M.C. Suryanarayana. 1978. Natural variants in sunflower with incurved involucre for breeding strains resistant to bird damage. *Indian J. Genet. Plant Breed.* 38:372-374.
- Dolbeer, R.A., P.P. Woronecki, R.A. Sthen, G.J. Fox, J.J. Hanzel, and G.M. Linz. 1986. Field trials on sunflower resistant to bird depredation. *North Dakota Farm Res.* 43:21-28.
- Kempthorne, O. 1969. *An Introduction to Genetic Statistics*. The Iowa State University Press. Ames, Iowa. 545 p.
- Linz, G.M. and J.J. Hanzel. 1997. Birds and sunflower. In: *Sunflower Technology and Production*. Agronomy 35. Schneiter A.A. (ed.) ASA-CSSA SSSA. Madison, Wisconsin. pp: 381-394.
- Mah, J. and G.L. Nuechterlein. 1990. Impact of sunflower head concavity and oil content on bird resistance. In: *Proc. Sunflower Research Workshop*. National Sunflower Association, Fargo, U.S.A. pp: 76-82.
- Mason, J.R., R.A. Dolbeer, P.P. Woronecki, and R.W. Bullard. 1989. Maturational and varietal influences on sunflower consumption by redwinged blackbirds. *J. Wild Manage.* 53:841-846.
- Parfitt, D.E. 1984. Relationship of morphological plant characteristics of sunflower bird feeding. *Can. J. Plant Sci.* 64:37-42.
- _____, and G.J. Fox. 1986. Genetic sources of resistance to black-bird predation in sunflower. *Can. J. Plant Sci.* 66:19-23.
- Reyes V., M.H. y A. Benavides M. 1993. *El Análisis de Senderos en la Investigación Agronómica*. Folleto de Divulgación No. 4. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. 22 p.
- _____, M.II., L. Escobedo B., y A. Orta D. 1992. Características asociadas con el daño por pájaros en girasol (*Helianthus annuus* L.). *Agraria* 8:1-5.
- Salas, S.L. and E. Hille. 1990. *Calculus: One and Several Variables*. John Wiley and Sons. 1121 p.
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1960. *Principles and Procedures of Statistics*. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York. 481 p.
- Wolfram, S. 1988. *Mathematica, a System for Doing Mathematics by Computer*. Second edition. Addison-Wesley Publishing Company. New York. 961 p.
- Wright, S. 1934. The Method of Path Coefficients. *Ann. Math. Stat.* 5:161-215.