

RELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNA Y UNA SERIE DE CARACTERES MORFOLÓGICOS, FENOLÓGICOS Y QUÍMICOS EN SIETE LÍNEAS DE SOYA (*Glycine max* (L.) Merr.)

Manuel H. Reyes Valdés¹
Edgar E. Guzmán²
Diana Jasso³
Adalberto Benavides⁴

RESUMEN

Con el propósito de sugerir posibles vías de selección indirecta sobre el carácter contenido de proteína (expresado como porcentaje de nitrógeno) en las semillas de soya, se analizaron las relaciones entre esta característica y una serie de caracteres cuya medición es relativamente sencilla, aplicando un análisis de correlación lineal simple. Además, sobre los datos se aplicó la técnica de regresión lineal múltiple, conocida como regresión *ridge*, considerando al porcentaje de nitrógeno en las semillas como la variable de respuesta. Sobre los resultados de la regresión *ridge* se llevó a cabo selección subjetiva de variables importantes, considerando la magnitud absoluta de los coeficientes de regresión. Se presentó acuerdo entre las dos técnicas, la de correlación lineal simple y la de regresión *ridge*, en cuanto a las variables marcadas como importantes; sin embargo, la función lineal generada con las variables seleccionadas mostró poca capacidad de predicción, por lo que, de acuerdo con los resultados obtenidos, el intentar llevar a cabo selección indirecta con los caracteres considerados en este estudio sobre el carácter porcentaje de nitrógeno en las semillas, es poco recomendable.

INTRODUCCIÓN

La soya, *Glycine max* (L) Merrill, es la especie de mayor importancia en el mercado agrícola mundial. Los principales productos obtenidos a partir de la semilla de esta planta son aceite y proteína. Hasta el momento, la mayor parte

1 y 2. M.C., 3 Ph.D. Maestros-Investigadores, Depto. de Fitomejoramiento, Div. Agronomía, UAAAN.
4. Tesista

de los esfuerzos para el mejoramiento de la soya se han dirigido hacia el incremento de los rendimientos netos de semilla, y de contenido y calidad del aceite de la misma. Relativamente poco se ha hecho, al menos considerando avances reales, respecto a la obtención de cultivares con mayor concentración de proteína y/o proteína de mayor calidad.

El objetivo del presente trabajo fue detectar y cuantificar las relaciones existentes, a nivel fenotípico, entre un conjunto de variables morfológicas, fenológicas y químicas, y el carácter contenido de proteína en las semillas, esto con el propósito de sugerir posibles formas de selección indirecta.

REVISIÓN DE LITERATURA

La soya es una leguminosa cuyo cultivo se lleva a cabo para la obtención de aceite y proteína principalmente. Tanto el rendimiento como la calidad de la semilla dependen fuertemente de la eficacia general de la planta. La eficiencia de la producción de materia seca por parte de una planta se relaciona con múltiples factores que al final convergen hacia dos procesos principales: fotosíntesis y asimilación de nitrógeno (Evans, 1975; Sinclair y Horie, 1989). Ambos procesos se relacionan de manera recíproca y compleja; la tasa y eficiencia fotosintética dependen del área foliar, del número y disposición de las ramificaciones, de la tasa de aparición y duración foliar, y del contenido de proteína foliar, entre otros caracteres (Evans, 1975). Por otro lado, la asimilación de nitrógeno en forma de NO_3^- , NH_4^+ ó N_2 , depende básicamente de la disponibilidad de energía para los procesos de absorción, reducción, traslocación y asimilación (Shibles *et al.* 1975).

Un punto importante en la mayoría de los programas de mejoramiento de la soya, lo constituye el incremento del rendimiento y del contenido de proteína en las semillas (Hartwig, 1969; Shibles *et al.*, 1975). Sin embargo, la presencia de interrelaciones muy complejas entre los procesos fotosintético y de asimilación de nitrógeno, han causado que hasta el momento esta labor no haya tenido un avance espectacular.

A través del tiempo se han llevado a cabo estudios sobre mejoramiento en la soya. Los enfoques básicos, dejando fuera el incremento en la cantidad y calidad del aceite en las semillas, han sido el incremento en el rendimiento bruto de semillas, incremento en la cantidad de proteína en las semillas, o una mezcla de ambos. Resultados de estos estudios indican la presencia de una relación inversa entre el rendimiento y el contenido de proteína en las semillas (Kwon y Torrie, 1964; Hartwig, 1969; Hartwig y Hinson, 1972).

En un artículo clásico, Sinclair y DeWit (1975), publicaron los resultados de un estudio acerca de la relación entre el rendimiento de grano y el conteni-

do de proteína en las semillas. La conclusión presentada, en cuanto a la soya, fue que es difícil el incremento simultáneo en estos dos caracteres por ser incompatibles desde el punto de vista energético. De acuerdo a los mencionados autores, la incompatibilidad tendría como base la competencia por cetoácidos y por la energía derivada de los fotosintatos entre los sistemas de síntesis de carbohidratos y de proteínas; un impedimento adicional es que un incremento en la concentración de proteína en la semilla, requiere mayor cantidad de nitrógeno absorbido del suelo, proceso cuyo costo energético es relativamente alto.

Al contrario de Sinclair y DeWit (1975), Hanson *et al.* (1961) indicaron que existe la posibilidad de conseguir incrementos, tanto en contenido de proteína como en rendimiento de grano en la soya. Según estos autores, no existe una contradicción energética inherente entre ambos caracteres, y la relación inversa resulta más bien de restricciones ambientales y fisiológicas. Otros autores, como Adams (1967) y Bhatia y Rabson (1976), indicaron que las correlaciones negativas entre diferentes fracciones o componentes del rendimiento, surgen bajo varios tipos de estrés ambiental, y que se derivan de la acción de sistemas genéticamente independientes, pero que interactúan uno con otro a través del desarrollo de la planta.

Estudios llevados a cabo en los últimos años, remarcan las relaciones existentes entre los procesos de fotosíntesis y asimilación de nitrógeno, así como los indicativos fisiológicos o morfológicos de dichas relaciones. Paralelamente, los criterios para seleccionar cultivares de una especie dada, han ampliado su cobertura hasta incluir características fisiológicas y morfológicas (Evans, 1975). La selección conjunta de varios caracteres relacionados con el rendimiento o con otro carácter de interés, es más efectiva y más económica, requiere menos años, menos localidades y un número menor de pruebas de comparación, que la selección para el carácter individual de interés (Johnson *et al.*, 1955). Es por esto que, de unos años a la fecha, se ha puesto especial énfasis en los enfoques multivariados de selección, considerando tanto las contribuciones relativas de diferentes caracteres a una o más variables económicamente importantes, como su aplicación en la conservación de la diversidad genética de las especies de cultivo (Denis y Adams, 1978; Bhatt, 1976; Ghaderi *et al.*, 1979).

Entre las alternativas de utilizar caracteres fisiológicos o caracteres morfológicos es, al parecer, más recomendable el uso de los últimos (Sherrard *et al.*, 1986; Buttery y Buzzel, 1988). A este respecto, estudios multivariados en la soya fueron realizados por Williams *et al.* (1979), Johnson *et al.* (1955) y Broich y Palmer (1980), entre otros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Los materiales utilizados fueron las siguientes líneas:

1. Tapachula 86.*
2. Santa Rosa.
3. Júpiter.
4. UFV-1.
5. H80-25-35.
6. H80-26-39.
7. H82-16-71.
8. H86-51-50.

*para esta línea no fue posible coleccionar los datos.

El suelo utilizado fue uno con gran cantidad de mantillo coleccionado en una zona forestal cercana a Jagüey de Ferniza, Municipio de Saltillo, Coah. El análisis del suelo, llevado a cabo en el Laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, indicó como caracteres relevantes un contenido alto de materia orgánica y nitrógeno, un pH de 6.7 y un contenido bajo de hierro.

Procedimiento experimental.

El trabajo experimental se llevó a cabo en uno de los invernaderos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro durante el año de 1989. Con el suelo cribado se llenaron macetas de material plástico color negro. La fecha de siembra fue el 22 de abril y la fecha de cosecha fue variable de acuerdo con la línea de que se tratara. La cosecha consistió en el total de material reproductivo más el vegetativo, excepto la raíz, y se llevó a cabo un poco antes del período R7, según lo definen Fehr *et al.* (1971). Como fertilizante se aplicó solución nutritiva de Hoagland; la solución se aplicó un total de cuatro veces, 25 mililitros por maceta en cada ocasión, al presentarse indicios de clorosis en las plantas.

El diseño experimental utilizado fue el completamente aleatorio con cuatro repeticiones. Cada línea se consideró un tratamiento y cada maceta, con aclareo a cuatro plantas, se consideró una repetición.

Para cada una de las plantas se obtuvieron datos acerca de 18 variables de tipo morfológico, fenológico, de peso seco y de contenido de nitrógeno. Las variables consideradas fueron las siguientes:

1. X1: días a R1.
2. X2: días a R6-R7
3. X3: altura de planta

4. X4: número de nudos
5. X5: número de nudos reproductivos
6. X6: número de vainas
7. X7: número de trifolios
8. X8: número de ramificaciones
9. X9: número de semillas
10. X10: longitud foliar acumulada (suma de las longitudes de la planta al momento de la cosecha).
11. X11: ancho foliar acumulado (lo mismo que la variable anterior pero con referencia a la anchura de la lámina foliar).
12. X12: porcentaje de germinación de las semillas progenitoras.
13. X13: peso seco de las vainas
14. X14: peso seco de las semillas
15. X15: peso seco de las partes vegetativas
16. X16: peso promedio de las semillas progenitoras
17. X17: porcentaje de nitrógeno en las semillas
18. X18: porcentaje de nitrógeno en las partes vegetativas

Los análisis químicos necesarios para la obtención de los datos de porcentaje de nitrógeno se realizaron en el Laboratorio de Análisis Químicos del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Análisis estadístico

El primer paso del análisis estadístico fue la obtención de la matriz de correlaciones. Posterior a esto se realizó una regresión múltiple, en su modalidad *ridge* (Hoerl y Kennard, 1970), de la variable porcentaje de nitrógeno en las semillas (X18) sobre las restantes variables.

Descripción de los métodos estadísticos:

Sea X una matriz de datos de orden $(n \times k)$, en donde n es el número de observaciones y k es el número de variables consideradas. Si los datos se ajustan respecto a su media (la media de cada variable) y se dividen entre su desviación estándar, entonces:

$$R = \left[\frac{1}{n-1} \right] X'X \quad (1)$$

es la matriz de correlaciones de orden $(k \times k)$.

Sea ahora X la matriz de las variables predictoras, de orden $(n \times (k + 1))$, y sea Y el vector de observaciones de la variable de respuesta, de orden $(n \times 1)$. El modelo lineal de primer orden se define como:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (2)$$

en donde β es un vector de orden $((k + 1) \times 1)$ que contiene a los parámetros del modelo o coeficientes de regresión y ε es un vector de desviaciones aleatorias de orden $(n \times 1)$. Respecto al vector ε se supone independencia entre sus elementos y que los mismos tengan distribución normal con media cero y varianza σ^2 . Por otro lado, debe de notarse que la matriz X de la ecuación (1) es diferente a la matriz X del modelo (2); en el primer caso, X incluye a todas las variables, mientras que en el segundo caso, X incluye únicamente a las variables predictoras.

Cuando el producto $X'X$ es o se encuentra cercano a ser una matriz unidad, la mejor estimación de los coeficientes de regresión es:

$$b = (X'X)^{-1} X'Y \quad (3)$$

la cual es resultado de un ajuste para cuadrados mínimos (Draper y Smith, 1981).

Cuando, por otro lado, la matriz $X'X$ muestra algún grado de degeneración, entonces, dependiendo de la magnitud del problema, la varianza de las estimaciones, y por ende la distancia respecto a los valores poblacionales, tiende a incrementarse. Como resultado de esto, las estimaciones de los coeficientes de regresión pueden presentar errores fuertes en magnitud e incluso de signo.

Como solución al problema de multicolinealidad, que es el término aplicado a la condición de degeneración de la matriz $X'X$, Hoerl y Kennard (1970) propusieron un procedimiento de estimación sesgado que, sin embargo, genera resultados, al parecer, más adecuados que el procedimiento de ajuste ordinario. Al procedimiento sesgado se le llama ajuste o regresión *Ridge* y se basa en una manipulación de la matriz de correlaciones, realizada con la finalidad de que esta última se comporte como una matriz unidad. Las estimaciones *ridge* de los parámetros del modelo son:

$$b_R = (X'X + \omega I)^{-1} X'Y, \quad \omega \geq 0 \quad (4)$$

en donde ω es el llamado coeficiente de sesgo y I es una matriz unidad de orden k . Para una estimación b_R la suma de cuadrados residual es:

$$SCR = Y'Y - (b_R)'X'Y - \omega (b_R)'(b_R). \quad (5)$$

Mayores detalles sobre el procedimiento *ridge* se encuentran en Hoerl y Kennard (1970) y en Hocking (1976).

RESULTADOS

La matriz de correlaciones para las 18 variables se anota en el Cuadro 2. En el Cuadro 1, por otro lado, se anotan aquellos valores del coeficiente de correlación marcados como significativos, al nivel $\alpha = 0.1$, entre la variable porcentaje de nitrógeno en las semillas y las restantes variables.

En el mismo cuadro se tienen dos coeficientes de correlación con signo negativo, son los correspondientes a las variables X12 (porcentaje de germinación de las semillas progenitoras) y X16 (peso promedio de las semillas progenitoras), las cuales sirven como índice de la viabilidad de la semilla que originó a las plantas sobre las que se llevaron a cabo las mediciones. De los coeficientes de correlación con signo positivo, los más altos correspondieron a las variables que indican el reparto temporal entre las diferentes fases del ciclo de vida de la planta, es decir, período vegetativo o de acumulación de tejido fotosintético y de soporte (variable X1), y el período que corresponde a la floración y al llenado del grano (variable X2).

Es interesante sobre todo la relación marcada entre el peso seco de las semillas (variable X14) y el peso seco de las partes vegetativas con la variable considerada de respuesta, el porcentaje de nitrógeno en las semillas. En ambos casos se marcó una relación positiva. Para éste y los restantes casos, debe remarcarse el hecho de que ninguno de los valores absolutos de los coeficientes de correlación es lo suficientemente alto como para considerarlo útil en forma individual, para propósitos de predicción.

Los resultados de la regresión *ridge* se anotan en el Cuadro 3. Lo que allí se ve es resultante de realizar 11 ajustes con valores del coeficiente de sesgo, w , desde cero hasta uno, incrementándose este valor en una décima de unidad en cada ocasión.

Cuadro 1. Listado de valores marcados como significativos de la correlación lineal simple entre la variable porcentaje de nitrógeno en las semillas y los restantes caracteres.

| Variable | Valor de r |
|---|------------|
| 1 Días a R 1 | 0.3725 |
| 2 Días a R6-R7 | 0.4317 |
| 6 Número de vainas | 0.2320 |
| 9 Número de semillas | 0.2045 |
| 12 Porcentaje de germinación de las semillas progenitoras | -0.2402 |
| 13 Peso seco de las vainas | 0.1918 |
| 14 Peso seco de las semillas | 0.2999 |
| 15 Peso seco del tallo, ramificaciones y partes foliares | 0.1999 |
| 16 Peso promedio de las semillas progenitoras | -0.2996 |

Cuadro 2. Matriz de correlaciones para las 18 variables consideradas en el estudio.

| Variable | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| X1 | 1 | .9582 | -.1679 | -.2692 | -.4789 | .1286 | -.1075 | .0243 | .0426 |
| X2 | .9582 | 1 | -.2296 | -.2308 | -.4444 | .1721 | -.0543 | .0772 | .0828 |
| X3 | -.1679 | -.2296 | 1 | .3034 | .4088 | .1653 | .2160 | .1854 | .2257 |
| X4 | -.2692 | -.2308 | .3034 | 1 | .7329 | .4926 | .5152 | .5887 | .5203 |
| X5 | -.4789 | -.4444 | .4088 | .7329 | 1 | .4169 | .4595 | .5842 | .4870 |
| X6 | .1286 | .1721 | .1653 | .4926 | .4169 | 1 | .8995 | .6416 | .9732 |
| X7 | -.1075 | -.0543 | .2160 | .5152 | .4595 | .8995 | 1 | .6345 | .8747 |
| X8 | .0243 | .0772 | .1854 | .5887 | .5842 | .6416 | .6345 | 1 | .6040 |
| X9 | .0426 | .0828 | .2257 | .5203 | .4870 | .9732 | .8747 | .6040 | 1 |
| X10 | .0047 | .0577 | .2182 | .4893 | .4075 | .9400 | .9387 | .5731 | .9545 |
| X11 | .0302 | .0898 | .2479 | .5054 | .4369 | .9071 | .9015 | .5972 | .9264 |
| X12 | -.4218 | -.6190 | .3203 | .1158 | .2390 | -.1678 | -.0982 | -.1449 | -.1145 |
| X13 | .0770 | .1326 | .2067 | .4805 | .4680 | .9551 | .8520 | .5782 | .9780 |
| X14 | .1242 | .1909 | .2254 | .4070 | .4513 | .9294 | .7840 | .5776 | .9504 |
| X15 | .1336 | .1961 | .2183 | .4853 | .4183 | .9313 | .8397 | .6192 | .9317 |
| X16 | -.6422 | -.7694 | .3052 | .2373 | .2773 | -.0610 | .0674 | .0254 | -.0310 |
| X17 | .3725 | .4317 | .0334 | -.0547 | -.0964 | .2320 | .0827 | .1570 | .2045 |
| X18 | -.5365 | -.4820 | -.0365 | .1374 | .0996 | .0036 | .1902 | -.0373 | .0184 |

| Variable | X10 | X11 | X12 | X13 | X14 | X15 | X16 | X17 | X18 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| X1 | .0047 | .0302 | -.4218 | .0770 | .1242 | .1336 | -.6422 | .3725 | -.5365 |
| X2 | .0577 | .0898 | -.6190 | .1326 | .1909 | .1961 | -.7694 | .4317 | -.4820 |
| X3 | .2182 | .2479 | .3203 | .2067 | .2254 | .2183 | .3052 | .0334 | -.0365 |
| X4 | .4893 | .5054 | .1158 | .4805 | .4070 | .4853 | .2373 | -.0547 | .1374 |
| X5 | .4075 | .4369 | .2390 | .4680 | .4513 | .4183 | .2773 | -.0964 | .0996 |
| X6 | .9400 | .9071 | -.1678 | .9551 | .9294 | .9313 | -.0610 | .2320 | .0036 |
| X7 | .9387 | .9015 | -.0982 | .8520 | .7840 | .8397 | .0674 | .0827 | .1902 |
| X8 | .5731 | .5972 | -.1449 | .5782 | .5776 | .6192 | .0254 | .1570 | -.0373 |
| X9 | .9545 | .9264 | -.1145 | .9780 | .9504 | .9317 | -.0310 | .2045 | .0184 |
| X10 | 1 | .9644 | -.1704 | .9403 | .8833 | .9207 | -.0389 | .1413 | .1305 |
| X11 | .9644 | 1 | -.1912 | .9258 | .8646 | .9623 | -.0738 | .1427 | .1325 |
| X12 | -.1704 | -.1912 | 1 | -.1990 | -.2299 | -.2461 | .6971 | -.2402 | .1386 |
| X13 | .9403 | .9258 | -.1990 | 1 | .9700 | .9533 | -.1086 | .1918 | -.0030 |
| X14 | .8833 | .8646 | -.2299 | .9700 | 1 | .9184 | -.1685 | .2999 | -.0831 |
| X15 | .9207 | .9623 | -.2461 | .9533 | .9184 | 1 | -.1182 | .1999 | .0246 |
| X16 | -.0389 | -.0738 | .6971 | -.1086 | -.1685 | -.1182 | 1 | -.2996 | .3811 |
| X17 | .1413 | .1427 | -.2402 | .1918 | .2999 | .1999 | -.2996 | 1 | .0363 |
| X18 | .1305 | .1325 | .1386 | -.0030 | -.0831 | .0246 | .3811 | .0363 | 1 |

Cuadro 3. Valores de los coeficientes de regresión parcial estandarizados para valores del coeficiente de sesgo, w , de cero a uno. La regresión es de la variable porcentaje de nitrógeno en las semillas sobre las restantes variables.

| w | Coeficientes | | | | | | | | |
|-----|--------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 |
| 0.0 | -0.4345 | 1.2182 | 0.1128 | 0.0318 | -0.1154 | -0.4812 | 0.3000 | 0.0535 | 1.2590 |
| 0.1 | 0.1023 | 0.3668 | 0.1500 | -0.0623 | -0.0385 | 0.1319 | -0.1162 | 0.1318 | 0.1710 |
| 0.2 | 0.1318 | 0.2785 | 0.1243 | -0.0625 | -0.0290 | 0.1026 | 0.0980 | 0.1088 | 0.1124 |
| 0.3 | 0.1340 | 0.2359 | 0.1059 | -0.0578 | -0.0276 | 0.0846 | -0.0808 | 0.0924 | 0.0865 |
| 0.4 | 0.1305 | 0.2089 | 0.0922 | -0.0531 | -0.0277 | 0.0730 | -0.0676 | 0.0805 | 0.0716 |
| 0.5 | 0.1256 | 0.1896 | 0.0815 | -0.0490 | -0.0281 | 0.0650 | -0.0575 | 0.0715 | 0.0619 |
| 0.6 | 0.1206 | 0.1747 | 0.0728 | -0.0456 | -0.0283 | 0.0592 | -0.0496 | 0.0645 | 0.0551 |
| 0.7 | 0.1158 | 0.1628 | 0.0657 | -0.0426 | -0.0284 | 0.0547 | 0.0433 | 0.0588 | 0.0500 |
| 0.8 | 0.1113 | 0.1530 | 0.0597 | -0.0401 | -0.0283 | 0.0511 | -0.0382 | 0.0542 | 0.0462 |
| 0.9 | 0.1072 | 0.1447 | 0.0546 | -0.0379 | -0.0281 | 0.0482 | -0.0340 | 0.0504 | 0.0431 |
| 1.0 | 0.1033 | 0.1375 | 0.0502 | -0.0359 | -0.0279 | 0.0458 | -0.0304 | 0.0471 | 0.0405 |

| w | Coeficientes | | | | | | | |
|-----|--------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|
| | X10 | X11 | X12 | X13 | X14 | X15 | X16 | X18 |
| 0.0 | -0.7378 | 0.0652 | 0.1707 | -1.6331 | 1.6862 | -0.3202 | 0.0703 | 0.5054 |
| 0.1 | -0.1532 | -0.1841 | 0.0440 | -0.1198 | 0.4675 | -0.1316 | -0.0920 | 0.3858 |
| 0.2 | -0.0989 | -0.1310 | 0.0173 | -0.0415 | 0.3109 | -0.0707 | -0.0871 | 0.3050 |
| 0.3 | -0.0719 | -0.0966 | 0.0030 | -0.0172 | 0.2383 | 0.0424 | -0.0821 | 0.2518 |
| 0.4 | -0.0551 | -0.0742 | -0.0061 | -0.0060 | 0.1955 | -0.0262 | -0.0781 | 0.2138 |
| 0.5 | -0.0436 | -0.0587 | -0.0123 | 0.0002 | 0.1670 | -0.0160 | -0.0749 | 0.1852 |
| 0.6 | -0.0352 | 0.0474 | -0.0167 | 0.0042 | 0.1466 | -0.0090 | -0.0722 | 0.1630 |
| 0.7 | -0.0289 | 0.0389 | -0.0200 | 0.0068 | 0.1313 | -0.0039 | -0.0699 | 0.1451 |
| 0.8 | -0.0239 | -0.0323 | -0.0224 | 0.0087 | 0.1193 | -0.0002 | -0.0678 | 0.1305 |
| 0.9 | -0.0199 | -0.0271 | -0.0242 | 0.0101 | 0.1097 | 0.0026 | -0.0659 | 0.1182 |
| 1.0 | -0.0166 | -0.0228 | -0.0256 | 0.0112 | 0.1018 | 0.0049 | -0.0642 | 0.1079 |

La *ridge trace* construida con los valores anotados en el Cuadro 3, puede apreciarse en la Figura 1. La *ridge trace* proporciona un indicativo visual del comportamiento complejo de los coeficientes de regresión parcial estandarizados, conforme se añaden sucesivos valores del coeficiente de sesgo a la matriz de correlaciones.

El punto seleccionado como aquél en que los coeficientes de regresión muestran un comportamiento estable, fue el correspondiente a un valor del coeficiente de sesgo de $w = 0.7$. En este punto, las variables consideradas como importantes para la determinación del porcentaje de nitrógeno en las semillas, fue-

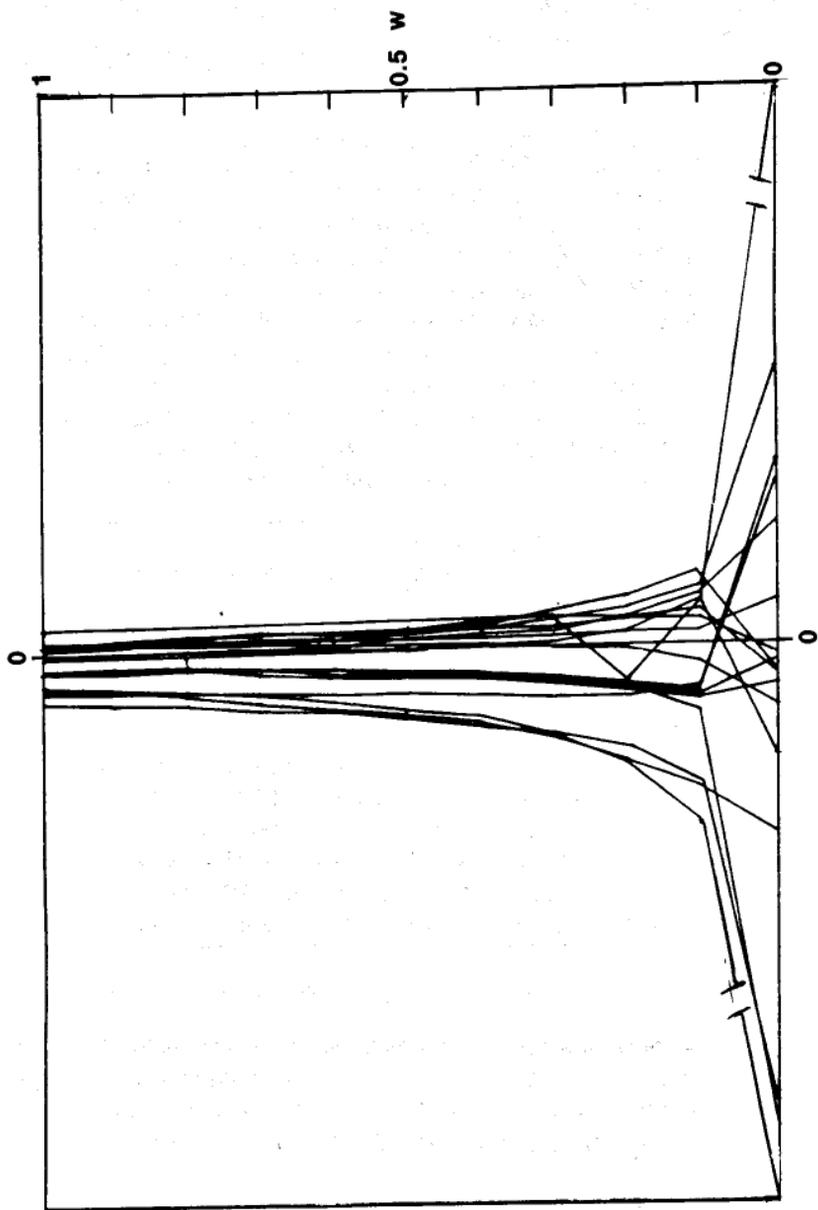


Figura 1. Ridge trace para la regresión múltiple de la variable porcentaje de nitrógeno en las semillas sobre las restantes variables. Los valores sobre el eje de las abscisas corresponden al coeficiente de sesgo, w ; los valores sobre el eje de las ordenadas son los de los coeficientes *ridge*.

ron: X1, días a R1; X2, días a R6-R7; X14, peso seco de las semillas y X18, el porcentaje de nitrógeno en las partes vegetativas al momento de la cosecha. Para las cuatro variables el coeficiente de regresión fue positivo.

La habilidad predictora de la función lineal generada por el ajuste de regresión se establece en términos de las sumas de cuadrados total y residual. Para el caso de la regresión *ridge*, considerada la suma cuadrados total, fue de 74.0001, mientras que la suma de cuadrados residual fue de 73.7170. Puede apreciarse que la habilidad predictora de la función lineal es prácticamente nula.

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo apoyan la hipótesis de que la relación inversa observada entre la variable porcentaje de nitrógeno en las semillas y el peso seco de las mismas, y reportada por investigadores como Sinclair y DeWit (1975, 1976), Kwon y Torrie (1964), Hartwig (1969) y Hartwig y Hinson (1972) es resultado no de una contradicción energética básica, sino de restricciones ambientales y fisiológicas, tal como ha sido marcado por Hanson *et al.* (1961), Adams (1967) y Bhatia y Rabson (1976).

En el presente estudio el coeficiente de correlación lineal simple entre los caracteres porcentaje de nitrógeno en las semillas y peso seco de las mismas fue de signo positivo y significativo, si bien fue de valor bajo. Un comportamiento análogo se observó en los resultados del análisis de regresión *ridge*, en donde el coeficiente de regresión de la variable peso seco de las semillas fue de signo positivo, considerando al porcentaje de nitrógeno en las semillas como variable de respuesta.

Los resultados obtenidos indican que, al parecer, es posible la selección de cultivares de alto rendimiento y con un contenido alto de proteína en las semillas. Sin embargo, tal parece que la selección debe realizarse en ambientes sin restricciones.

En consideración a la regresión lineal múltiple de la variable porcentaje de nitrógeno sobre las restantes 17 variables, los resultados fueron desalentadores. La suma de cuadrados de regresión, $(b_R)'X'Y + \omega (b_R)'(b_R)$, constituyó una parte mínima de la suma de cuadrados total. Esto indica la escasa utilidad de la función lineal generada para propósitos de predicción.

A no ser que el resultado obtenido en cuanto a la determinación del contenido porcentual de nitrógeno en las semillas sea un artefacto resultante del pequeño número de líneas y cultivares utilizados, es dudoso que sea posible llevar a cabo selección indirecta sobre el carácter contenido de nitrógeno en las

semillas utilizando caracteres morfológicos fácilmente medibles como los utilizados en este trabajo. Con toda seguridad que pueden encontrarse uno o más caracteres que funcionen como indicadores indirectos del contenido porcentual de nitrógeno en las semillas, pero el problema es que debe de evitarse, dentro de lo posible, que estos caracteres se coloquen en la categoría de caracteres microscópicos o macroscópicos difíciles de cuantificar o apreciar.

CONCLUSIONES

No se encontró una relación inversa entre los caracteres peso seco de las semillas y contenido porcentual de nitrógeno en las mismas. En cuanto a la determinación del porcentaje de nitrógeno en las semillas, sólo unas pocas variables, días a R1 (x_1), días a R6-R7 (x_2), peso seco de las semillas (x_{14}) y porcentaje de nitrógeno en las partes vegetativas (x_{18}), fueron marcadas como importantes, si bien los valores de los coeficientes de correlación lineal simple y de determinación múltiple para la regresión *ridge* indicaron que el uso de estas variables "importantes" es poco recomendable para propósitos de predicción o de selección indirecta sobre el carácter porcentaje de nitrógeno en las semillas.

Al parecer, el enfoque de selección indirecta sobre el carácter contenido porcentual de nitrógeno en las semillas es poco viable cuando se utilizan caracteres morfológicos y fenológicos como indicadores. Esta conclusión, claro está, es aplicable únicamente al espectro de caracteres considerados en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, M.W. 1967. Basis of yield component compensation in crop planta with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris*. *Crop Sci.* 7(5):505-510. United States of America.
- Bhatia, C.R. y R. Rabson. 1976. Bioenergetic considerations in cereal breeding for protein improvement. *Science.* 194(4272):1418- 1421. United States of America.
- Bhatt, G.M. 1976. An application of multivariate analysis to selection for quality characters in wheat. *Austral. J. Agr.* 27(1):11-18. Australia.
- Broich, S.L. y R.G. Palmer. 1980. A cluster analysis of wild and domesticated soybean phenotypes. *Euphytica* 29(1):23-32. The Netherlands.
- Buttery, B.R. y R.I. Buzzell. 1988. Soybean leaf nitrogen in relation to photosynthetic rate and yield. *Can. J. Plant Sci.* 68(3):793-795. Canada.

- Denis, J.C. y M.W. Adams. 1978. A factor analysis of plant variables related to yield in dry beans. I. Morphological Traits. *Crop Science* 18(1):74-78. United States of America.
- Draper, N.R. y H. Smith. 1981. *Applied regression analysis*. John Wiley & Sons, Inc. New York. United States of America. 709 p.
- Evans, L.T. 1975. The physiological basis of crop yield. In: Evans, L.T. (Ed.) *Crop Physiology: some case histories*. Cambridge University Press, London. U.K. p. 327-355.
- Ghaderi, A., M. Shishegar y B. Ehdai. 1979. Multivariate analysis of genetic diversity for yield and its components in mung bean. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 104(6):728-731. United States of America.
- Hanson, W.D., R.C. Leffel y R.H. Howell. 1961. Genetic analysis of energy production in the soybean. *Crop Sci.* 1(2):121-126. United States of America.
- Hartwig, E.E. 1969. Breeding soybeans for high protein content and quality. In: *FAO/IAEA Division of atomic energy in food and agriculture (Ed.). New approaches to breeding for improved plant protein*. International Atomic Energy Agency (IAEA). Vienna. Austria. p. 67-70.
- Hartwig, E.E. y K. Hinson. 1972. Association between chemical composition of the seed and seed yield of soybeans. *Crop Sci.* 12(5):829-830. United States of America.
- Hoerl, A.E. y R.W. Kennard. 1970. Ridge Regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics* 12(1):55-67. United States of America.
- Johnson, H.W., H.F. Robinson y R.E. Comstock. 1955. Genotypic and phenotypic correlations in soybeans and their implications in selection. *Agron. J.* 47(3):477-483. United States of America.
- Kwon, S.H. y J.H. Torrie. 1964. Heritability of and interrelationships among traits of two soybean populations. *Crop Sci.* 4(2):196-198. United States of America.
- Sherrard, J.H., R.J. Lambert, F.E. Below, R.T. Dunand, M.J. Messmer, M.R. Willman, C.S. Winkels y R.H. Hageman. 1986. Use of physiological traits, especially those of nitrogen metabolism for selection in maize. In: *Neyra, C.A. (Ed.) Biochemical Basis of Plant Breeding*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. United States of America. p. 109-130.

Shibles, R., I.C. Anderson y A.H. Gibson. 1975. Soybean. In: Evans, L.T. (Ed.) Crop Physiology: some case histories. Cambridge University Press, London. U:K: p. 151-189.

Sinclair, T.R. y C.T. DeWit. 1975. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. Science 189(4202):565-567. United States of America.

Sinclair, T.R. y T. Horie. 1989. Leaf Nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. Crop Sci. 29(1):90-98. United States of America.

Williams, W.A., C.O. Qualset y S. Geng. 1979. Ridge regression for extracting soybean yield factors. Crop Sci. 19(6):869-873. United States of America.