

# RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DE OCHO GENOTIPOS DE AJONJOLÍ (*Sesamum indicum* L.) Y SUS COMPONENTES. COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS

Hernán Laurentin<sup>1</sup>, Daniel Montilla<sup>1</sup> y Vicente García<sup>1</sup>

## RESUMEN

Con la finalidad de estudiar la relación existente entre el rendimiento del ajonjolí y algunas variables consideradas sus componentes, tales como altura de planta, número de cápsulas por planta, número de ramas por planta, longitud de carga total, longitud de cápsula y peso de 1000 semillas; se evaluaron ocho distintos ensayos establecidos en zonas aledañas a Turén, estado Portuguesa, Venezuela. Se establecieron diseños estadísticos de bloques al azar con cuatro repeticiones y ocho tratamientos representados por ocho genotipos de ajonjolí. La relación mencionada fue evaluada mediante análisis de correlación fenotípica y genotípica, análisis de regresión, coeficientes de trayectoria y análisis de componentes principales. El número de ramas por planta, y la longitud de carga total, fueron las variables que reportaron una correlación tanto fenotípica como genotípica de mayor magnitud con el rendimiento. Los análisis de regresión indicaron como adecuados los modelos que incluyen las variables número de ramas, número de cápsulas por planta, peso de 1000 semillas y longitud de cápsula; sin embargo, son cuestionables por el bajo coeficiente de determinación obtenido. Los coeficientes de trayectoria identificaron al peso de 1000 semillas y al número de ramas como las variables con mayor efecto directo sobre el rendimiento, pero entre sí tuvieron efectos indirectos negativos. El análisis de componentes principales fue eficiente en separar al genotipo de menor rendimiento del resto, aunque no lo fue al discriminar los genotipos de mayor rendimiento. Estos resultados en conjunto sugieren que la selección indirecta hacia altos rendimientos debería centrarse en la selección de genotipos con el mayor número de ramas o con el mayor peso de 1000 semillas. **Palabras clave adicionales:** Índices de selección, correlación genotípica, coeficientes de trayectoria, componentes principales

## ABSTRACT

### Relationship between yield and its components in eight sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. Comparison of methodologies

To assess the relationship between sesame yield and yield components such as plant height, number of capsules per plant, number of branches per plant, total fructification length, capsule length and 1000-seed-weight, eight field assays settled around Turén, Portuguesa State, Venezuela, were evaluated. A randomized complete block design, with four replications and eight treatments (eight sesame genotypes) was used at each assay. The evaluation was performed by means of genotypic and phenotypic correlation analysis, regression analysis, pathway coefficients, and principal components. Number of branches per plant and total fructification length were the variables that showed the greatest phenotypic and genotypic correlation with yield. Regression analysis identified number of branches and capsules, weight of 1000 seeds and capsule length as the most important variables in the regression model; however, it showed a small determination coefficient. Pathway analysis identified the weight of 1000 seeds and number of branches as the variables with the most important direct effect on yield; however, they had negative indirect effects each other. Principal components analysis was useful to discriminate the genotypes with poor yield, but it was unable to separate the genotypes with the highest yield. The results indicate that it is possible an indirect selection toward high yield by selecting plants with high 1000 seed weight or with high number of branches per plant.

**Additional key words:** Selection index, genotypic correlation, path coefficients, principal components

## INTRODUCCIÓN

La producción de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) ha presentado numerosos altibajos en Venezuela; sin embargo, su importancia en el país

se evidencia en el hecho de que ha sido ininterrumpidamente una opción como rotación al cultivo del maíz en una amplia zona del estado Portuguesa, llegando a sembrarse un máximo de 174.000 ha en 1974 (Mazzani, 1999) y más

---

Recibido: Octubre 22, 2003

Aceptado: Septiembre 27, 2004

<sup>1</sup> Dpto. Ciencias Biológicas, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto, Venezuela. e-mail: hlaurentin@ucla.edu.ve

recientemente, entre 1997 y 2001, mantenerse en aproximadamente 60.000 ha con una producción promedio de 30.000 toneladas por año (FAO, 2003).

La importancia que ha tenido el cultivo en Venezuela ha permitido acumular una vasta experiencia en todas las actividades inherentes a él, incluyendo el mejoramiento genético, por lo cual existen numerosos cultivares disponibles para su producción (Nava y Layrisse, 1990). Sin embargo, debido al cambio en el mercado que tuvo el ajonjolí venezolano en la década de 1990 (Montilla y Terán, 1996), pasando de ser un cultivo comercializado para obtener aceite a un cultivo cuyo producto comercial es directamente el grano, con una serie de parámetros de calidad (granos con almendra de color claro principalmente), actualmente se cuenta sólo con una oferta limitada de cultivares, tales como Fonucla (Montilla y Cedeño, 1991) y UCLA-1 (Montilla y Terán, 1996).

Mejorar el rendimiento en ajonjolí, como en cualquier otro cultivo, implica la utilización de ciertas estrategias, entre las que destaca el estudio de los componentes de rendimiento (Poehlman y Sleper, 1996), es decir, aquellas características morfológicas cuya interacción permitirá el rendimiento final, y que se caracterizan por ser fáciles de evaluar. Este estudio busca relacionar dichos componentes con el rendimiento, lo cual convencionalmente se ha hecho mediante análisis de correlación, regresión o coeficientes de trayectoria. Este tipo de estudio en ajonjolí se ha realizado en poblaciones hindúes, coreanas y chinas. También en Venezuela se han realizado trabajos relacionados con componentes de rendimiento en ajonjolí pero que no serían pertinentes para las condiciones actuales de mercado del cultivo puesto que en dichos estudios siempre existieron genotipos cuyos granos no son de color claro. Delgado (1994) indica que los resultados de un trabajo no son extrapolables a otro debido a las diferencias varietales de los materiales experimentales utilizados.

Gómez y Gómez (1976) al comparar el análisis de correlación con el de regresión establecen que en el primero, los valores no tienen unidades físicas, no implican relación causal y no tienen dirección; lo que hace es medir el nivel de asociación entre variables sin especificar cual es la causa y cual la consecuencia. Por el contrario el

análisis de regresión tiene unidades físicas e implica relación causa efecto y tiene dirección; describe el efecto de uno o más caracteres sobre un carácter simple, expresado el último como una función de los primeros. Otra metodología, llamada coeficientes de trayectoria, utiliza elementos tanto de la correlación como de la regresión lineal, y es señalada por Li (1975) como más informativa puesto que disecta la correlación entre variables en diferentes trayectorias, basadas en regresión lineal múltiple. Este método requiere una situación de causa-efecto entre variables, y el investigador debe definir la dirección en el sistema causal basado en evidencias experimentales o *a priori*. Una estrategia que podría tener mucho éxito en el estudio de la relación rendimiento-componentes, es el análisis de componentes principales, que es una técnica de estadística multivariada que construye un conjunto de ejes ortogonales los cuales poseen información de todas las variables consideradas (Rohlf, 1998). Estos ejes son construidos con distintas ponderaciones de las variables consideradas, y permiten obtener los valores Eigen o autovalores, los cuales explican distintas porciones de la varianza. También permiten obtener los vectores Eigen o autovectores, mediante los cuales se puede identificar la importancia relativa de cada una de las variables analizadas. En este caso las variables son los componentes de rendimiento. Esta técnica permitiría ordenar los genotipos de acuerdo a los valores que tienen sus distintos componentes, permitiendo detectar que componente tienen una mayor importancia para el rendimiento.

Teniendo a la disposición todas estas técnicas estadísticas, este trabajo se propone evaluar la relación existente entre el rendimiento y sus componentes, en 8 genotipos de ajonjolí grano blanco, con la finalidad de proveer información que eventualmente pudiese facilitar la selección de individuos en un programa de mejoramiento genético orientado hacia la obtención de cultivares de alto rendimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1) Ensayos de campo

Se evaluaron seis líneas de ajonjolí de grano blanco provenientes del programa de mejoramiento genético del Decanato de Agronomía de la Universidad Centroccidental

“Lisandro Alvarado”, denominadas UCLA295, UCLA249, UCLA90, UCLA83, UCLA 37-1 y UCLA65, conjuntamente con los cultivares Fonucla (Montilla y Cedeño, 1989) y UCLA1 (Montilla y Terán, 1996), en ocho ambientes de Turén y sus alrededores en el estado Portuguesa (Cuadro 1). La siembra de todos los ensayos se realizó dentro de parcelas de productores, a excepción del de la Colonia Agrícola el cual fue establecido en el campo experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias

(INIA). En todos los casos se siguió el mismo esquema de siembra de los productores. Sólo en lo referente a la colocación de la semilla no hubo concordancia con las prácticas del productor, debido a la imposibilidad de maniobrar un tractor con su sembradora en parcelas pequeñas. Por tal razón, la siembra se hizo con sembradoras portátiles de disco vertical descargando aproximadamente 25 semillas por metro lineal para una densidad aproximada de 400.000 plantas por hectárea.

**Cuadro 1.** Ambientes donde fueron evaluadas cada uno de los ocho genotipos de *Sesamun indicum*

Localidad	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)	Año
Colonia Agrícola	9° 16' N, 69°06'W	132	1994
Colonia Agrícola	9° 16' N, 69°06'W	132	1995
Colonia Agrícola	9° 16' N, 69°06'W	132	1997
Turén I	9° 20' N, 69°07'W	143	1998
Turén II	9° 19' N, 69°07'W	140	1998
Microsur	9° 07' N, 69°01'W	115	1998
Chorrerones	9° 12' N, 68°59'W	110	2002
Las Marías	9° 21' N, 69°08'W	125	2002

Todos los ensayos consistieron de un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones y 8 tratamientos (los genotipos). Cada parcela experimental consistió de cinco hileras de 5 m de longitud cada una, espaciadas 0,60 m.

Durante la cosecha se tomaron diez plantas de cada parcela experimental para determinar los componentes de rendimiento siguientes: altura de la planta (AP, en cm), número de cápsulas por planta (CPP), número de ramas (R), longitud de carga total (LCT, en cm), longitud de las cápsulas (LC, en cm) (medida como el promedio de 10 cápsulas tomadas al azar de cada una de las 10 plantas) y peso de 1000 semillas (P, en g) (medido como el promedio de 1000 semillas tomadas al azar de cada parcela experimental).

La cosecha se realizó en todos los ensayos durante 4-7 días consecutivos según el momento en que el 50 % de las plantas de cada parcela experimental presentaba indicios de madurez fisiológica (fundamentalmente, dehiscencia de la cápsula basal). La cosecha consistió en dos fases, tal cual lo hace el productor: una de corte y apilamiento vertical de las plantas cortadas y otra de trilla, que se realizó unos 15 días después del corte, momento en que las plantas estaban totalmente secas, y por lo tanto se facilitó la recolección de las semillas. Esto se hizo en cada

una de las 32 parcelas experimentales, en cada uno de los ocho ensayos evaluados. Las semillas colectadas se limpiaron y fueron pesadas para determinar el rendimiento, el cual fue expresado en  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

## 2) Análisis estadístico

Las siete variables obtenidas se sometieron a un análisis de correlación fenotípica y genotípica mediante el programa estadístico Genes v. 96.1 para determinar la asociación existente entre el rendimiento y sus componentes. Para tal fin se consideró a los genotipos como una variable fija, y ambientes como una variable aleatoria. Para determinar la relación causa-efecto entre estas variables, se efectuó un análisis de regresión usando el programa estadístico Statistix, teniendo al rendimiento como la variable dependiente, y sus componentes como las variables independientes. Adicionalmente, se efectuó un análisis de coeficientes de trayectoria utilizando el programa Genes v. 96.1, de tal manera de poder cuantificar los efectos directos e indirectos de las variables evaluadas sobre el rendimiento; esto se realizó utilizando la matriz de coeficientes de correlación genotípica. Para el análisis de regresión se utilizaron las opciones de regresión lineal múltiple y la determinación del mejor

modelo de regresión. Tomando en consideración cada uno de los estadísticos obtenidos por las distintas opciones, es decir, coeficiente de Mallow ( $C_p$ ), valor de inflación de varianza (VIF), coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y significación de cada uno de los coeficientes de regresión, se seleccionó un único modelo. El coeficiente de Mallow ( $C_p$ ) indica qué tan sesgado es el modelo de regresión escogido, modelos adecuados tienen un valor  $C_p$  muy cercano o menor al número de parámetros que se incluyan en el modelo (Weisberg, 1985). El VIF indica si la colinearidad pudiera ser un problema en el modelo de regresión, es decir, ellos representan el incremento en varianza de un coeficiente de regresión debido a la correlación entre variables independientes; valores de 7,0 a 10,0 han sido sugeridos como límites máximos aceptables para señalar que la colinearidad no afecta la precisión del modelo de regresión (Weisberg, 1985). El análisis de componentes principales se realizó con el

programa estadístico NTSYS v. 2.02j, de tal manera de ordenar los genotipos y poder inferir relaciones existentes entre el rendimiento y los componentes evaluados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores promedio de cada variable, obtenidos para cada genotipo, sobre las ocho localidades aparecen señalados en el Cuadro 2, donde puede observarse la gran variación existente para cada una ellas. Para todas las variables existieron diferencias altamente significativas para la interacción genotipo x ambiente; a pesar de esto, en el cuadro se reporta una prueba de medias sobre todos los ambientes de tal manera de tener una somera idea del potencial de cada uno de los genotipos evaluados, y de evidenciar la complejidad existente en las interrelaciones entre el rendimiento y sus componentes.

**Cuadro 2.** Valores de siete variables de ocho genotipos de *Sesamum indicum* evaluados como promedios de ocho ambientes diferentes en el estado Portuguesa, Venezuela

Genotipo	AP	CPP	LC	LCT	P	R	Rendimiento
UCLA 83	103,01 a	45,70 ab	2,67 ab	86,41 a	2,25 ab	1,77 ab	623 b
Fonucla	101,76 ab	54,02 a	2,85 a	80,31 a	2,12 b	1,86 ab	760 a
UCLA 295	89,13 ab	40,65 ab	2,61 b	83,81 a	2,64 ab	1,70 ab	718 a
UCLA 65	88,54 ab	32,12 b	2,72 ab	60,37 a	2,13 b	1,23 b	508 c
UCLA 37-1	87,86 ab	40,71 ab	2,76 ab	77,83 a	2,65 ab	1,65 ab	594 b
UCLA 249	87,49 ab	43,12 ab	2,68 ab	88,82 a	2,72 ab	1,94 a	728 a
UCLA 90	85,53 ab	39,88 ab	2,85 a	87,90 a	2,83 a	1,82 ab	771 a
UCLA 1	84,73 b	39,86 ab	2,68 ab	81,68 a	2,62 ab	1,73 ab	713 a

Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas según prueba de Duncan ( $P \leq 0,05$ )

Los valores de correlación fenotípica y genotípica entre el rendimiento y las variables evaluadas (Cuadro 3) tuvieron en la mayoría de los casos una gran similitud en su magnitud, y siempre presentaron el mismo signo. Las únicas correlaciones con rendimiento que resultaron no significativas, tanto fenotípica como genotípica, fueron altura de planta y longitud de la cápsula; las demás denotan una asociación positiva y significativa, siendo el número de ramas y la longitud de carga total las de mayor magnitud.

En cuanto a los análisis que determinan relación causa-efecto, en el Cuadro 4 son presentados los coeficientes de regresión para

cada una de las variables evaluadas con sus respectivos niveles de significación y los valores de inflación de la varianza (VIF). En estos puede observarse que las variables CPP, P y R poseen coeficientes estadísticamente distintos de cero, y que ninguno de los VIF supera a 7,0, es decir, no existe una fuerte colinearidad entre las variables independientes, por lo cual no hay indicios de incrementos en la variación de un coeficiente debido a la correlación entre variables independientes. Hay que destacar que la variable LC está muy cerca de tener un coeficiente estadísticamente distinto de cero, por lo cual podría resultar conveniente incluirlo en el modelo.

**Cuadro 3.** Valores de correlación fenotípica y genotípica entre todas las variables evaluadas en *Sesamum indicum*. Las genotípicas se presentan en la parte superior y las fenotípicas en la inferior

	AP	R	LC	LCT	CPP	P
R	0,1888 0,1873					
LC	0,0906 0,0558	-0,4655 -0,0396				
LCT	-0,3548 0,7030*	0,9988** 0,9355**	-0,9875** -0,2634			
CPP	0,8672** -0,8123**	0,8601** 0,7620*	0,3261 0,3459	0,1992 0,5609		
P	-1,0000** -0,8123*	0,7337* 0,3465	-0,5970 -0,3989	0,8590** 0,5055	-0,3646 -0,2841	
Rendimiento	-0,1269 -0,0557	0,9500** 0,8681**	0,0251 0,0659	0,9575** 0,8304**	0,6858* 0,5691	0,7230* 0,4620

\*Significativa para  $P \leq 0,05$ ; \*\* Significativa para  $P \leq 0,01$

El Cuadro 5 presenta los modelos de regresión menos sesgados obtenidos considerando los valores  $C_p$  de Mallow. Los otros modelos generados no son mostrados debido a que los valores de  $C_p$  exceden en gran medida al número de variables incluidas en el modelo, es decir, son muy sesgados. En ellos puede observarse que el

modelo más sencillo con el valor más bajo de  $C_p$  es el que incluye a CPP, LC, P y R con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de los más altos entre los modelos propuestos. Ambos análisis de regresión coinciden en establecer que el mejor modelo de regresión sería Rendimiento=10,39 CPP+99,02LC+145,81P-113,15R

**Cuadro 4.** Coeficientes de regresión lineal, nivel de significación (P) y valores de inflación de varianza (VIF) de cada uno de los componentes de rendimiento en *Sesamum indicum* ( $R^2 = 0,358$ )

Componente de rendimiento	Coefficiente de regresión	P	VIF
Constante	-167,747	0,1210	
Altura	0,225	0,8466	2,5
Número de cápsulas por planta	10,393	0,0000	5,1
Longitud de cápsulas	99,029	0,0583	1,9
Longitud de carga total	-0,652	0,5591	5,6
Peso de 1000 semillas	145,811	0,0000	1,9
Número de ramas	-113,150	0,0004	3,3

La otra metodología utilizada para estudiar relación causa-efecto entre el rendimiento y sus componentes, es decir, la de coeficientes de trayectoria mediante el uso de las correlaciones genotípicas produjo los resultados que se presentan en el Cuadro 6. La descomposición de esta correlación identifica al peso de 1000 semillas y al número de ramas como las variables que presentan un mayor efecto directo sobre el rendimiento, y son también las variables que presentan los mayores efectos indirectos a través de los otros componentes evaluados. Es importante destacar que el peso de 1000 semillas tiene un efecto indirecto negativo a través del número de ramas, y viceversa, existe un efecto indirecto negativo del número de ramas a través del peso de 1000 semillas, lo cual es un buen

ejemplo para diferenciar el análisis de correlación de los coeficientes de trayectoria. Mientras en el primero se presenta una correlación positiva entre ambas variables, lo cual es el resultado de la suma de todos los efectos directos e indirectos que entre ellos existen, el segundo explica cada uno de los efectos directos e indirectos a que se hace mención. Esto representaría un verdadero dilema en el momento de hacer selección indirecta hacia altos rendimientos, en una población eventualmente formada por los genotipos utilizados en el presente trabajo, puesto que estaría indicando que un genotipo de alto rendimiento debería ser seleccionado o por un alto número de ramas o por un alto peso de 1000 semillas. Si fuese seleccionado por la primera vía, dentro de los que tienen alto número de ramas, los genotipos

presentarían bajo peso de semillas, y si fuesen escogidos genotipos con un alto peso de semillas, dentro de ellos habría un pequeño número de ramas, es decir, existe una compensación en

cuanto al rendimiento, al incrementarse alguno de sus componentes disminuye el otro, y viceversa, tal como lo explicó Adams (1967) al señalar que es un efecto aplicable a cualquier cultivo.

**Cuadro 5.** Mejores modelos de regresión para la relación entre el rendimiento de *Sesamum indicum* y sus componentes según el valor de  $C_p$

Número de variables	$C_p$	Variables incluidas	$R^2$
4	21,6	AP, CPP, P	0,3047
5	3,4	CPP, LC, P, R	0,3567
5	6,7	AP, CPP, P, F	0,3481
5	9,0	CPP, LCT, P, R	0,3422
6	5,0	CPP, LC, LCT, P, R	0,3576
6	5,3	AP, CPP, LC, P, R	0,3568
6	8,6	AP, CPP, LCT, P, R	0,3484
7	7,0	AP, CPP, LC, LCT, P, R	0,3577

Mediante el análisis de componentes principales se lograron agrupar los genotipos según los promedios que presentaron en cada variable. El Cuadro 7 permite visualizar que los dos primeros ejes abarcan un 81,46 % de la variación total, explicándose ésta en el primer eje principalmente por el número de ramas, la longitud de carga y la longitud de cápsula (Cuadro 8), que son las variables que presentan mayor magnitud en sus autovectores, y, en el segundo eje la variación puede ser explicada principalmente por el peso de 1000 semillas y altura de planta. La Figura 1 representa la forma como el análisis de componentes principales ordena a los distintos genotipos evaluados. En esta figura destaca el hecho de que el genotipo UCLA 65 es separado del resto en el primer eje, ya que este genotipo fue el que presentó el menor valor promedio para cada

una de las variables que explican la variación en el primer eje. El segundo eje, permite separar a Fonucla del resto, puesto que este genotipo fue el que presentó un menor peso de 1000 semillas, estando en el otro extremo UCLA 90 y UCLA 249, que fueron los que presentaron mayor valor para esta variable. El análisis conjunto del Cuadro 2 y la Figura 1, indica que esta metodología, al construir una serie de ejes con distintas ponderaciones para todos los componentes de rendimiento evaluados, fue muy eficiente en separar al genotipo de menor rendimiento (UCLA 65); sin embargo, no fue precisa en agrupar a los genotipos de mayor rendimiento. Esta aseveración permitiría señalar que los componentes de rendimiento evaluados serían muy precisos en determinar indirectamente el bajo potencial de rendimiento de una planta, pero no de identificar las de alto potencial.

**Cuadro 6.** Coeficientes de trayectoria de los efectos directos e indirectos de las variables evaluadas sobre el rendimiento de *Sesamum indicum* ( $R^2=0,9471$ )

Variable	Efecto directo	Efecto indirecto a través de:						r
		AP	CPP	LC	LCT	P	R	
AP	-0,299		0,023	-0,010	0,106	1,156	-1,104	-0,127
CPP	0,084	-0,080		0,051	-0,515	0,906	0,503	0,950
LC	-0,110	-0,027	-0,058		0,438	0,435	-0,654	0,025
LCT	-0,322	0,086	0,121	0,111		0,206	0,756	0,957
P	0,803	-0,055	0,156	-0,036	-0,060		-0,322	0,686
R	0,816	0,380	0,291	0,065	-0,343	-0,486		0,723

La visión conjunta de los resultados obtenidos por los distintos análisis presenta algunas contradicciones, siendo la más evidente la que hace ver, según el análisis de regresión, que el número de ramas afectó negativamente al

rendimiento, lo cual no parece cierto si se observa el Cuadro 2 y los resultados obtenidos por correlación, coeficientes de trayectoria y componentes principales. Puesto que la regresión es obtenida al dividir la covarianza entre dos

variables por la varianza de la variable dependiente (Weisberg, 1984), la covarianza obtenida fue negativa. Es necesario destacar que el análisis de regresión se obtuvo con los datos que se tomaron en campo, mientras que en el análisis de correlación se logró extraer el efecto del error al hacer las correlaciones fenotípicas, y el efecto del error y del ambiente al hacer las correlaciones genotípicas. En estas correlaciones, la covarianza fue positiva ya que los coeficientes de correlación también lo fueron. El análisis de coeficientes de trayectoria, al ser realizado con las correlaciones genotípicas, también resultó en un efecto positivo del número de ramas sobre el rendimiento (Cuadro 6). Por último, el análisis de componentes principales permitió discriminar totalmente al genotipo UCLA 65 en el primer eje, el cual fue mayormente representado por el número de ramas, debido a ser el que menor valor presentó para esta variable. Adicionalmente es necesario destacar que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) tan bajo obtenido en el análisis de regresión, hace cuestionable su utilización y su interpretación en el presente trabajo.

**Cuadro 7.** Autovalores y porcentajes de variación de los seis ejes del análisis de componentes principales en *Sesamum indicum*

Autovalor	Porcentaje total	Porcentaje acumulado
2,747	45,79	45,79
2,140	35,67	81,46
0,952	15,87	97,33
0,123	2,05	99,38
0,032	0,50	99,88
0,004	0,12	100,00

Es importante destacar que las variables número de ramas por planta y peso de 1000 semillas, consistentemente aparecieron como muy importantes en todos los análisis estadísticos. En el análisis de correlación, tanto fenotípica como genotípicamente, ambas variables tuvieron coeficientes estadísticamente distintos de cero. Esto ocurrió incluso en el análisis de regresión, en el que a pesar de no ser muy representativo, se observa que también fueron variables importantes. En el análisis de coeficientes de trayectoria, fueron los que presentaron los efectos directos de mayor importancia sobre el rendimiento, y en el

análisis de componentes principales, el número de ramas y el peso de 1000 semillas fueron las variables más importantes de los ejes 1 y 2, respectivamente (Cuadro 8). Aun cuando los resultados de un estudio de esta naturaleza no son extrapolables, es importante destacar que ensayos en otras poblaciones de ajonjolí han tenido resultados similares. Por ejemplo, Delgado (1994), mediante análisis de correlación y de coeficientes de trayectoria, obtuvo que el peso de 1000 semillas y el número de cápsulas por planta fueron las características con mayor influencia directa sobre el rendimiento; sin embargo, este autor no evaluó el número de ramas.

**Cuadro 8.** Autovectores en el análisis de componentes principales en *Sesamum indicum*

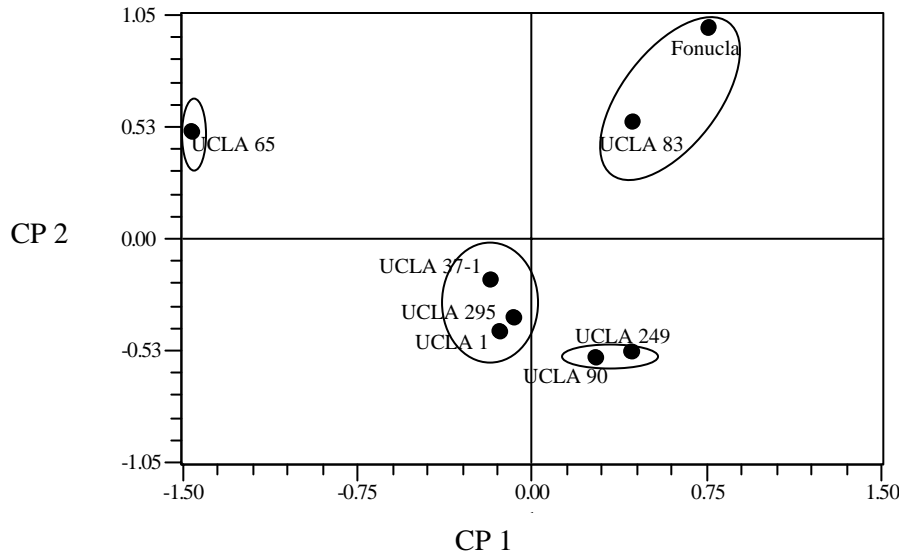
	Eje 1	Eje 2
Altura de planta	0,4598	0,8299
Número de ramas	0,9563	-0,2609
Longitud de cápsulas	0,2579	0,2727
Longitud de carga	0,8669	-0,4397
Número de cápsulas	0,8716	0,4358
Peso de 1000 semillas	0,2090	-0,9620

En lo que a componentes de rendimiento importantes en ajonjolí se refiere se han encontrado diferentes resultados. Jarwar et al. (1998), evaluando una población de ajonjolí pakistaní mediante análisis de correlación y regresión, concluyeron que la altura de planta y el número de días a la madurez los componentes que mayor influencia tienen sobre el rendimiento. Yingzhong y Yishou (2002), evaluando 27 genotipos chinos mediante el análisis de los coeficientes de trayectoria, obtuvieron una correlación genotípica positiva y significativa entre el rendimiento y la altura y el número de cápsulas por planta, siendo ambas variables las que tuvieron un mayor efecto directo sobre el rendimiento.

Existen otros trabajos cuyos resultados coinciden parcialmente con los nuestros. Por ejemplo, Ganesh y Sakila (1999) al evaluar 88 híbridos de ajonjolí provenientes de padres de diferentes orígenes geográficos, obtuvieron una correlación significativa del rendimiento con los componentes altura de planta, días a la floración, número de ramas por planta, número de cápsulas

en el tallo principal, número de cápsulas por rama y número de cápsulas por planta. Kathiseran y Gnanamurthy (2000), al realizar estudios de correlación en dos cultivares de ajonjolí, concluyeron que existía una correlación positiva y significativa entre el rendimiento y la altura de planta, el número de ramas, el número de cápsulas, el peso de 1000 semillas y la acumulación de materia seca. Solanki y Gupta

(2001), evaluando 52 genotipos procedentes de ocho países, obtienen una correlación positiva y significativa de altura de planta, cápsulas por planta y peso de 1000 semillas con el rendimiento; sin embargo, la correlación entre rendimiento y número de ramas por planta no fue significativa. Todos estos trabajos dan una idea de lo variable que pueden ser los resultados, dependiendo principalmente de los genotipos evaluados.



**Figura 1.** Gráfico bidimensional obtenido por análisis de componentes principales (CP), donde se muestra el ordenamiento de los ocho genotipos evaluados con base en sus componentes de rendimiento

En el presente trabajo se nota cierta consistencia a través de las metodologías utilizadas en considerar al peso de 1000 semillas y al número de ramas por planta como los componentes de rendimiento más importantes. Sin embargo, con el análisis de componentes principales no se pudo agrupar eficientemente a los genotipos de mayor rendimiento según los valores para los componentes evaluados. Esta situación probablemente podría superarse si se evalúa un mayor número de componentes, para así tener un agrupamiento que permita una mejor discriminación. Este argumento es corroborado al observar el bajo valor del coeficiente de determinación del modelo de regresión obtenido, el cual indicaría que sólo el 35,77 % de la variación observada para rendimiento pudiera ser explicado por las variables involucradas en dicho modelo. Laurentin y Montilla (2002), evaluando la

variabilidad del rendimiento y sus componentes en estos mismos genotipos durante tres años, sugieren la existencia de otros componentes de rendimiento que no están siendo evaluados, lo cual se deduce de la obtención de una varianza genética muy alta para el rendimiento, pero baja para todos los componentes evaluados.

Kuruvadi y Sánchez-Valdez (1993), al evaluar 16 líneas de *Phaseolus acutifolius* concluyen que la hibridación de las líneas superiores para componentes de rendimiento, podría resultar en recombinaciones deseables en la progenie. De forma análoga en este trabajo, de obtenerse una población de ajonjolí con los genotipos utilizados, la selección indirecta hacia altos rendimientos entre estos genotipos y su descendencia, debería centrarse en plantas con el mayor número de ramas o con el mayor valor del peso de 1000 semillas. Hay evidencias de que por efectos de



compensación no podrían seleccionarse ambas características a la vez, por lo cual, podría sugerirse la búsqueda de dos tipos de poblaciones: una con una gran número de ramas (que tendría bajo peso de 1000 semillas) y otras con un alto peso de 1000 semillas (que serían poco ramificadas).

### AGRADECIMIENTO

Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) por haber subvencionado el proyecto. Igualmente a los estudiantes del Decanato de Agronomía de la UCLA que intervinieron en el trabajo de campo y laboratorio.

### LITERATURA CITADA

- Adams, M. 1967. Basis of compensation in crop plants with special reference to field bean (*Phaseolus vulgaris*). *Crop Sci.* 7:505-510.
- Delgado, M. 1994. Correlaciones y coeficientes de trayectoria en ajonjolí (*Sesamum indicum* L.). *Bioagro* 6:18-23.
- FAO. 2003. FAOstat Databases. <http://apps.fao.org/cgi-bin/nph-db.pl>
- Ganesh S., y M. Sakila. 1999. Association analysis of single plant yield and its yield contributing characters in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Sesame and Safflower Newsletter* 14:15-18.
- Gomez, K. y A. Gomez. 1976. Statistical procedures for agricultural research with emphasis on rice. The International Rice Research Institute. Los Baños, Laguna. Filipinas
- Jarwar, A., A. Hameed y M. Lashari. 1998. Genetic analysis of some quantitative characters in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Sesame and Safflower Newsletter* 13:43-48.
- Kathiseran G. y P. Gnanamurthy. 2000. Studies on seed yield-contributing characters in sesame. *Sesame and Safflower Newsletter* 15:29-32.
- Kuruvadi, S. e I. Sánchez-Valdez. 1993. Range of yield components and phenotypic correlations in tepary beans (*Phaseolus acutifolius*) under dryland conditions. In: J. Janick y J.E. Simon (eds.). *New Crops*. Wiley, New York. pp. 594-596.
- Laurentin, H. y D. Montilla. 2002. Variability studies for yield and yield components in white grain sesame. *Sesame and Safflower Newsletter* 17:26-28.
- Li, C. 1975. *Path Analysis: A Primer*. Boxwood Press, Pacific Grove, California.
- Mazzani, B. 1999. Investigación y Tecnología del Cultivo del Ajonjolí en Venezuela. Edición del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT). Caracas. 103 p.
- Montilla D. y T. Cedeño. 1991. Fonucla. Nueva variedad de ajonjolí. *Bioagro* 3(2): 52-54.
- Montilla D. y H. Terán. 1996. UCLA-1, una nueva variedad de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) *Bioagro* 8(1): 26-29.
- Nava, A. y A. Layrisse. 1990. Variedades comerciales de ajonjolí en Venezuela. Fundación para el Desarrollo de las Oleaginosas. Caracas. 56 p.
- Poehlman J. y D. Sleper. 1996. *Breeding Field Crops*. Iowa State University Press. Ames. Iowa.
- Rohlf, F. 1998. NTSYS-pc. Numerical taxonomy and multivariate analysis system (version 2.02j). Exeter Software Publishers. New York. 38 p.
- Solanki, Z. y D. Gupta. 2001. Variability and genetic divergence studies in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Sesame and Safflower*

Newsletter 16:28-31.

18. Weisberg, S. 1985. Applied Linear Regression. Wiley. New York.

19. Yingzhong, Z. y W. Yishou. 2002. Genotypic correlations and path coefficient analysis in sesame. Sesame and Safflower Newsletter 17: 10-12.