

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
Sistema de Estudios de Posgrado

**ASOCIACION DE ALGUNAS CARACTERISTICAS CUANTITATIVAS
CON EL RENDIMIENTO DE LA SOYA (*Glycine max* (L) Merrill)
EN CONDICIONES TROPICALES**

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del
Programa de Estudios de Posgrado en Biología
para optar al grado de Magister Scientiae

ENRIQUE VILLALOBOS RODRIGUEZ
1979

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
Costa Rica

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Quiero expresar mi agradecimiento a los doctores Ronald Echandi y Ramiro Barrantes por su orientación en la conducción del trabajo y en el análisis estadístico de los resultados respectivamente. A los doctores Eduardo Jiménez y Jorge Mora quiero expresarles mi agradecimiento, tanto por sus valiosas sugerencias como por la corrección del texto original. Por sobre todo quiero agradecer la forma sincera y afectuosa con que todos ellos hicieron su trabajo.

No puedo omitir los nombres de la señora Thais Rosabal y Giselle Ortiz por su magnífico trabajo mecanográfico y por su deseo manifiesto de hacer las cosas bien.

También deseo de ~~esta~~ constancia de mi agradecimiento a mi esposa Ana Victoria por su apoyo moral y por su colaboración tan valiosa en el recuento y evaluación de algunas variables estudiadas en la presente investigación. A ella y a nuestro pequeño Max Enrique les dedico mi esfuerzo objetivado en este texto.

"Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Biología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Magister Scientiae."



Ronald Echandi Z., Ph. D.

Director de Tesis



Ramiro Barrantes Ph. D.

Miembro del Comité Asesor



Eduardo Jiménez S., Ph. D.

Miembro del Comité Asesor



Jorge Mora U., Ph. D.

Miembro del Comité Asesor



Elemer Bornemisza S., Ph. D.

Coordinador del Sistema de Estudios de Posgrado, UCR



Jorge Jiménez J., Ph. D.

Coordinador del Programa de Posgrado en Biología



Enrique Villalobos R.

Estudiante

INDICE

	PAGINA
RESUMEN.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE CUADROS.....	10
INTRODUCCION.....	11
REVISION DE LITERATURA.....	13
Aspectos Generales.....	13
Componentes Básicos del Rendimiento.....	18
Respuestas Fotoperiódicas.....	24
Otras características.....	28
MATERIALES Y METODOS.....	31
Ubicación del experimento.....	31
Condiciones de clima y suelo.....	31
Materiales experimentales.....	31
Fertilización e inoculación.....	34
Fecha de siembra y distribución en el campo.....	34
Control de malezas.....	35
Protección contra insectos y enfermedades.....	36
Muestreo.....	37
Características evaluadas.....	37
Análisis estadístico.....	41
RESULTADOS Y DISCUSION.....	46
Variabilidad de la población experimental.....	46
Análisis de Correlación.....	49
Análisis de Regresión Múltiple.....	54
CONCLUSIONES.....	62
BIBLIOGRAFIA.....	65

RESUMEN

ASOCIACION DE ALGUNAS CARACTERISTICAS CUANTITATIVAS CON EL RENDIMIENTO DE LA SOYA (*Glycine max* L Merrill). El objetivo del presente estudio fue identificar y evaluar las principales variables morfológicas y fisiológicas relacionadas con el rendimiento de la soya. Una vez conocidas, dichas características se podrían utilizar como "indicadores" en programas de mejoramiento por selección visual o para incorporarlas a nuevas líneas o cultivares. Para tal fin se seleccionaron 10 cultivares: Improved Pelican, Júpiter, Chung-Hsieng, Mandarin-Com, Clark-63, Williams, Nanda, Negra-25-SPS, FAO-27396 y Brasil L-652, los cuales difieren entre sí en cuanto a origen, hábito de crecimiento y otras características agronómicas.

Las variables escogidas para asociar con el rendimiento se agrupan de la siguiente manera: 1) Componentes básicos del rendimiento: número de vainas por planta, número de semillas por vaina, el peso de la semilla y el número de semillas por planta, 2) Respuestas fotoperiódicas: número de días a la floración y a la madurez, altura de la planta y número de nudos por planta y 3) Otras: período de floración y altura del tercer nudo. Esta última se empleó para estimar la altura de las primeras vainas.

Los materiales se sembraron en el campo de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones, siguiendo la metodología empleada anteriormente por otros investigadores. Cada repetición consistió de 4 surcos de 3 metros de largo, con una distancia entre surcos de 50 cm. y de 5 cm. entre plantas. La evaluación de las características estudiadas se hizo en 12 plantas tomadas al azar de los 2 surcos centrales de la parcela.

El grado de asociación entre las características se calculó por medio de un análisis de correlación múltiple y la contribución de cada característica al rendimiento por planta, se midió empleando la técnica de regresión múltiple escalonada ("stepwise multiple regression"). Los componentes básicos del rendimiento se estudiaron más exhaustivamente aplicando un análisis "path" de regresión.

Los estudios de correlación múltiple mostraron que hay una estrecha relación entre las diferentes variables estudiadas. Las correlaciones más relevantes son las que asocian a los componentes directos del rendimiento. Estos, en concordancia con la literatura, mostraron en general correlaciones múltiples negativas. Algunos autores atribuyen ese comportamiento a la competencia entre frutos por el suministro de nutrientes. Bajo esta circunstancia, el efecto positivo de uno de los componentes coloca en desventaja a los otros y, en consecuencia, se presenta la correlación negativa. De dichos componentes básicos, únicamente el número de semillas por vaina no estuvo correlacionado significati-

vamente con el rendimiento por planta.

El número de días a la floración y a la madurez respectivamente, la altura de la planta y el número de nudos por planta están correlacionados positiva y significativamente, tanto entre sí como con el rendimiento de la planta. Este comportamiento lógico lo es aún más si consideramos que la soya es una especie de "día corto". En consecuencia, cuanto mayor sea el número de días que le tome para florecer, tanto mayor será el número de días de que disponga para crecer y acumular reservas nutritivas para la cosecha.

Finalmente, de las otras características estudiadas, tanto el período de floración como la altura del tercer nudo estuvieron correlacionadas negativamente con el rendimiento por planta.

Mediante la técnica de regresión múltiple escalonada se llegó a la comprobación de que el número de semillas por planta fue la variable que mostró una influencia más determinante sobre el rendimiento por planta ya que explicó un 78,15% de la variación de este factor. La segunda variable en importancia fue el peso de la semilla, el cual explicó un 13,26% de la variación. Las 3 características restantes solamente contribuyeron en conjunto con un 1% de la variabilidad del rendimiento. Por medio del análisis de regresión "path" se llegó a confirmar que el número de semillas por planta y el peso de la semilla son los dos componentes del rendimiento que ejercen los efectos positivos directos más

fuertes sobre el rendimiento por planta. Dado que el número de semillas por planta tiene una influencia considerablemente mayor que el peso de la semilla, la selección indirecta de fenotipos de soya más rendidores, debe hacerse a través de la primera característica.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
N° 1	Datos de precipitación y temperatura que prevalecieron durante el ensayo.....	32
N° 2	Diagrama general "path" que ilustra la forma en que se obtuvieron los efectos directos e indirectos de los componentes básicos del rendimiento en soya.....	43
N° 3	Diagrama con los valores de los coeficientes "path" y los coeficientes de correlación, mediante los cuales se obtuvieron los efectos directos e indirectos de los componentes del rendimiento sobre el rendimiento por planta en soya.....	53

LISTA DE CUADROS

CUADRO		PAGINA
N° 1	Variabilidad fenotípica de las características estudiadas.....	47
N° 2	Valores promedio de 11 características evaluadas en los 10 cultivares de soya.....	48
N° 3	Matriz de coeficientes de correlación total entre las 11 características estudiadas.....	52
N° 4	Análisis de regresión múltiple escalonada entre las variables independientes estudiadas y el rendimiento por planta en soya.....	50
N° 5	Análisis de regresión entre algunas variables independientes estudiadas y el rendimiento por planta en soya. Se excluye el número de semillas por planta.....	56
N° 6	Análisis "path" que muestra los efectos directos e indirectos de 4 componentes básicos del rendimiento sobre el rendimiento por planta en soya.....	59

1. INTRODUCCION

En Costa Rica, principalmente en los últimos años, se ha venido manifestando un marcado interés por el cultivo de soya, no sólo por la importancia económica que esta leguminosa representa para el país, sino también por el gran valor nutricional de la misma.

Las importaciones de soya para la elaboración de concentrados animales han venido aumentando en forma considerable; por otra parte la elaboración de productos rico-energéticos para consumo humano ha venido cobrando cada vez más interés de parte de instituciones que manejan programas de nutrición humana.

El Centro de Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS), de la Universidad de Costa Rica ha tenido a su cargo por varios años un programa de introducción y selección de material genético de soya proveniente de diferentes áreas ecológicas, con el fin de seleccionar aquellas variedades o líneas que ofrecen mejores resultados en nuestro medio. Sin embargo, en la mayoría de los casos la cantidad de materiales que se introduce es muy grande, mientras que la cantidad de semilla de cada genotipo es muy pequeña. Consecuentemente se hace necesaria una selección visual previa de los materiales con mejor adaptación al medio y supuestamente más prometedores desde el punto de vista de su productividad. De esta forma se reduce el número de variedades o líneas que serán some-

tidos a una evaluación posterior más rigurosa.

La selección visual también se emplea normalmente para escoger individuos en generaciones tempranas, cuando se realizan programas de hibridización.

Sin embargo, la selección visual no es un método eficaz, pudiéndose mejorar si se toman en cuenta las características que más contribuyen al rendimiento, especialmente si tienen una heredabilidad mayor que el rendimiento tomado en forma global.

El objetivo de la presente investigación fue estudiar las características de la planta de soya que están más estrechamente asociadas con el rendimiento y determinar su interrelación, de tal manera que se pueda tener una base para orientar la selección de fenotipos de mayor productividad en esta leguminosa de grano, en condiciones tropicales.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Aspectos generales.

El desarrollo de variedades de mayor rendimiento es uno de los principales objetivos del mejoramiento genético de las plantas; sin embargo este carácter al igual que muchos otros de interés agronómico se hereda en forma cuantitativa y es muy influenciado por las condiciones ambientales (31), manifestando una heredabilidad muy baja (8,41). Como anota Adams (2), la producción de grano es la resultante de la interacción de un gran número de componentes, algunos de los cuales son claramente estructurales, mientras que otros son fisiológicos o forman parte de los procesos del desarrollo. De tal forma que para lograr una selección eficiente de genotipos más rendidores se hace indispensable conocer el grado de asociación de los diferentes factores que determinan el rendimiento y de esta manera orientar el proceso selectivo hacia la identificación de aquellas características más estrechamente asociadas con el mismo (13, 53, 64). También debe tenerse en mente que la selección indirecta de un carácter puede ser superior a la selección directa siempre y cuando exista una correlación alta entre las características y que la heredabilidad del carácter por medio del cual se selecciona, sea más alta que la del carácter que se pretende seleccionar (8, 23).

Según Brim (3) muchos de los estudios de la heredabilidad de las principales características cuantitativas en soya se han realizado con progenies muy homogéneas genéticamente y en algunos casos no se ha realizado una partición de la variancia genotípica en sus componentes. Sin embargo, según este mismo autor, algunas características como altura de la planta, resistencia al volcamiento, días a la madurez, peso de la semilla, período de fructificación y algunas características químicas de la semilla, que a través de muchos experimentos han mostrado valores altos de heredabilidad, han permitido a muchos fitomejoradores realizar una selección eficaz en las primeras generaciones provenientes de un cruzamiento, antes de hacer las pruebas finales de rendimiento.

Algunos autores (29, 52) han estudiado la eficacia de la selección visual en el proceso de identificación temprana de genotipos de mayor rendimiento en soya y han encontrado que este procedimiento sólo tiene utilidad para la separación de extremos opuestos en una población. Ellos encontraron que algunos fitomejoradores orientaron el proceso de selección basados en características como altura de la planta o precocidad y en algunos casos estuvieron influenciados por características que no guardan ninguna relación con el rendimiento tal como el color de la pubescencia. Estos investigadores (29, 52) sugieren que la selección temprana se haga considerando las características que estén estrechamente asociadas con el rendimiento, más que por el rendimiento en sí.

Aunque el conocimiento de las correlaciones que existen entre caracteres importantes ofrece una base para el planeamiento de programas

de selección (40), en el mejoramiento genético de la soya ese no ha sido el caso. Johnson y Bernard (41) y Brim (8), al resumir los trabajos de correlación entre varias características de la planta de soya con el rendimiento, los cuales se efectuaron hasta los años 1955 y 1969, respectivamente, coinciden en que los factores correlacionados no ofrecen un criterio útil para la selección temprana de líneas en este cultivo. Byth, Caldwell y Weber (10) por ejemplo, llegaron a la conclusión de que si bien algunas características asociadas con el rendimiento les fueron de utilidad para identificar fenotipos superiores, el mayor avance genético requirió de la medición del rendimiento.

Hartwig y Edwards (20) emplearon un método muy laborioso para tratar de encontrar una verdadera relación entre algunas características de la planta de soya y el rendimiento. Ellos utilizaron 9 características presentes en líneas isogénicas y por medio de la técnica de retrocruzamiento con un progenitor común pudieron evaluar el efecto de cada característica sobre el rendimiento. Las características incluidas fueron: tamaño de la semilla (grande o pequeña), número de semillas por vaina, hábito de crecimiento, presencia o ausencia de pubescencia, tipo y color de la pubescencia, forma de la hoja y color de la flor. De todos los caracteres estudiados sólo la ausencia de pubescencia y el hábito de crecimiento indeterminado mostraron una asociación (negativa) con el rendimiento, el primero porque aumenta la susceptibilidad al ataque de insectos masticadores y el segundo por su efecto perjudicial en el

volcamiento.

Lal y Haque (53) emplearon por primera vez en 1971 el método analítico llamado "path coefficient" con el fin de estudiar la influencia de varias características en el rendimiento de la soya. Este es un método estandarizado de coeficientes de regresión parcial que permite medir la influencia directa de una variable sobre otra y permite separar los coeficientes de correlación en componentes de influencia directa e indirecta (17, 78). Concretamente por medio de esta técnica es posible conocer si una variable correlacionada positivamente con el rendimiento lo está porque influencia directamente el rendimiento o porque ejerce un efecto positivo a través de otras variables (indirectamente), o por ambas cosas. Este método requiere el establecimiento de una relación de causa y efecto entre las variables a fin de medir los efectos directos o indirectos de las variables independientes sobre la variable dependiente; un diagrama de causalidad debe ser establecido a priori por el investigador o con base en evidencia experimental (17, 49, 55, 78). El referido método fue desarrollado por Sewal Wright en 1921 (55). Según Dewey y Lu (17) su aplicación en el mejoramiento genético de las plantas tuvo lugar mucho tiempo después que en el mejoramiento animal. Más recientemente su uso se ha extendido en la formulación de programas de selección de leguminosas de grano (13, 53, 69, 70, 71), entre las que sobresale la soya (14, 45, 53, 61, 62, 64, 68).

Recientemente también se ha empleado la técnica de regresión múltiple escalonada (43). Según Adams (2) ese procedimiento resulta de suma utilidad para la identificación de la importancia relativa de características estructurales o fisiológicas sobre el rendimiento en las plantas. A diferencia del método anterior éste no requiere el establecimiento de una situación de causa y efecto entre las diferentes variables independientes que se analizan. Por medio de esta técnica, la variable independiente que más influencia la variable dependiente es aquella que explica la mayor variabilidad de ésta y en consecuencia ocupará el primer lugar en la ecuación de regresión; el segundo lugar lo ocupará la variable que explica la mayor variabilidad de la variable dependiente y que aún no ha sido explicada por las variables que han sido incluidas en la ecuación, y así sucesivamente (43). Adams (2) reconoce que el método de regresión múltiple escalonada es muy versátil, puesto que permite hacer diferentes combinaciones de las variables bajo estudio de diferentes maneras y de esta forma obtener las ecuaciones de regresión que más se ajusten a los objetivos del fitomejorador. Joshi y Smith (44) emplearon exitosamente esta técnica para la identificación de ciertos rasgos asociados con el rendimiento en 10 variedades de soya y sus resultados serán mencionados posteriormente.

Las variables analizadas en el presente trabajo han sido objeto de estudio por parte de gran cantidad de investigadores, de tal forma que resulta más conveniente hacer un tratamiento de cada una de ellas

por separado.

2.2 Componentes básicos del rendimiento

En las leguminosas se reconocen como componentes básicos del rendimiento el número de vainas por planta, el número de semillas por vaina y el peso de la semilla (1, 2, 13, 15). Cualquier otra característica asociada con el rendimiento necesariamente ejerce su acción a través de la modificación de alguno de los 3 componentes básicos (2).

Con frecuencia se han obtenido correlaciones negativas entre estos componentes básicos del rendimiento en soya (14, 40, 61, 62, 64) y en otras especies agrícolas (1, 15, 22, 69, 70). Adams (1) indica que las correlaciones negativas entre los componentes del rendimiento en las plantas es más un fenómeno que obedece al proceso del desarrollo de la planta que a causas genéticas propiamente, pues durante el desarrollo de dos estructuras se establece una competencia por nutrimentos y la correlación negativa se produce como resultado de la prevalencia de uno de los componentes sobre el otro. Cabe subrayar que la correlación negativa entre 2 características no siempre se debe a causas ambientales, las causas pueden ser genéticas, debidas principalmente a fenómenos pleiotrópicos y a fenómenos de ligamiento genético en menor grado (23).

La situación descrita anteriormente se manifiesta a nivel de población. Varios investigadores (61, 67, 74) han encontrado que la soya tiene una gran capacidad para compensar el rendimiento por área cuando

se siembra a diferentes densidades, principalmente modificando el número de vainas por planta. Esta compensación en soya ha sido muy bien ilustrada por Hicks y Pendleton (36). Estos autores encontraron que la remoción de una tercera parte de las yemas florales de cualquier sección de la planta no afectó el rendimiento ya que esto motivó un aumento considerable en el peso de la semilla.

Pendey y Torrie (61) consideran que la selección de materiales de mayor rendimiento en soya únicamente a través de sus componentes básicos ofrece limitaciones, ya que estos componentes se correlacionan negativamente entre sí, de tal forma que la selección favorable para uno de los componentes irá automáticamente en detrimento de otro.

2.2.1 Número de vainas por planta

Varios trabajos sobre la heredabilidad del número de vainas por planta en soya han sido resumidos por Johnson y Bernard (41) quienes muestran resultados que van de 0,14 a 0,92. Asimismo Anand y Torrie (5) hicieron estimaciones de la heredabilidad de esta característica en diferentes poblaciones segregantes con resultados que variaron desde 0 hasta 0,22. Flack y Boerma (26) presentan estimados de la heredabilidad del número de vainas por planta que oscilaron entre 0,55 y 0,69. Haque y Prakash (31) encontraron valores aún más altos de heredabilidad de esta característica (0,84).

La mayoría de los estudios de correlación entre el número de vainas y el rendimiento muestran valores positivos y altamente significativos (14, 45, 53, 62, 68); además varios estudios realizados mediante la técnica de análisis "path" han puesto en evidencia que el número de vainas tiene un gran efecto directo sobre el rendimiento en soya (14, 45, 61) en concordancia con otros estudios hechos con otras leguminosas (15, 58, 69, 70). La importancia del número de vainas en el rendimiento fue puesta en evidencia por Cooper y Brun (12). Estos investigadores encontraron aumentos considerables en el rendimiento (más de 40%), cuando las plantas de soya permanecían en un ambiente atmosférico enriquecido con CO_2 ; ellos encontraron que ese aumento en el rendimiento era una consecuencia de un aumento en el número de vainas por planta.

2.2.2 Peso de la semilla

El peso de la semilla se manifiesta en diferentes estudios como un carácter de alta heredabilidad. Johnson y Bernard (41) resumen los resultados de 11 investigaciones que dan estimaciones promedio de heredabilidad de 0,68 con un rango de 0,35 a 0,92. Anand y Torrie (5) encontraron valores de heredabilidad entre 0,53 y 0,84, en concordancia con Kwon y Torrie (51) y Haque y Prakash (31), quienes obtuvieron valores de 0,44-0,79 y 0,80 respectivamente.

Los resultados de los estudios de correlación entre el peso de la

semilla y el rendimiento son muy variables. Algunos resultados ofrecen valores de correlación negativos y altamente significativos (5, 14, 51), en otros casos no se ha encontrado ninguna asociación (53, 62, 64, 66), en otras investigaciones por el contrario se ha encontrado una correlación positiva estrecha entre ambas características (40, 47). Johnson y Bernard (41) resumen valores de correlación producto de varias investigaciones que varían entre -0,13 y 0,66.

Rinhewal y Koppar (64) y Lal y Haque (53), según se indicó antes, no encontraron asociación alguna entre el peso de la semilla y el rendimiento; sin embargo a través de la técnica de "path analysis" estos investigadores dedujeron que el peso de la semilla junto con el número de semillas por vaina y el número de ramas constituían los principales componentes del rendimiento en soya. También Keller, Soldati y Piattini (46, 47) mediante estudios conducidos durante 3 años consecutivos llegaron a la conclusión de que el ~~peso~~ de la semilla junto con el número de semillas por planta representan los dos ~~componentes~~ más estrechamente asociados con el rendimiento en soya y recomiendan que todo ~~proceso~~ de selección para aumentar el rendimiento debe considerar estas dos características con prioridad.

2.2.3 Número de semillas por vaina.

Anand y Torrie (5) encontraron que este carácter tiene una heredabilidad muy baja, con resultados que incluso llegaron a alcanzar va-

tores de 0 en algunas poblaciones segregantes estudiadas. Por el contrario, Johnson, Robinson y Comstock (39) obtuvieron estimados de heredabilidad para este carácter de 0,59 y 0,60 en progenies de dos cruza- mientos estudiados. Domingo (18) afirma que esta característica está gobernada por varios genes menores con la intervención de pocos genes mayores. Según Domingo L_0 y l_0 constituyen un par alelomórfico que juega un papel importante en la determinación del carácter.. L_0 tiene dominancia sobre l_0 y produce un valor intermedio de semillas por vaina, mientras que l_0 determina un número bajo de semillas por vaina. Cabe mencionar que Domingo también encontró que el número alto de semillas por vaina está ligado con el carácter de hoja angosta, el cual a su vez está determinado por un gene recesivo.

Los estudios de correlación entre el número de semillas por vaina y el rendimiento ofrecen resultados poco consistentes. Johnson y Bernard (41) resumen varios trabajos de investigación que dan coeficientes de correlación que van de -0,45 a 0,33. Keller, Soldati y Piattini (47) encontraron que el número de semillas por vaina no tiene mucha importancia en el rendimiento cuando se compara con el número y el peso de la semilla. Hartwig y Edwards (34) tampoco encontraron efecto del número de semillas por vaina en el rendimiento, a través del empleo de líneas isogénicas con bajo y alto número de semillas por vaina, retrocruzadas con un progenitor común. Sin embargo, a través de la técnica de análisis "path" se ha demostrado que el número de semillas por vaina es un com-

ponente del rendimiento muy importante, pues esta característica ejerce su acción positiva sobre el rendimiento en forma indirecta, a través de la modificación de otras características más directamente asociadas con el rendimiento (61, 64). Pandey y Torrie (61) concluyeron que no se podría lograr ningún avance en el rendimiento a través del número de vainas por planta si no se considera simultáneamente el número de semillas por vaina en los programas de selección.

2.2.4 Número de semillas por planta

Johnson, Robinson y Comstock (39) obtuvieron estimados de heredabilidad para el número de semillas por planta que oscilaron entre 0,19 y 0,55 en progenies provenientes de dos cruzamientos. Por su parte, Haque y Prakash (31) obtuvieron una estimación de la heredabilidad del número de semillas por planta de 0,63.

Johnson y Bernard (41) resumieron los coeficientes de correlación entre el número de semillas por planta y el rendimiento obtenidos en varias investigaciones, con resultados que varían entre 0,10 y 0,23. Investigaciones más recientes ofrecen valores de coeficientes de correlación muy altos para el número de semillas por planta y el rendimiento (0,88 y 0,95) (14, 45). Como ya fue mencionado, Keller, Soldati y Piattini (47) encontraron que el número de semillas por planta y el peso de la semilla son los dos componentes del rendimiento más importantes en soya.

2.3 Respuestas fotoperiódicas

2.3.1 Días a la floración

El número de días a la floración es un indicador muy importante, en la interpretación de la adaptación de la soya a regiones de días cortos. Según Hartwig (32) las variedades que florecen antes de los 45 días generalmente no ofrecen rendimientos aceptables en el Trópico. Cuando se llevan variedades del sur de los Estados Unidos a áreas tropicales, estas variedades tienden a florecer muy temprano y la planta no alcanza un desarrollo suficiente para dar un rendimiento adecuado (32, 54, 66). El efecto de la fotoinducción sobre el rendimiento fue estudiado por Patterson, Peet y Bunce (63). Estos investigadores encontraron que al emplear un período fotoinductivo de 8 horas diarias durante 37 ciclos, a partir de los 22, 30 y 38 días de edad de las plantas, se logró obtener 3 diferentes tamaños de planta al momento de la floración. Cuando la fotoinducción se demoró 3 días (a partir de la edad de 22 días) se obtuvo un aumento de 34% en el rendimiento y cuando la demora fue de 16 días, el rendimiento aumentó 84%. Este aumento en el rendimiento se debió principalmente al mayor número de nudos.

Existen muchas investigaciones que demuestran que el número de días a la floración es un carácter con alta heredabilidad (0,65 a 0,99) (5, 26, 31, 41, 51).

Bernard (6) mostró que si bien los días a la floración y a la ma-

durez son caracteres cuantitativos, existen 2 pares de genes mayores que determinan ambas características: el gene E_1 incrementa el número de días a la floración y a la madurez en 23 y 13 respectivamente, mientras que el gene e_2 reduce el número de días a la floración y a la madurez en 7 y 1^a respectivamente. Cuando ambos genes se juntan en el mismo genotipo los efectos se contrarrestan mostrando un incremento de 9 y 1 en el número de días a la floración y a la madurez.

La mayoría de los trabajos de investigación que asocian los días a la floración con el rendimiento muestran coeficientes de correlación positivos y altamente significativos (14, 26, 45, 68).

También se han encontrado valores de correlación positivos y altamente significativos entre los días a la floración con la altura de la planta (40, 45, 64), los días a la madurez (40, 64) y con el número de nudos por planta (40).

2.3.2 Días a la madurez

Varios estudios demuestran que esta característica presenta una heredabilidad alta. Johnson y Bernard (41) resumen los estimados de heredabilidad de varias investigaciones que dan valores que van de 0,32 a 1,22 para este carácter. Investigaciones más recientes ofrecen resultados muy similares, con estimaciones de heredabilidad que oscilan entre 0,79 y 0,95 (5, 26, 31, 55). Como se mencionó anteriormente, Bernard (6) descubrió la existencia de un par de genes mayores que modifican esta

característica así como los días a la floración.

Rubaihayo y Leakey (66) han observado que aquellas variedades que tienen un período menor de 100 días a la madurez, no dan rendimientos satisfactorios en condiciones tropicales. Estos investigadores han observado que variedades como Clark-63 que presenta un período de 136 días a la madurez en el centro este de los Estados Unidos, completa su período de madurez en 95 días en Uganda y en consecuencia su rendimiento es relativamente bajo.

Johnson y Bernard (41) presentan valores de correlación entre los días a la madurez y el rendimiento en soya que van de -0,10 a 0,75. Por su parte Anand y Torrie (5) obtuvieron valores de correlación entre ambas características que van prácticamente de 0 a 1. Existen otras investigaciones más recientes que dan valores de correlación positivos y altamente significativos para estos dos caracteres (26, 64, 68). Sengupta y Kataria (68) encontraron, a través de la técnica de análisis "path", que los días a la madurez y el número de hojas fueron las características más determinantes del rendimiento en soya, lo cual fue considerado por los autores como un resultado lógico desde el punto de vista fisiológico, ya que ambos caracteres tienen que ver directamente con la manufactura del alimento.

2.3.3 Altura de la planta

La mayoría de los estudios demuestran que la altura de la planta

es un carácter de alta heredabilidad. Johnson y Bernard (41) presentan estimaciones de la heredabilidad de esta característica obtenidas a través de varias investigaciones con valores que oscilan entre 0,35 y 0,95, con un valor promedio de 0,75. Muchas otras investigaciones muestran valores de heredabilidad para ~~la~~ altura de la planta que van de 0,65 a 0,93 (5, 9, 31, 51, 59).

Casi sin excepción, los coeficientes de correlación entre la altura de la planta y el rendimiento obtenidos en muchas investigaciones resultan positivos y altamente significativos (9, 14, 26, 40, 41, 45, 53, 59, 67, 68).

2.3.4 Número de nudos por planta

Johnson, Robinson y Comstock (39) encontraron valores estimados de heredabilidad para esta característica que varían entre 0,38 y 0,73, mientras que Haque y Prakash (31) encontraron un valor de heredabilidad de 0,95 para esta característica.

Varios estudios de correlación entre el número de nudos por planta y el rendimiento resumidos por Johnson y Bernard (41) dan valores que oscilan entre -0,14 y 0,23. Lal y Haque (53) y Chaudhary y Singh (14) encontraron coeficientes de correlación entre ambas características de 0,56 y 0,72 respectivamente, mientras que por medio del "path analysis", este carácter no mostró ningún efecto directo considerable sobre el

rendimiento, comparado con el número de vainas por planta (14, 61), el peso de la semilla (53) o el número de semillas por vaina (61).

2.4 Otras características

2.4.1 Período de floración

El período de floración también muestra una correlación positiva y altamente significativa con el rendimiento (60). Cabe mencionar que las variedades de hábito determinado presentan un comportamiento diferente al de las variedades de hábito indeterminado, en cuanto al período de floración. Las primeras prácticamente completan su desarrollo vegetativo antes de la floración, mientras que las de hábito indeterminado continúan creciendo por varias semanas después de que han iniciado la floración, prolongando así el período de floración (33).

2.4.2 Altura de las primeras vainas

La altura de las primeras vainas es una característica que debe merecer especial atención en el desarrollo de nuevas variedades (33). Las pérdidas debidas a las vainas que no pueden ser recogidas por la cosechadora alcanzan valores muy altos en muchas regiones del mundo (72, 77).

Si bien la altura de las primeras vainas puede aumentarse mediante un incremento en la densidad de población (57, 67), esta práctica presenta limitaciones relacionadas principalmente con el control de male-

zas, ya que la carencia de herbicidas que controlen eficazmente las malas hierbas desde el momento de la siembra obligan generalmente al control mecánico en post-emergencia; una alta densidad de población hace imposible el control mecánico ya que no permite la entrada de maquinaria a la plantación (11).

Esta característica presenta una heredabilidad relativamente alta. Martin y Wilcox (59) obtuvieron valores de heredabilidad entre 0,50 y 0,74 en 5 de 6 poblaciones segregantes estudiadas y 0,29 en una de ellas. Flack y Boerma (26) hallaron que la heredabilidad varía entre 0,55 y 0,69 para esta característica.

Los mismos autores hicieron estudios de correlación entre la altura de las primeras vainas y el rendimiento con resultados diferentes. Mientras que Flack y Boerma (26) encontraron una correlación positiva, relativamente alta, entre ambos caracteres, Martin y Wilcox (59) no encontraron asociación alguna. Es más, estos autores indican que la falta de asociación de la altura de las primeras vainas con el rendimiento es ventajosa ya que permite seleccionar el primer carácter sin afectar negativamente el segundo.

Sánchez y Veloso (67) encontraron una correlación altamente significativa ($r=0,96$) entre la altura de las primeras vainas y la altura de la planta. Sin embargo, otros investigadores no han logrado corroborar esta relación (57).

Estudios conducidos en Mississippi con líneas del grupo de madurez IV, han demostrado que la selección de genotipos tardíos para florecer permite la selección indirecta de líneas con una inserción más alta de las primeras vainas (33).

Los esfuerzos conjuntos entre fitomejoradores y fisiólogos por lograr aumentar el rendimiento de las plantas cultivadas no sólo se circunscriben al establecimiento de las bases para la selección de fenotipos más rendidores, mediante estudios de asociación entre componentes morfológicos y fisiológicos con el rendimiento. En última instancia el principal factor limitante del rendimiento en las plantas es la eficiencia fotosintética (7); de ahí que en la actualidad se estén realizando grandes esfuerzos por comprender las bases fisiológicas que relacionan la arquitectura de la planta con la distribución de asimilados fotosintéticos, lo cual serviría de fundamento para establecer los cambios morfológicos necesarios para obtener ideotipos más rendidores (38, 43, 50, 73, 76).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación del experimento

La parcela experimental se localizó en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno en la Provincia de Alajuela, la cual se ubica geográficamente a $10^{\circ} 01'$ de latitud norte y a $84^{\circ} 16'$ de longitud oeste y a una altitud de 840 m sobre el nivel del mar.

3.2 Condiciones de clima y suelo

Los datos de temperatura y precipitación pluvial que se presentaron durante el periodo del trabajo de campo se presentan en la Fig. 1.

Cabe mencionar que las lluvias no constituyeron factor limitante para el desarrollo normal del cultivo. En el momento en que las lluvias cesaron los cultivares más tardíos alcanzaron su madurez fisiológica y las más tempranas ya habían sido cosechadas.

El suelo donde se sembraron los materiales es de origen coluvional, de textura media, friable y poroso. Según un informe sobre los distritos de riego de la cuenca del río Itiquís (24), este suelo es profundo, rico en materia orgánica, relativamente pobre en fósforo y tiene una gran capacidad de retención de agua.

3.3 Materiales experimentales

Los siguientes 10 cultivares fueron usados en la investigación:

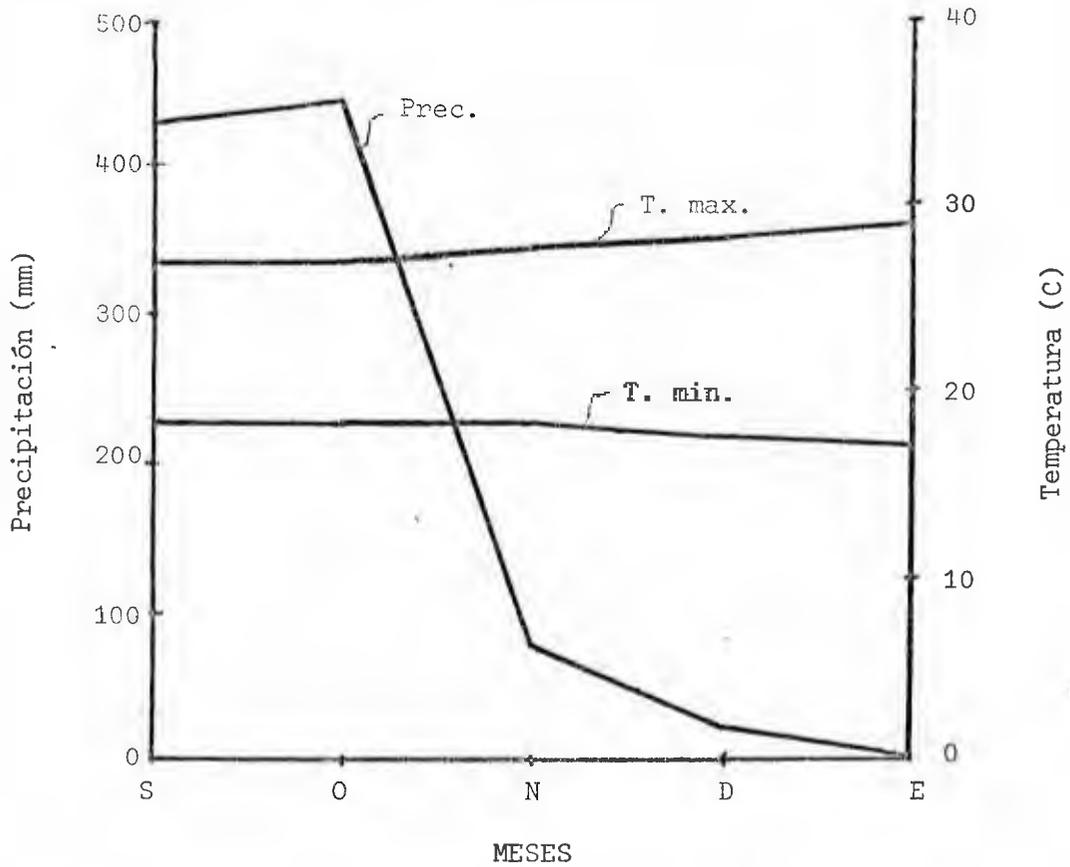


Fig. 1 Condiciones de precipitación y temperaturas máximas y mínimas (promedios mensuales) durante el período de setiembre de 1978 a enero de 1979. (Datos tomados de la Unidad Meteorológica de la Estación Experimental Fabio Baudrit, Alajuela).

Improved Pelican, Jupiter, Chung-Hsieng, Mandarin-com, Clark-63, Williams, Nanda, Negra 25-SPS, FAO-27396 y Brasil L-652.

Los materiales que se usaron en la investigación fueron evaluados previamente en Costa Rica (3, 19); y algunos son recomendados para el cultivo comercial (9).

A excepción de Improved Pelican, Clark-63 y Williams de las cuales se usó semilla introducida directamente de los Estados Unidos, de las demás variedades se usó semilla producida localmente.

Además, existen estudios de diferenciación morfológica que incluye la mayor parte de los materiales que se usaron en el presente estudio (75).

La selección del material experimental se hizo tomando en consideración las diferencias varietales en cuanto a origen, hábito de crecimiento y otras características agronómicas. Así por ejemplo, los cultivares Improved Pelican y Júpiter se ubican, según el sistema de clasificación varietal por grupos de madurez (33), dentro de los grupos tardíos VIII y IX aptos para el sur de los Estados Unidos. Por su parte, los cultivares Williams y Clark pertenecen a los grupos de madurez intermedia III y IV respectivamente y conjuntamente con la variedad Improved Pelican se diferencian de las demás por tener hábito de crecimiento indeterminado. Brasil L-652, Chung-Hsieng y Mandarin-com fueron introducidas de Brasil, Taiwan y los Estados Unidos respectivamente, sin que el grupo de madurez de la última pueda ser precisado. Las variedades

FAO-27396, Negra-25 SPS y Nanda fueron introducidas a Costa Rica por FAO y se desconoce su origen. Las dos últimas fueron escogidas para el presente estudio por representar el tipo más silvestre de planta. El fin de trabajar sobre una base genética relativamente amplia, aún dentro de materiales previamente seleccionados, permite derivar una información más confiable para futuros programas de selección.

3.4 Fertilización e inoculación

El fertilizante se aplicó a razón de 60 kg/ha de nitrógeno, 300 kg/ha de fósforo y 75 kg/ha de potasio. Se emplearon como fuentes del fertilizante la urea, superfosfato triple y sulfato de potasio. La última fuente mineral adicionó 30 kg/ha de azufre.

El fertilizante fue aplicado al fondo del surco 3 días antes de la siembra.

Se usó inoculante tipo turba de la casa comercial North American Plant Breeders a razón de 5 g/kg de semilla. Para favorecer la distribución del producto se empleó una solución concentrada de sacarosa. Esta operación se hizo al momento de la siembra.

3.5 Fecha de siembra y distribución en el campo

La siembra de los materiales se efectuó el 9 de setiembre de 1978.

Se usó un diseño experimental de bloques completos al azar, con 3 repeticiones, siguiendo la metodología empleada en trabajos similares (31, 45, 53, 62, 68).

Cada repetición estuvo constituida por 4 surcos de 3 m. de largo, con una separación de 0,5 m. Se empleó un borde de protección alrededor de toda la parcela experimental.

La semilla se sembró aproximadamente a 4 cm. de profundidad. La distancia entre plántulas fue de 5 cm; para lograr la distribución uniforme, la semilla se sembró en forma continua a menor distancia y a los 12 días se efectuó un entresaque manteniendo la distancia mencionada. En el momento de ralear, la mayoría de las plantas tenían las hojas unifolialadas completamente expandidas, lo cual corresponde con el estadio Vo según el sistema descriptivo propuesto por Hanway y Thompson (30) o con el estadio VI según el sistema de Fehr y colaboradores (25).

La densidad de población descrita resulta un poco más alta que la empleada por otros investigadores; sin embargo, se hizo con el fin de permitir una mejor expresión de algunas características como la altura de la planta y la altura de las primeras vainas (altura del tercer nudo).

3.6 Control de malezas

Se aplicó el herbicida RH-6201 (Blazer) en preemergencia y a razón de 0,5 kg de i.a./ha. Este producto ejerció un control eficaz de malezas

especialmente dicotiledóneas. El control químico de malezas se complementó con dos deshierbas manuales a los 13 y a los 39 días de la siembra.

3.7 Protección contra insectos y enfermedades

La naturaleza del estudio exigió un control estricto de insectos y enfermedades.

Durante las primeras 4 semanas del cultivo se hicieron 2 aplicaciones de methomyl (Lannate) en dosis de 2,5 g i.a./l con el fin de controlar insectos masticadores. Posteriormente se hicieron 2 aplicaciones de chlorpyrifos (Lorsban) en dosis de 2cc i.a./l en mezcla con mancozeb (Dithano M-45) a razón de 3 g i.a./l con el fin de controlar simultáneamente insectos masticadores y el ataque de hongos.

Después de los 53 días de la siembra se hicieron 4 aplicaciones de methyl parathion (Folidol) en dosis de 1cc i.a./l en mezcla con benomyl (Benlate) a razón de 0,6 g i.a./l, con el fin de controlar insectos, especialmente el chinche *Nezara viridula* que ataca las vainas en desarrollo (19, 60) y simultáneamente reducir el ataque de hongos, tanto de aquellos que atacan el follaje como la mayoría de los que se transmiten por semilla, dado el efecto sistémico del benomyl (21). De esta forma se logró un control eficaz de insectos y hongos. No se presentaron ataques de bacterias o de virus y sólo se observaron muy pocas plantas afectadas esporádicamente.

3.8 Muestreo

El muestreo de las plantas para la evaluación de las características se hizo considerando únicamente los 2 surcos centrales, despreciando 5 plantas de cada uno de los extremos de los surcos. Se muestrearon al azar 12 plantas (6 de cada surco), lo cual representa un 12% del total de plantas de la parcela útil, valor que resulta también un poco más alto que el empleado en la mayoría de las investigaciones consultadas.

Las plantas muestreadas se identificaron en el campo con marcadores plásticos que permanecieron intactos hasta que se terminó la evaluación de todas las características.

3.9 Características evaluadas

Las características a evaluar se seleccionaron con base en varios trabajos de asociación de caracteres de la planta de soya con el rendimiento realizados en diferentes países (5, 8, 9, 14, 26, 32, 33, 41, 45, 47, 53, 68).

Para estudiar el grado de asociación con el rendimiento por planta (variable dependiente), se escogieron las siguientes características:

Días a la floración

Período de floración

Días a la madurez

Altura de la planta
Altura del tercer nudo
Número de nudos por planta
Número de vainas por planta
Número de semillas por vaina
Peso promedio de la semilla
Número de semillas por planta

Las características estudiadas se definieron de la siguiente manera:

3.9.1 Rendimiento por planta

El rendimiento por planta se define como el peso total de la semilla producida por planta, llevado a una base común de un 12% de humedad en la semilla.

Para determinar el contenido de humedad se empleó el método de secado al horno a 130°C propuesto por la Asociación Americana de Químicos de Cereales (4). La aplicación de este método de secado en soya requiere que la semilla posea un contenido de humedad menor de un 10%, lo cual se logró secando la semilla cosechada a 37°C durante 2 días. Posteriormente la semilla se pesó y se le determinó con precisión su contenido de humedad.

El peso se corrigió a 12% de humedad de acuerdo a la ecuación:

$$C = \frac{100-H}{88} \quad (28),$$

en donde C=factor de corrección para 12% de humedad y H= contenido de humedad de la muestra. Luego,

$P_c = C \times P_o$, en donde P_c = peso corregido a 12% de humedad y P_o = peso original de la muestra.

3.9.2 Días a la floración

Esta característica se determinó en el campo, a nivel de parcela, considerando el tiempo transcurrido desde la siembra hasta que por apreciación visual el 50% de las plantas tenían al menos una flor.

3.9.3 Período de floración

El período de floración se consideró como el período comprendido desde la floración (según se define arriba), hasta que el 50% o más de las plantas no tenían flores.

3.9.4 Días a la madurez

Al igual que las dos características anteriores, ésta se determinó a nivel de parcela, contando el número de días transcurridos desde el momento de la siembra hasta que el follaje era de color amarillento y se inició su desprendimiento; esto corresponde con el estadio R_{10} según el sistema propuesto por Hanway y Thompson (30) o con el estadio R_7 según Fehr y colaboradores (25).

3.9.5 Altura de la planta

La altura de la planta se midió del nivel del suelo al último nudo del tallo principal.

3.9.6 Altura del tercer nudo

Se consideró como la medida de la base de la planta al nivel del suelo hasta el tercer nudo del tallo principal, incluyendo el nudo cotiledonal.

Esta característica se empleó para evaluar la altura de las primeras vainas ya que resulta ser una medida objetiva. La inserción de las vainas en los nudos inferiores es muy errática.

3.9.7 Número de nudos por planta

Se consideró como el número total de nudos axilares trifoliolados de la planta entera, excluyendo el nudo cotiledonal.

3.9.8 Es el total de vainas, incluyendo aquellas vainas vacías, dañadas por insectos o enfermedades o deformes.

3.9.9 Número de semillas por planta

Es el número total de semillas, incluyendo aquellas anormalmente pequeñas, enfermas, dañadas, rugosas o deformes.

3.9.10 Número de semillas por vaina.

Es el cociente del número de semillas por planta entre el número

de vainas por planta.

3.9.11 Peso promedio de la semilla

Es el cociente del rendimiento por planta con 12% de humedad entre el número de semillas por planta.

3.10 Análisis estadístico

La estimación del grado de asociación entre las diferentes características evaluadas se logró mediante un análisis de correlación múltiple, con el cual se obtuvo la matriz de los coeficientes de correlación respectivos.

Para proceder al análisis de regresión y correlación múltiple se hizo la transformación logarítmica de los números de semillas por planta y de vainas por planta, con el fin de ajustar los valores a una distribución normal.

La significación estadística de los valores de los coeficientes de regresión y correlación se obtuvo por comparación de los valores experimentales con los tabulados para tal efecto por Rohlf y Sokal (65).

La contribución de cada una de las características al rendimiento por planta (variable dependiente) se evaluó usando la técnica de regresión múltiple escalonada (48). Con esta técnica se mide la influencia relativa de cada variable independiente sobre la variable dependiente, por medio de las modificaciones que sufre el coeficiente de

determinación múltiple (R^2) conforme cambia el número de variables en la ecuación de regresión. La flexibilidad de esta técnica permite hacer combinaciones de las variables independientes de mayor interés desde el punto de vista del fitomejorador.

Simultáneamente se hizo un examen visual de los residuos para observar el ajuste de la regresión, siendo éste satisfactorio.

El grado de asociación entre el número de vainas por planta, el número de semillas por vaina, el número de semillas por planta y el peso promedio de la semilla se estudió más exhaustivamente a través de la técnica del "path analysis" (49), por ser estas variables más determinantes del rendimiento que las demás. El análisis "path" como ya fue mencionado, requiere de una relación de causa y efecto entre las variables independientes que se analizan, a fin de poder valorar los efectos directos e indirectos correspondientes. Es decir, esta técnica permite dilucidar si una variable que presenta un alto grado de asociación con la variable dependiente, (en este caso el rendimiento por planta) está ejerciendo un efecto directamente sobre la variable dependiente o si está causando una influencia sobre ésta través de la modificación de otra característica. La relación de causalidad que se estableció se presenta en la Fig. 2. Los números de 1 a 4 indican el orden creciente de causalidad. Es necesario señalar que cada variable independiente es causa de la siguiente y efecto de la anterior.

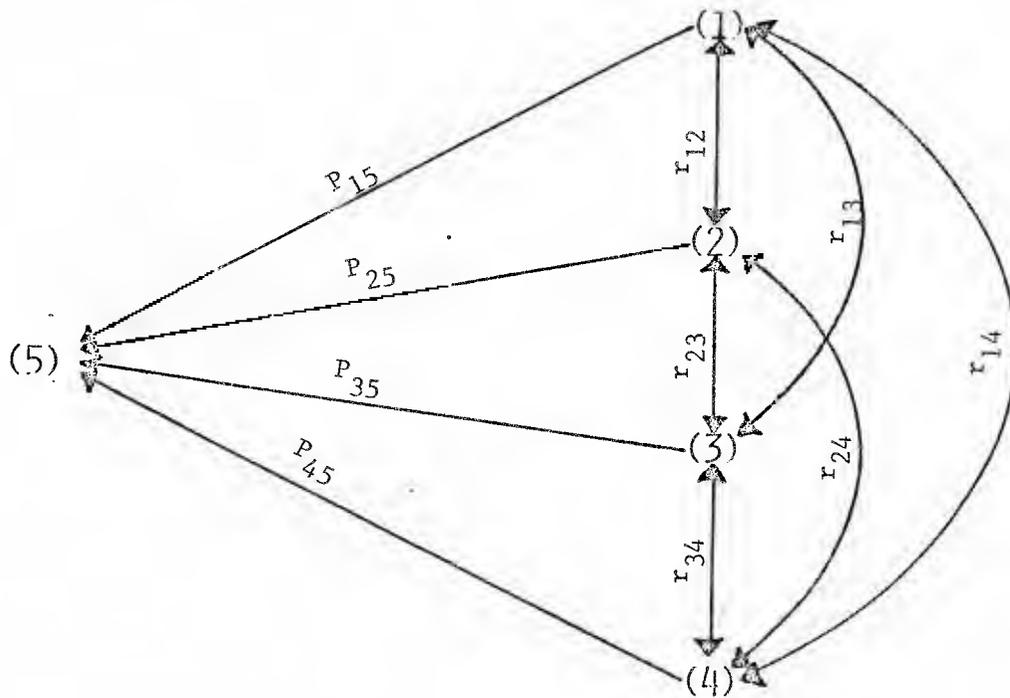


Fig. 2. Diagrama "path" que muestra los coeficientes de correlación (flechas con doble cabeza) y los coeficientes estandarizados de regresión (beta) (flechas de una cabeza), mediante los cuales se obtuvieron los efectos directos e indirectos de los componentes del rendimiento sobre el rendimiento en soya.
 (1) Número de vainas por planta, (2) número de semillas por vaina,
 (3) número de semillas por planta, (4) peso promedio de la semilla,
 (5) rendimiento por planta.

En el diagrama las flechas dobles representan los coeficientes de correlación múltiple (obtenidos de la matriz de correlación). Las flechas de una cabeza representan los coeficientes "path", que representan la influencia directa de cada una de las variables independientes sobre la variable dependiente. Los coeficientes "path" (P) corresponden a los coeficientes estandarizados de regresión (beta) y se obtienen directamente del análisis "path" (49).

El establecimiento del diagrama de causalidad se hizo tomando en consideración los coeficientes de correlación de la matriz y los puntos de vista fisiológicos de Adams (1), sobre el significado de las correlaciones negativas entre los componentes del rendimiento en las plantas cultivadas. Cabe repetir que Adams atribuye las correlaciones negativas entre los componentes del rendimiento a la competencia por metabolitos entre los componentes.

El cálculo de los efectos indirectos de los componentes sobre el rendimiento se hizo mediante la solución de las siguientes ecuaciones, según la metodología usada por Dewey y Lu (17), en donde P= coeficiente estandarizado de regresión (beta) o coeficiente "path" y r= coeficiente de correlación múltiple.

$$r_{15} = P_{15} + r_{12} P_{25} + r_{13} P_{35} + r_{14} P_{45} \quad (1)$$

$$r_{25} = P_{25} + r_{12} P_{15} + r_{23} P_{35} + r_{24} P_{45} \quad (2)$$

$$r_{35} = P_{35} + r_{13} P_{15} + r_{23} P_{25} + r_{34} P_{45} \quad (3)$$

$$r_{45} = P_{45} + r_{14} P_{15} + r_{24} P_{25} + r_{34} P_{45} \quad (4)$$

No se incluyó en el diagrama una variable residual (X) que representara las demás variables que influyen el rendimiento por planta, ya que en este caso en particular sólo se pretendía analizar con más detalle el efecto (directo o indirecto) de cada uno de los componentes básicos del rendimiento.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Variabilidad de la población experimental.

En los estudios de asociación de características morfológicas o fisiológicas con el rendimiento, la selección del material experimental juega un papel fundamental, pues de ello depende en gran parte la utilidad de la información que se derive. Como se indicó anteriormente, los cultivares escogidos para realizar el presente estudio provienen de distintos lugares y representan los mejores genotipos disponibles a la fecha en Costa Rica. Por la razón anterior, los resultados de este trabajo tienen aplicación directa en programas de selección en condiciones locales.

En el Cuadro 1, se presenta la variabilidad fenotípica de las 11 características evaluadas en la presente investigación. En términos generales, aquellas características que son más afectadas por el ambiente, tales como el rendimiento por planta y el número de vainas y de semillas por planta (5, 8, 30), fueron las que presentaron los coeficientes de variación más altos. Asimismo, las variables que tienen una heredabilidad alta como es el caso de los días a la floración y a la madurez y el peso de la semilla (5, 26, 41) presentaron coeficientes de variación bajos. Resultados similares fueron obtenidos por Haque y Prakash (31).

En el Cuadro 2 se muestran las diferencias en el comportamiento

Cuadro 1. Variabilidad fenotípica de 11 características cuantitativas evaluadas en 10 variedades de soya cultivadas en Alajuela.

Característica	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio \pm D.E.	E.E.	C.V.
Peso de la semilla (g)	0,087	0,29	0,204 \pm 0,03	0,002	0,17
Nº semillas/vaina	1,15	3,09	2,25 \pm 0,27	0,014	0,12
Nº semillas/planta	10,00	173,00	47,54 \pm 21,26	1,121	0,45
Nº vainas/planta	4,00	79,00	21,39 \pm 9,86	0,520	0,46
Nº nudos/planta	6,00	37,00	13,8 \pm 4,45	0,234	0,32
Altura 3er. nudo (cm)	5,00	16,50	10,15 \pm 2,01	0,106	0,20
Altura de planta (cm)	23,00	122,00	67,91 \pm 18,92	0,997	0,28
Días a la madurez	46,00	102,00	89,19 \pm 8,93	0,471	0,10
Período de floración	18,00	27,00	21,91 \pm 2,90	0,153	0,13
Días a la floración	29,00	52,00	37,93 \pm 7,10	0,374	0,19
Rendimiento/planta (g)	1,84	27,60	9,59 \pm 4,30	0,227	0,45

D.E.= Desviación estandar

E.E.= Error estandar de la media

C.V.= Coeficiente de variación

Cuadro 2. Promedios de 11 características cuantitativas evaluadas en 10 variedades de soya cultivadas en Alajuela.

Variedad	Rendimiento por planta (g)	Peso de la semilla (g)	Nº semillas /vaina	Nº semillas /planta	Nº vainas /planta	Nº nudos /planta	Altura del 3er nudo (cm)	Altura de la planta (cm)	Días a la madurez	Período de floración	Días a la floración
Pelícano	6,86	0,152	2,14	44,89	21,08	10,88	10,96	57,28	83,6	19	36,3
Júpiter	13,88	0,239	2,15	58,78	26,67	15,11	11,89	87,78	102,0	18	52,0
Chung-Hsieng	10,89	0,194	2,39	56,53	23,97	17,08	7,57	78,22	93,0	23	36,0
Mandarin-com	11,11	0,224	2,33	50,81	21,69	15,02	9,80	72,97	95,6	24	35,0
Clark-63	7,60	0,199	2,41	38,27	15,86	9,94	10,38	43,42	76,0	27	29,0
Williams	6,90	0,235	2,36	29,44	12,44	8,89	10,26	39,08	77,3	25	29,0
Nanda	11,01	0,175	1,97	63,41	32,39	18,30	8,19	88,94	99,0	21	48,0
Negra	7,49	0,181	2,15	41,13	19,30	14,08	11,47	73,30	83,0	18	42,0
FAO-27396	9,87	0,217	2,11	44,97	21,31	14,30	11,85	71,55	90,0	21	37,0
Brasil	10,26	0,220	2,44	46,92	19,22	13,53	9,11	65,47	94,6	23	35,0

agronómico de los cultivos evaluados. Los cultivos que tardaron más en florecer, tuvieron un período vegetativo más largo, mayor altura de planta, mayor número de vainas y de semillas por planta y finalmente un mayor rendimiento, en contraste con variedades como Clark-63 y Williams que son más precoces, lo cual es lógico desde el punto de vista fisiológico. En apoyo de los resultados obtenidos, algunos investigadores han puesto en evidencia que aquellos cultivos que se comportan precozmente en condiciones tropicales, no dan rendimientos satisfactorios (32, 54, 66).

4.2 Análisis de correlación

La matriz de coeficientes de correlación total que se obtuvo en la presente investigación muestra con pocas excepciones, una asociación altamente significativa entre las características estudiadas (Cuadro 3). Muchas de las correlaciones en la matriz sugieren una asociación causal entre las características medidas, en otros casos por el contrario, resulta imposible encontrar una explicación satisfactoria acerca de la naturaleza de la correlación. Este hecho ya fue anotado claramente por Dewey y Lu (17), como resultado de la intervención de muchas variables en la matriz. En efecto, cuando se incluyen muchas variables, las asociaciones indirectas resultan más complejas, menos obvias y en algunos casos hasta pueden tener poco o ningún significado por su ambigüedad. Según se observa en el Cuadro 3, el peso de la semilla está correlacionado negativamente con el número de semillas por

planta; el peso de la semilla y el número de semillas por vaina están correlacionados negativamente con el número de vainas por planta, lo cual se explica en base a la competencia por alimento (1). El número de semillas por planta, como era de esperar, está correlacionado positiva y significativamente con el número de vainas por planta. Las correlaciones obtenidas en el presente estudio, concuerdan con los resultados obtenidos por otros investigadores que han estudiado el grado de asociación entre los componentes del rendimiento en soya (14, 40, 61, 62, 64) y en otras especies agrícolas (1, 15, 22, 69, 70). No cabe duda de que las relaciones de competencia por alimento entre los componentes básicos del rendimiento explican la capacidad de la soya para ajustar su capacidad de producción, según se modifiquen los efectos de los componentes básicos como consecuencia de alteraciones microambientales (espacio disponible, intensidad lumínica, etc.) (36, 61, 67, 74).

Los resultados de este trabajo indican que el rendimiento por planta está correlacionado en forma positiva y altamente significativa con el número de semillas por planta, el número de vainas por planta y el peso promedio de la semilla. La mayoría de los trabajos consultados muestran, asimismo, correlaciones positivas y altamente significativas entre el rendimiento y el número de semillas y vainas (14, 41, 45, 53, 62, 68). Para el peso de la semilla existe mucha variabilidad en los resultados de las investigaciones consultadas. Sin embargo, en muchos casos, los resultados coinciden con los obtenidos en el presente estudio (40, 41, 47).

En cuanto a la asociación entre el rendimiento y el número de se-

millas por vaina, los resultados de esta investigación muestran que es inexistente. lo cual está en concordancia con los resultados de Rinhewal y Koppa (64), aunque existen algunos informes de que este factor juega un papel indirecto en el rendimiento, cuando su influencia es analizada por medio de la técnica de regresión "path" (61, 64).

Las correlaciones positivas y altamente significativas detectadas entre las diferentes combinaciones de las variables días a la floración, días a la madurez, altura de la planta y número de nudos por planta, así como entre esas y el rendimiento por planta, resultan también de gran importancia, tanto desde el punto de vista teórico como del práctico. Pues al ser la soya una especie de "día corto" de acuerdo con su respuesta fotoperiódica a la floración (32), es lógico esperar entonces que entre más demore una planta de esta leguminosa en florecer, mayor será el tiempo de que disponga para crecer y acumular reservas alimenticias que se traducirán en una mayor cosecha. Estos argumentos cuentan con suficiente apoyo experimental (32, 54, 63, 66) e incluso han sido considerados seriamente como indicadores de la adaptación de la soya a condiciones tropicales. Hartwig (32) por ejemplo, es categórico al afirmar que aquellos cultivares que florecen antes de los 45 días en los trópicos no ofrecen buenas posibilidades para su cultivo. Rubaihayo y Leakey (66) coinciden con Hartwig, al considerar que aquellos cultivares que presentan períodos menores de 100 días a la madurez no ofrecen rendimientos satisfactorios en condiciones de días cortos.

Cuadro 3. Matriz de coeficientes de correlación total entre algunas variables cuantitativas y entre éstas y el rendimiento por planta en soya.

Característica	# semillas / vaina	# semillas /planta	# vainas /planta	# nudos /planta	Altura 3 nudo	Altura planta	Días a la madurez	Período de floración	Días a floración	Rendimiento /planta	
Peso promedio /semilla	0,12**	-0,17**	-0,20**	-0,13**	0,12**	-0,03	0,16**	0,25**	-0,06	0,21**	7
# semillas/vaina		0,06	-0,19**	-0,15**	-0,11**	-0,26**	-0,14**	0,37**	-0,36**	0,10	10
# semillas/planta			0,97**	0,78**	-0,17**	0,61**	0,42**	-0,24**	0,37**	0,88**	4
# vainas/planta				0,81*	-0,14**	0,68**	0,45**	-0,33**	0,45**	0,84**	2
# nudos/planta					-0,30**	0,71**	0,52**	-0,25**	0,47**	0,75**	3
Altura 3 nudo						-0,08	-0,16**	-0,30**	0,09	-0,12**	2
Altura planta							0,71**	-0,52**	0,72**	0,57**	4
Días a madurez								-0,39**	0,71**	0,45**	5
Período floración									-0,77**	-0,12**	9
Días a floración										0,34**	4

* Significativo a un nivel de probabilidad de 0,05.

** Significativo a un nivel de probabilidad de 0,01.

La mayoría de los trabajos que asocian los días a la floración, los días a la madurez, la altura de la planta y el número de nudos por planta con el rendimiento dan coeficientes de correlación positivos y altamente significativos, al igual que en el presente trabajo (14, 26, 41, 45, 53, 58, 64, 67, 68).

La altura del tercer nudo está correlacionada negativa y significativamente con el rendimiento por planta. Es evidente que un criterio de selección tendiente a incrementar la altura de las primeras vainas iría en detrimento del rendimiento. No obstante, la altura de las primeras vainas debe ser un objetivo fundamental en el desarrollo de nuevas variedades, por su gran importancia en el momento de la cosecha mecánica, tal y como lo sugiere Hartwig (33), y no un indicador del rendimiento como se pretendió a través de las otras características que se estudiaron. La heredabilidad relativamente alta de la altura de inserción de las primeras vainas (26, 59) hace pensar en la posibilidad de introducir este carácter en líneas de mayor rendimiento.

El período de floración mostró una correlación negativa y altamente significativa con los días a la floración y a la madurez y con el rendimiento por planta. Esto no es sorprendente, si consideramos que aquellos cultivares con período de floración más prolongado, tienen también hábito de crecimiento indeterminado como Clark-63 y Williams; estos cultivares son a su vez más precoces y consecuentemente menos rendidores, de tal manera que la correlación negativa con el período de floración se presenta de forma indirecta.

Debe tenerse en consideración que la correlación mide el grado de asociación entre dos o más variables, sin revelar si dicha relación es o no de tipo causal (56, 62). Los estudios de correlación nos indican si una variable puede ser orientada en una cierta dirección a través de la selección de otra variable asociada, pero no nos indican nada acerca de la magnitud de ese cambio: es por esa razón que los estudios de correlación no deben tomarse por sí solos como patrones de selección indirecta de caracteres de importancia económica. Las técnicas de regresión sí nos permiten medir la magnitud del cambio en la variable dependiente asociado con un cambio unitario de la variable independiente. (56)

4.3 Análisis de regresión múltiple.

El ordenamiento de los resultados que se sigue en el Cuadro 4 indica el orden decreciente de la contribución de cada una de las variables independientes al rendimiento por planta, obtenido mediante la técnica de regresión múltiple escalonada. Puede observarse que el 92,67% de la variación del rendimiento por planta (variable dependiente) es atribuible a la influencia combinada de las 10 variables independientes bajo estudio. De éstas sin embargo, las dos características más determinantes son: el número de semillas por planta, que explica el 79,15% de la variación, y el peso de la semilla de soya (con 13,26%). Las 3 variables restantes apenas explican el 1% de la variación del rendimiento por planta.

Por medio del análisis de regresión "path" (Fig. 3) se llegó a

Cuadro 4. Análisis de regresión múltiple escalonada entre algunas características cuantitativas con el rendimiento por planta en soya, cuando cultivada en Alajuela.

Característica	R ²	Incremento en R ²	Valor de b	Error estándar de b	Valor de F	P
Número de semillas por planta	0,7815	78,15	18,99	0,53	1281,02	<0,001
Peso promedio de la semilla	0,9141	13,26	46,27	1,97	550,47	<0,001
Número de nudos por planta	0,9220	0,79	0,14	0,02	36,36	<0,001
Altura de la planta	0,9244	0,24	-0,01	0,01	11,09	<0,001
Altura del tercer nudo	0,9250	0,06	0,05	0,03	2,76	<0,025
Número de vainas por planta	0,9252	0,02	-1,43	1,33	1,15	>0,05
Días a floración	0,9254	0,02	0,01	0,01	0,69	>0,05
Período floración	0,9261	0,07	0,07	0,02	3,27	<0,005
Días a madurez	0,9266	0,05	-0,02	0,01	2,55	<0,01
Número de semillas por vaina	0,9267	0,01	-0,69	1,05	0,43	>0,05

Cuadro 5. Análisis de regresión múltiple escalonada entre algunas características cuantitativas con el rendimiento por planta en soya cuando cultivada en Alajuela. Se excluye el número de semillas/planta de la ecuación.

Característica	R ²	incremento R ²	Valor de b	Error estandar de b	Valor de F	P
Número de vainas por planta	0,7105	71,05	17,83	0,60	878,65	<0,001
Peso promedio de la semilla	0,8563	14,58	48,79	2,56	362,35	<0,001
Número de semillas por vaina	0,9104	5,41	3,82	0,26	214,92	<0,001
Número de nudos por planta	0,9187	0,83	0,15	0,03	36,25	<0,001
Altura de la planta	0,9203	0,16	-0,01	0,01	7,26	<0,001
Altura del tercer nudo	0,9213	0,10	0,07	0,04	4,24	<0,001
Días a la floración	0,9215	0,02	0,01	0,01	0,93	>0,05
Período de floración	0,9221	0,06	0,06	0,04	2,48	<0,001
Días a la madurez	0,9226	0,05	-0,02	0,01	2,61	<0,001

determinar que el número de semillas por planta es el componente que mostró el mayor efecto directo sobre el rendimiento por planta (1,012), seguido del peso promedio de la semilla (0,37) según se consigna en el Cuadro 6. Estos resultados corroboran los obtenidos a través de la técnica de regresión múltiple escalonada. Se deduce entonces que aquellas características que muestran el mayor efecto directo sobre el rendimiento son, a su vez, las que causan la mayor parte de la variabilidad en la variable dependiente. Los resultados obtenidos en el presente trabajo coinciden con varias investigaciones similares a la presente, conducidas por 3 años consecutivos en Suiza (46, 47).

Es lógico esperar entonces que el mayor avance en el rendimiento se logre a través de la selección de fenotipos con mayor número de semillas por planta, pues no cabe duda de que esta característica es la que ejerce mayor influencia sobre el rendimiento por planta. Cabe también suponer con base en los resultados, que el efecto negativo que podría causar un aumento en el número de semillas sobre el peso de la semilla (por cuanto estas 2 características se correlacionan negativamente), pasaría a ocupar un segundo plano, pues esta última característica tiene un efecto considerablemente menor sobre el rendimiento por planta que la primera. La ejecución de un programa de selección a través del número de semillas por planta como el que aquí se propone, sólo debe procurar respecto al peso de la semilla, que éste se mantenga dentro de los márgenes de aceptación comercial.

Cuando se omite el número de semillas por vaina de la ecuación de regresión, el número de vainas por planta pasa a ocupar el primer

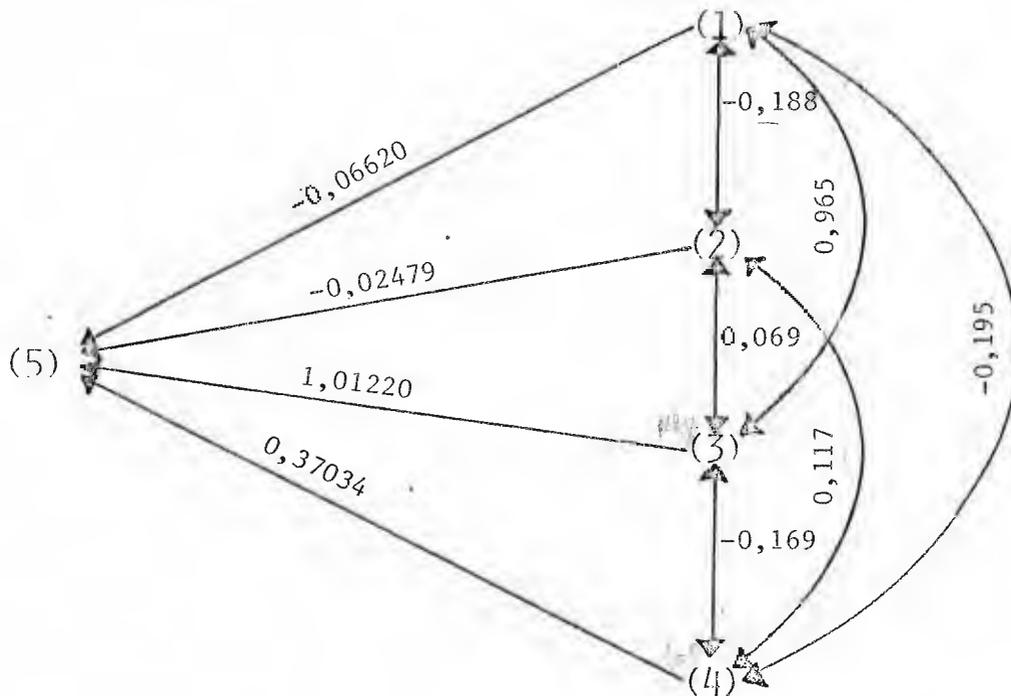


Fig. 3. Diagrama "path" con los valores de los coeficientes de los componentes que influyen el rendimiento por planta en soya.
 (1) Número de vainas por planta, (2) Número de semillas por vaina,
 (3) Número de semillas por planta, (4) Peso promedio de la semilla
 y (5) Rendimiento por planta.

Cuadro 6. Análisis "path" mostrando los efectos directos e indirectos de cuatro componentes básicos del rendimiento sobre el rendimiento por planta en soya, cuando cultivada en Alajuela.

Características	Efecto a través de				Correlación con el rendimiento/planta
	Nº de vainas por planta	Nº semillas por vaina	Nº semillas por planta	Peso promedio de la semilla	
Número de vainas por planta	<u>-0,066</u>	0,005	0,977	-0,072	0,844**
Número de semillas por vaina	0,012	<u>-0,025</u>	0,070	0,043	0,100 ^{n.s.}
Número de semillas por planta	-0,064	-0,002	<u>1,012</u>	0,063	0,883**
Peso promedio de la semilla	0,013	-0,003	-0,171	<u>0,370</u>	0,209**

Los valores ^{subrayados} corresponden a los efectos directos de cada variable.

lugar, seguido del peso de la semilla y del número de semillas por vaina (Cuadro 6). Esto se explica porque el número de vainas por planta mostró tener un efecto indirecto muy alto (0,977) sobre el rendimiento a través del número de semillas por planta (Cuadro 6); de tal forma que al omitir esta última variable, el número de vainas será entonces la variable que explica la mayor variabilidad del rendimiento por planta. Los efectos indirectos altos del número de vainas sobre el rendimiento es lo que explica la correlación positiva y alta entre ambas características ($R= 0.8444$). Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Kaw y Menon (45), en una investigación que incluyó el número de semillas por planta y el número de vainas, conjuntamente con otras 4 variables independientes. Dichos investigadores encontraron que el mayor efecto directo sobre el rendimiento lo ejerció el número de vainas y además que el número de semillas tiene un efecto alto sobre el rendimiento a través del número de vainas, lo cual es ilógico, por cuanto el número de semillas por planta depende obviamente del número de vainas por planta.

El efecto positivo del peso de la semilla sobre el rendimiento por planta se vio parcialmente anulado por el número de semillas por planta (efecto indirecto -0,171). Consecuentemente, el efecto directo positivo del peso de la semilla sobre el rendimiento (0,370) estuvo contrarrestado y el coeficiente de correlación entre el peso de la semilla y el rendimiento, aunque significativo, resultó rela-

tivamente bajo (0,21).

Aunque no fue un objetivo principal de esta investigación llegar a establecer comparaciones entre las dos técnicas de regresión que se aplicaron, se deduce que el análisis "path" posee la ventaja de que permite conocer la contribución real de un grupo de variables independientes sobre una variable dependiente, a través de sus efectos directos e indirectos. Sin embargo, no cabe duda que la necesidad de establecer un orden de causalidad entre las variables independientes que se analizan, puede ser una limitación para el uso de esta técnica, especialmente si se trata de un número grande de variables. A este respecto Li (55) argumenta que un grupo de investigadores que trabajen con un mismo grupo de variables difícilmente llegarían a coincidir en la formulación del orden de causalidad entre ellas. Si se usan pocas variables y se ordenan siguiendo criterios fisiológicos, el análisis "path" resulta objetivo y de gran utilidad. Por su parte, el método de regresión múltiple escalonada no requiere de la formulación de un diagrama de causalidad entre las variables independientes, lo cual permite comparar un mayor número de variables independientes simultáneamente, sin el riesgo de caer en los errores propios de la subjetividad. En la presente investigación se puso en evidencia que el uso de ambas técnicas resultó de gran utilidad, pues se consiguió llegar a similares interpretaciones de los resultados y con ello se aumenta la confiabilidad acerca de las conclusiones finales.

5. CONCLUSIONES

La característica que mostró ser más determinante del rendimiento fue el número de semillas por planta, ya que ésta explica la mayor parte de la variabilidad en el rendimiento por planta (78,15%). El peso de la semilla ocupó un segundo lugar en importancia con un 13,26%. Las demás variables estudiadas no mostraron una contribución positiva directa al rendimiento por planta.

La técnica de análisis "path" permitió confirmar que el número de semillas y el peso de la semilla son los 2 componentes que tienen los efectos directos positivos más altos sobre el rendimiento por planta (1.012 y 0,37 respectivamente), lo cual corrobora los resultados obtenidos a través de la técnica de regresión múltiple

escalonada. Se propone que todo programa de selección indirecta de fenotipos de mayor rendimiento en soya se haga a través del número de semillas por planta, procurando a la vez que el peso de la semilla de los materiales que se seleccionan se mantenga dentro del ámbito comercial.

La técnica de análisis "path" resulta de gran utilidad para conocer los efectos directos e indirectos de las variables independientes sobre una variable dependiente, sólo que esto se logra a través del establecimiento de una relación de causa y efecto entre las variables independientes que se analizan, la cual puede resultar en alto grado subjetiva, si no se establece con criterio científico. Con la técnica de regresión múltiple escalonada no es necesario establecer un orden de causalidad entre las variables independientes, de manera que se puede analizar un número mayor de características en forma simultánea. En el presente estudio ambas técnicas resultaron complementarias, para la comprensión de las interrelaciones de las variables más determinantes del rendimiento por planta en soya.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Adams, M. W. Basis of yield component compensation in crop plants with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris*. *Crop Sci.* 7:505-510, 1967.
2. Adams, M. W. y D. A. Reicosky. Plant architecture and physiological efficiency in the field bean. Report to the Rockefeller Foundation. Michigan State University. Department of Crop Sci. pp. 61-90. 1975.
3. Alfaro, M. R. Pruebas comparativas de cultivares de soya (*Glycine max* L. Merr.) en cinco épocas de siembra en Guanacaste. *Agron., Costarr.* 1:129-141, 1977.
4. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods. Moisture-air-oven methods. V2 44-15A, pp 1-3, 1968.
5. Anand, S. C. y J. H. Torrie. Heritability of yield and other traits in the F3 and F4 generations of three soybean crosses. *Crop Sci.* 3:508-511, 1963.
6. Bernard, R. L. Two major genes for time of flowering and maturity in soybeans. *Crop Sci.* 11:242-244, 1971.
7. Bonner, J. The upper limit of crop yield. *Science.* 137: 11-15, 1962.
8. Brim, C. A. Quantitative Genetics and Breeding. In *Soybeans: Improvement, Production and Uses*. B.E. Caldwell (Ed). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 155-186, 1973.
9. Byth, D. E., B. E. Caldwell y C. R. Heber. Specific and non specific index selections in soybeans, *Glycine max* L (Merrill). *Crop Sci.* 9:702-705, 1969.
10. Byth, D. E., C. R. Heber y B. E. Caldwell. Correlated truncation selection for yield in soybeans. *Crop Sci.* 9:699-702, 1969.
11. Cooper, R. L. Solid seeding to maximize soybean yield. *Soybean Digest.* 34:12-13, 1974.
12. Cooper, R. L. y H. A. Brun. Response of soybeans to a CO₂ enriched atmosphere. *Crop Sci.* 7:455-457, 1967.
13. Chandel, K. P., B. S. Joshi y K. C. Pant. Yield in mung bean and its components. *Indian J. Gen. Pl. Br.* 33:271-276, 1973.

14. Chaudhary, D. N. y B. B. Singh. Correlation and path coefficient analysis of yield components in soybean. *Indian J. Agric. Sci.* 44:487-490, 1974.
15. Chung, J. H. y D. S. Goulden. Yield of haricot beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown at different plant densities. *N. Z. J. Agric. Res.* 14:227-234, 1971.
16. Denis, J. C. y H. W. Adams. A factor analysis of plant variables related to yield in dry beans. I. Morphological traits. *Crop Sci.* 13:74-78, 1973.
17. Dewey, D. R. y K. H. Lu. A correlation and path coefficient analysis of components of crested wheat grass seed production. *Agron. J.* 51:515-518, 1959.
18. Domingo, W. E. Inheritance of number of seeds per pod and leaf-let shape in the soybean. *J. Agric. Res.* 70:251-268, 1945.
19. Echandi, R. y E. Villalobos. Cultivo y producción de soya (*Glycine max* L. Merr) en Costa Rica. Centro de Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica. 1970, 20 p.
20. Egli, D. E. Rate of accumulation of dry seed weight in seed of soybeans and its relationship to yield. *Canadian J. Plant Sci.* 55:215-219, 1975.
21. Ellis, M. A., M. B. Ilyas, F. D. Tenne, J. B. Sinclair y H. L. Palm. Effect of foliar application of benomyl on internally seed-borne fungi and pod and stem blight in soybean. *Plant Dis. Rptr.* 58:760-763, 1974.
22. Eunus, M., I. M. Atkins y J. W. Stansel. Interrelations among quantitative characters in rice. *Indian J. Agric. Sci.* 44: 673-675, 1974.
23. Falconer, D. S. Introducción a la Genética Cuantitativa. Compañía Editorial Continental S. A., México, 1970, 430 p.
24. FAO. Organización de distritos de riego en la cuenca del río Itiquís. Informe analítico preparado por P. de Almeida. San José, Costa Rica, 1973, 69 p.
25. Fehr, W. R., C. E. Caviness, D. T. Burmood y J. S. Pennington. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max*. *Crop Sci.* 11:929-931, 1971.

26. Flack, E. A. y H. R. Boerma. Heritability and correlation of selected characteristics in late planted soybeans. American Society of Agronomy. Annual Meeting, Knoxville, Tenn. 1975, 190 p.
27. Gandhi, S. M., A. K. Saughi, K. S. Nathawat y M. P. Bhatnagar. Genotypic variability and correlation coefficients relating to grain yield and a few other quantitative characters in Indian wheats. Indian J. Gen. Plant Br. 24:1-8, 1964.
28. Gómez, K. A. Techniques for field experiments with rice. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines. 1972, 46 p.
29. Hanson, W. D., R. C. Leffel y H. H. Johnson. Visual discrimination for yield among soybean phenotypes. Crop Sci. 2:93-96, 1961.
30. Hanway, J. J. y H. E. Thompson. How a soybean plant develops. Special Report Nº 53. Iowa State University. 1971, 18 p.
31. Haque, M. F. y R. Prakash. Genotypic and phenotypic variability in seed yield and other quantitative characters in soybean. Proc. Bihar Acad. Agric. Sci. 16:13-19, 1967.
32. Hartwig, E. E. Growth and reproductive characteristics of soybeans. (*Glycine max* (L) Merr.) grown under short day conditions. Trop. Sci. 12:47-53, 1970.
33. Hartwig, E. E. Varietal Development. In Soybeans: Improvement, Production and Uses. B. E. Caldwell (Ed). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 1973, pp. 187-210.
34. Hartwig, E. E. y C. J. Edwards. Effect of morphological characteristics upon seed yield of soybeans. Agron J. 62:64-65, 1970.
35. Hartwig, E. E. y K. Hinson. Association between chemical composition of seed and seed yield of soybeans. Crop Sci. 12:829-830, 1972.
36. Hicks, D. R. y J. W. Pendleton. Effect of floral bud removal on performance of soybeans. Crop Sci 9:435-437, 1969.
37. Hinson, K. Jupiter-a new soybean variety for tropical latitudes. Florida Agric. Exp. Station. Circular S-217. 1972, 12 p.

38. Izhar, S. y D. H. Wallace. Studies on the physiological basis for yield differences. III. Genetic variation in photosynthetic efficiency of *Phaseolus vulgaris* L. *Crop Sci.* 7:457-460, 1967.
39. Johnson, H. W., H. F. Robinson y R. E. Comstock. Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. *Agron J.* 47:314-318, 1955.
40. Johnson, H. W. H. F. Robinson y R. E. Comstock. Genotypic and phenotypic correlations in soybeans and their implications in selection. *Agron. J.* 47:477-483, 1955.
41. Johnson, H. W. y R. L. Bernard. Soybean genetics and breeding. In: *The Soybean*. A. G. Norman (Ed). Academic Press, New York, USA. 1963, pp. 1-73.
42. Jones, B. G. y H. R. Boerma. Inheritance and interrelationship of various canopy characteristics in soybean. *American Society of Agronomy. Annual Meeting. Los Angeles, Cal. 1977* 198 p.
43. Joshi, J. M. y P. E. Smith. Seed yield efficiency in soybeans. *Soybean Gen. News1*, 3:46-48, 1976.
44. Joshi, J. M. y P. E. Smith. Correlated response of certain plant traits with yield in soybeans. *Soybean Gen. News1*. 5:62-66, 1978.
45. Kaw, R. N. y P. N. Menon. Association between yield and components in soybean. *Indian J. Gen. Plant Br.* 32:276-280, 1972.
46. Keller, E. R., A. Soldati y E. Piattini. Yield components and development of several soybean varieties under various climatic conditions in Switzerland. *Soybean Gen. News1*. 5:77-78, 1978.
47. Keller, E. R., A. Soldati y E. Piattini. Study on the technique of crossing as well as on the genetic behaviour of quantitative characters of soybeans. *Soybean Gen. News1*. 5:79-80, 1978.
48. Kim, J. O. y F. J. Kohout. Multiple regression analysis: Sub-programa regression. In *Statistical Package for the Social Sciences*. N. H. Nie, C. H. Hull, J. G. Jenkins, K. Steinbrenner y D. H. Bent (Eds). Mc Graw-Hill Book Co. New York, N. Y. 1975, pp. 320-367.
49. Kim, J. O. y F. J. Kohout. Special topics in general linear models. In: *Statistical Package for the Social Sciences*. N. H. Nie, C. H. Hull, J. G. Jenkins, K. Steinbrenner y D. H. Bent (Eds). Mc. Graw-Hill Book Co. New York, N. Y. 1975, pp. 368-397.

50. Kollman, G. E., J. C. Streeter, D. L. Jeffers y R. B. Curry. Accumulation and distribution of mineral nutrients, carbohydrate, and dry matter in soybean plants as influenced by reproductive sink size. *Agron. J.* 66:549-554, 1974.
51. Kwon, S. H. y J. H. Torrie. Heritability of and inter-relationships among traits of two soybean populations. *Crop Sci.* 4:196-198, 1964.
52. ²⁸ Kwon, S. H. y J. H. Torrie. Visual discrimination for yield in two soybean populations. *Crop Sci.* 4:287-290, 1964.
53. ²⁹ Lal, V. S. y M. F. Haque. Path analysis of yield components in soybeans. *Indian J. Gen. Plant Br.* 31:357-362, 1971.
54. Leakey, C. L. y P. R. Rubaihayo. Soybeans as a potentially valuable crop for agricultural diversification in Uganda. *E. Afr. Agric. For. J.* 36:39-44, 1970.
55. ³⁰ Li, C. C. Path analysis: A primer. Boxwood Press. California. 1977. 347 p.
56. Little, T. M. y F. J. Hills. Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura. Editorial Trillas. México, 1976, 270 p.
57. Lueschen, H. E. y D. R. Hicks. Influence of plant population on field performance of three soybean cultivars. *Agron. J.* 69:390-393, 1977.
58. ³¹ Malhotra, V. V., S. Singh y K. B. Singh. Yield components in green gram (*Phaseolus aureus* Roxb). *Indian J. Agric. Sci.* 44:136-141, 1974.
59. Martin, R. J. y J. R. Milcox. Heritability of lowest pod heights in soybeans. *Crop Sci.* 13:201-203, 1973.
60. Miner, F. D. Biology and control of stink bugs on soybean. University of Arkansas, Agricultural Experiment Station. Boletín N° 708. 1966, 40 p.
61. ³² Pandey, J. P. y J. H. Torrie. Path coefficient analysis of seed yield components in soybeans (*Glycine max* (L) Merr.). *Crop Sci.* 13:505-507, 1973.
62. Patil, V. H. y Y. S. Pokle. Path coefficient analysis in soybean. *Indian J. Agric. Sci.* 44:544-546, 1974.

63. Patterson, D. T., Peet M. M. y J. A. Bunce. Effect of photoperiod and size at flowering on vegetative growth and seed yield of soybeans. *Agron. J.* 69:631-635, 1977.
64. Rihewal, S. S. y M. N. Koppar. Association analysis in soybean. *Indian J. Gen. Plant Br.* 33:96-99, 1973.
65. Rohlf, F. J. y R. R. Sokal. *Statistical tables*. Freeman Co. San Francisco, Cal. 1969, 253 p.
66. Rubaihayo, P. R. y C. L. Leakey. Introduction, testing and selection of soya beans in Uganda. *E. Afr. Agric. For J.* 36:77-82, 1970.
67. Sánchez, A. L. y E. J. Veloso. Efeito do espaçamento e da densidade de plantio, sobre varias características agronomicas na cultura de soja (*Glycine max* (L) Merrill) variedade "Vicoja" em Jaboticabal, Sao Paulo. *Cientifica* 2:137-147, 1974.
68. Sengupta, K. y A. S. Kataria. Path coefficient analysis for some characters in soybean. *Indian J. Gen. Plant Br.* 31:292-297, 1971.
69. Singh, K. B. y R. S. Malhotra. Interrelationships between yield and yield components in mung bean. *Indian J. Gen. Plant Br.* 30:244-250. 1970.
70. Singh, K. B. y P. D. Mehndiratta. Genetic variability and correlation studies in cowpea (*Vigna sinensis* L.), *Indian J. Gen. Plant Br.* 29:104-109, 1969.
71. Singh, T. P. y K. B. Singh. Interrelationship of quantitative traits with grain yield in field pea. *Indian J. Gen. Plant Br.* 29:483-487, 1969.
72. Sticker, F. C. Improvements in soybean production equipment. In: *World Soybean Research*. L. D. Hill (Ed). Interstate Printers & Publishers Inc. Danville, Illinois. 1976, pp. 183-189.
73. Tattersfield, J. R. y J. H. Williams. A breeding project aimed at producing major morphological changes requiered to fit a soybean "idiotype". *Soybean Newsl.* 6:89-92, 1979.
74. Teigen, J. B. y J. J. Vorst. Soybean presponse to stand reduction and defoliation. *Agron. J.* 67:813-815, 1975.

75. Villalobos, E. y L. A. Fournier. Identificación morfológica de algunas selecciones de soya introducidas en Costa Rica. Agron. Costarr. 2:23-27, 1970.
76. Wallace, D. H. y H. M. Munger. Studies of the physiological basis for yield differences. II. Variations in dry matter distribution among aerial organs of several dry bean varieties. Crop Sci 5:503-507, 1966.
77. Max, L. M. Weed Control. In: Soybeans: Improvement, production and uses. B. E. Caldwell (Ed). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 1973, pp. 417-457.
78. Wright, S. The method of path coefficients. Ann. Math. Statist. 5:161-215. 1934.

NOTA: Las referencias 43, 44, 46, 47 y 73, de la publicación anual Soybean Genetics Newsletter, fueron usadas acatando la previsión de la revista de que los artículos que en ella se publican son preliminares y están sujetos a algún cambio eventual por parte de los autores.