

VARIABILIDAD DEL CONTENIDO DE PROTEINA EN EL
GRANO DEL FRIJOL COMUN CULTIVADO BAJO DIFERENTES
CONDICIONES DE MEDIO AMBIENTE*

Centro Agronomico Tropical de
Investigación y Enseñanza (CATIE)

Gustavo A. Enríquez**
César Chiriboga***

INTRODUCCION

Después del maíz, el frijol es el alimento más importante en Centro América y gran parte de México, Panamá y Sur América. En países como Brasil el consumo diario por habitante es más de 68 gramos (10) que, posiblemente es el más alto registro en el mundo. Si ese es el promedio y si se considera que no todas las grandes ciudades ni las áreas más desarrolladas del sur de Brasil consumen una buena cantidad de frijol, podemos deducir que en las áreas de mayor consumo esa cifra puede duplicarse fácilmente.

Enorme es la variabilidad genética que la especie presenta para una serie de características anatómicas, morfológicas, fisiológicas etc. que responden al inmenso germoplasma que existe de esta especie especialmente en América Latina.

De la misma manera como existe una gran variabilidad genética en la planta, el medio ambiente tiene una fuerte influencia sobre la expresión fenotípica de esas características genéticas (4, 5, 6, 7 y 9) y muchos son los casos de

* Presentado en la X Reunión de la Asociación Latinoamericana de Ciencias Agrícolas en Acapulco, México, del 22 al 28 de abril de 1979.

** Ph.D., Jefe, Programa Plantas Perennes, CATIE, Turrialba, Costa Rica

*** Ing. Agr., Jefe, Programa Leguminosas, INIAP, Santa Catalina, Quito Ecuador

confusión en identificación de cultivares que han sido plantados en diversos lugares, al punto de aparecer como que fueran diferentes líneas o cultivares.

Muchos de los programas de mejoramiento, tanto en América como en otras áreas del mundo, han puesto mucha atención a esta especie por el alto contenido de proteína, por el alto contenido de algunos aminoácidos esenciales y por cuanto es un alimento que se complementa muy bien con algunos cereales como el maíz y el trigo, como alimentos básicos en la dieta diaria de personas de bajos recursos, especialmente de los campesinos del agro americano.

Los programas de investigación, del CATIE y otros centros de investigación en el mundo, para ayudar al pequeño agricultor o a los agricultores de bajos recursos, ha venido desarrollando sistemas de investigación para determinar cuales de las asociaciones de cultivos comunes, en el área de los trópicos húmedos, pueden ser modificadas o mejoradas en los rendimientos. Estas asociaciones de cultivos anuales, generalmente tienen en su componente básico, maíz y frijol, que son sembrados juntos o combinados con otros cultivos. Uno de los métodos de evaluar el valor real de estas asociaciones, ha sido el de expresar su rendimiento en términos de cantidad de proteína producida por área y por año en cada una de las localidades estudiadas.

Existen varios caminos para la estimación de esta cantidad, o se fija el porcentaje de proteína, como una medida representativa de la especie haciendo un promedio muy grande que pueda generalizar o se hacen los análisis químicos para cada parcela o para cada ensayo en cada año de experiencia. El primer método es muy fácil, pues se recopila el mayor número de análisis posible de la localidad, se hace un promedio y de esta manera se estima o se selecciona la cifra aparentemente más adecuada. El segundo método es sumamente largo, costoso y consumidor de

tiempo y por lo tanto generalmente se lo descarta y se adopta algo más sencillo.

La especie tiene una enorme variabilidad en el contenido de proteína en las diferentes selecciones o cultivares que se están usando en los programas de mejoramiento, esta variabilidad fluctúa de menos de 10% hasta 37,6% lo cual representa una rango natural muy amplio (10).

Desde hace mucho tiempo se ha llamado la atención sobre la gran influencia que tienen algunos factores medio ambientales en el porcentaje de proteína del mismo cultivar cosechado en diferentes localidades, suelos y año (1, 2, 4).

El presente trabajo trata de relacionar esta variabilidad con algunos de los factores medio ambientales en algunas zonas de la sierra baja de Ecuador.

MATERIALES Y METODOS

Los ensayos de comparación de variedades se llevaron a cabo en ocho localidades en valles bajos de la sierra ecuatoriana (Ver Cuadro 1 de Resultados).

Las variedades usadas se describen a continuación: (3)

Algarrobo: Flor rosada pálida, grano arriñonado, buen tamaño, coloración roja y rosada. Origen Antioquia, Colombia. Resistente a Roya y Antracnosis.

Diacol Calima: Ciclo vegetativo 80-90 días. Granos rojos moteados de crema, hábito determinado. susceptibilidad a la Roya, buena rendidora. Colombiana.

Diacol Andino: (Uribe Magolita) Originaria de Tibaitatá, Colombia, del cruce de Sánchez x Estrada Rosada. Semilla rosada brillante con estrías rojas, forma ovoide. Resistente a enfermedades de climas fríos.

Matambre: Forma arriñonada, amarillo pálido, flor blanca, buena productora. Grano grande, sirve para hortaliza en tierno.

Amarillo: Color amarillo intenso, pequeños y alargados, flores amarillentas. Resistente a la Roya, alto contenido de proteína.

Diacol Nima: Proveniente de las variedades Algarrobo y Perú - 5. Apta para climas moderados. Flor blanca y lila. Grano rojo con pintas crema y rosadas. Ciclo vegetativo de 90 - 95 días.

Panamito: Grano pequeño, color blanco, forma ovoide. Buen rendidor en lugares bajos. Flor blanca amarillenta.

Li 32: Grano pequeño arriñonado, negro. Flores lilas. Resistente a varias enfermedades y plagas. Hipocótilo negro, variedades para fácil cosecha mecánica. Originaria de Colombia procedente de variedades Centroamericanas.

El diseño experimental fue el de bloques al azar con 4 repeticiones. La parcela fue de $7,20 \text{ m}^2$, formada de 3 surcos de 4 metros de largo separadas a 60 cm, se sembró una planta por golpe a 10 cm entre sitios. Parcela neta con un área de $1,80 \text{ m}^2$ formada por un surco (central) de 3 metros de largo con un total de 30 sitios.

La preparación del suelo fue bastante similar en lo posible en cada localidad aunque los instrumentos de labranza fueron en algunos casos algo diferentes, pero en todos se dió una arada y dos rastras. Los surcos se hicieron a mano en todas las localidades.

El fertilizante recomendado para cada localidad fue algo diferente pues se puso 50 kilos por hectárea de un fertilizante completo (18-46-0) en las localidades de Puéllaro, Yaguarcocha, Boliche (Sta. Catalina), Ibarra y Culamala, más 100 Kg de Urea a los 30 ó 40 días después de la siembra. En las localidades de Guayllabamba, el Chota y San José de Minas, se puso 150 kg por hectárea de la misma fórmula más los 100 kg de Urea a los 30 días.

En todas las localidades se hicieron los riegos necesarios (de 5 a 8) de acuerdo a las necesidades de cada localidad. Los trabajos culturales fueron

los más comunes, recomendados por los mismos finqueros en cada región. Se hicieron aplicaciones preventivas de fungicidas e insecticidas.

En los ensayos estudiados se tomaron datos agronómicos estandar en todas las variedades, como: Días a la floración, días a la madurez, número de vainas por plantas, número de granos por vaina, peso de 100 semillas, índice de cosecha, rendimiento en granos por parcela y el porcentaje de proteína. Los resultados completos se remiten al lector en el trabajo de Chiriboga (3). De las muestras de las localidades de Boliche y Puéllaro, de cada variedad se hicieron análisis de proteína en el Laboratorio de Nutrición de la Estación Experimental de Santa Catalina y se tomó muestras de las variedades Calima y Amarillo, que fueron las variedades con más bajo y alto porcentaje de proteína, respectivamente, en el análisis de la semilla original. Se hicieron sendos análisis para cada localidad.

RESULTADOS

Las variables o parámetros en cada localidad son: la altitud del lugar sobre el nivel del mar, la temperatura promedio, la cantidad de lluvia, el pH del suelo y la cantidad de N, P y K, Cuadro 1.

Una de las variables con diferencias más acentuadas es la altitud que bajo las condiciones de Ecuador determina la temperatura, la cual se vuelve el factor determinante más importante para los cultivos. La altitud variaba de 1.680 m hasta los 2.720 m.

De cada una de las variedades, en cada localidad, se estudiaron, los días a la floración y a la madurez, el número de vainas por planta, el número de granos por vaina, el peso de 100 semillas secas (12%) , el rendimiento expresado en .

Cuadro 1. Resumen de las variables de cada localidad

Localidad	Altitud msnm	Temp. Promed.	Lluvia mm	- - - S U E L O - - - -			
				pH	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Boliche (INIAP)	2.720	13,5	1.346	5,9	65	48	260
Puéllaro	2.200	14,5	650	8,1	63	69	235
Yaguarcocha	2.200	14,0	435	7,4	36	13	445
Guayllabamba	2.230	14,0	700	7,0	41	11	260
El Chota	1.680	18,0	350	7,9	15	31	510
S. J. de Minas	2.300	14,5	900	6,0	103	19	355
Culamala (INIAP)	2.600	14,0	1.350	6,0	6	6	205
Ibarra	2.220	15,0	450	8,0	19	12	215



gr/parcela y se calculó el índice de cosecha que es la relación de la cosecha económica (semillas solamente) y la cosecha biológica (toda la planta excepto las raíces). Se pudo notar que la variación más grande estaba en los días a la floración y a la madurez, que fluctuó de 45 a 62 días en la variedad 'Calima' y de 55,75 a 80,5 en la variedad 'Amarillo'. Los rendimientos también variaron en cada localidad en ambos cultivares con variaciones que van de 68,34 gr a 514,67 gr por parcela de 1.8 m².

El resultado del análisis de proteína a las variedades, se encuentra en el Cuadro 2. También se presenta el valor de la proteína de la semilla original antes de sembrar, que se considera el punto de partida para todas las variedades. Como se puede observar en el presente cuadro el porcentaje de proteína de las diferentes variedades fue siempre superior en los cultivos realizados en los experimentos, sobre el de la semilla original. La mayor diferencia se encuentra en la 'Línea - 32', al relacionarla con el promedio de las localidades y la menor diferencia en el cultivar 'Amarillo' con 6,58 y 2,6 % respectivamente.

La 'Línea - 32' es un cultivar que se seleccionó para las zonas bajas del país y la semilla original fue cosechada a 40 m sobre el nivel del mar con un número de días a la floración y a la madurez bastante bajos, comparados con los obtenidos en las localidades del presente estudio. Los otros materiales fueron obtenidos de campos de agricultores, donde con seguridad no debieron usar abonos. La diferencia entre el porcentaje de proteína de la semilla original y el de las 2 cosechas quizás está influenciado por el tiempo que tarda la planta en completar su ciclo de vida en cada localidad y el uso de abonos y mejores prácticas culturales dentro de los ensayos. Se nota que la localidad de Puéllaro, que es la más baja, da un porcentaje promedio de proteína menor que la del lote Boliche, en Santa Catalina, que es la localidad más alta.

Cuadro 2. Contenido de proteína de 8 variedades, en dos localidades, y el porcentaje original. Ecuador 1976

Variedad	Original	Bolicho 2.720 m	Puéllaro 2.200 m	\bar{X} de lugares
	----- % proteína -----			
Algarrobo	25,23	30,50	27,25	28,87
Uribe	25,92	29,12	27,01	28,06
Calima	22,62	28,46	26,13	27,38
Matambre	24,64	30,14	27,80	28,97
Amarillo	26,26	29,08	27,56	28,32
Nima	26,23	30,39	29,40	29,89
Panamito	24,24	31,60	28,09	29,84
Línea - 32	21,15	28,03	27,44	27,73
\bar{X}	24,53	29,66	27,49	28,63

Los porcentajes de proteína de dos de las variedades seleccionadas en las 8 localidades estudiadas, se presentan en el Cuadro 3, con el valor original del porcentaje de proteína de la semilla utilizada en los experimentos.

Se puede observar una fuerte variación en los porcentajes de acuerdo a las localidades, esta discrepancia entre el porcentaje más alto y más bajo es de 7,17 y de 8,95 en los porcentajes de 'Calima' y 'Amarillo', respectivamente. También se puede observar una diferencia entre el promedio de los porcentajes en los diferentes lugares y el porcentaje de proteína de la semilla original que es de 3,81 y de 1,51 en 'Calima' y 'Amarillo', respectivamente.

La evaluación del rendimiento de proteína en el cultivo del frijol por área, se acostumbra a hacer en base del análisis químico de una localidad o su rendimiento se calcula en función de tablas pre establecidas. En los cuadros de la Literatura Latinoamericana se consignan análisis de una o dos localidades, de variedades no conocidas bajo condiciones tampoco conocidas, entonces el error acumulativo puede ser muy grande. Si consideramos un rendimiento de 1.000 kg/ha de frijol seco con un 22,59% de proteína, el más bajo de la variedad 'Amarillo', daría un rendimiento de proteína total por hectárea de 225,9 kg, pero si basamos en otro análisis obtendríamos un valor de 315,4 kg por hectárea, con una considerable diferencia en el rendimiento de proteína total o valor alimenticio por área. Si a esto le sumamos que las variedades son muy diferentes, entonces los errores acumulados pueden aún ser mayores.

Para tener información de las relaciones entre las características que comúnmente se estudian en las plantas de frijol y las características del medio ambiente encontradas en las localidades, se hicieron las correlaciones (r) de todos y cada uno de los datos en promedio con el respectivo porcentaje de proteína,

Cuadro 3. Datos del análisis del contenido de proteína de dos variedades en 8 localidades (%)

Localidad	Calima	Amarillo
	- - - % de Proteína - - - - -	
Boliche	28,46	29,08
Puéllaro	26,13	27,56
Yaguarcocha	25,93	28,25
Guayllabamba	26,55	28,77
El Chota	22,23	22,59
S. J. de Minas	26,21	26,01
Culamala	29,40	28,35
Ibarra	26,51	31,54
\bar{x}	26,43	27,77
Semilla Original	22,62	26,26

observándose que la correlación más alta fue detectada con el factor temperatura, advirtiéndose un valor de "r" de -0,928 que nos indica una relación muy estrecha pero negativa de estos 2 parámetros. Luego le sigue en importancia el índice de cosecha (I.C.) con -0,906, luego le siguen la altitud, los días a la madurez y a la primera flor y la cantidad de N que son significativas al nivel de 1% y la cantidad de K en el suelo que fue significativa al nivel del 5%, siendo estas últimas 5 valores de "r" de carácter positivo y que fluctúan de 0,875 hasta 0,721.

También se notó una correlación positiva y significativa entre la lluvia anual y el porcentaje de proteína, pero se estima que esto no es una correlación validera, pues la lluvia representa el total por año, pero no la cantidad caída durante el ciclo de crecimiento, por el contrario en la mayoría de las localidades se hizo necesario algunos riegos adicionales como se explicó anteriormente.

Se establecieron correlaciones múltiples entre las variables que más alta correlación tenían (temperatura) y el porcentaje de proteína. Se notó que cuando se añadía en la correlación múltiple el número de días a la madurez, había un incremento de 0,049 en el valor de "R" y si se incluía un valor de índice de cosecha el valor de "R" llegó a 0,083, ningún otro parámetro adicionó nada de importancia a la correlación múltiple.

Cuando se hizo la correlación múltiple entre el porcentaje de proteína y la cosecha (o rendimiento por parcela) adicionado al parámetro del índice de cosecha, se pasó de 0,084 a 0,954. Los otros parámetros que se introdujeron, fueron el contenido de N, el contenido de K y los días a la madurez hicieron subir el valor de "R" de 0,954 a 0,981.

Considerando los dos primeros factores, se puede establecer una relación para poder estimar valores esperados con una ecuación simple que se puede ir complicando mucho más si aumenta el número de parámetros introducidos al estudio.

Por ejemplo si consideramos el rendimiento y el índice de cosecha tendríamos la siguiente ecuación (8):

$$\hat{Y} = 53,0675 + 0,00513 (\text{rendimiento}) - 0,49643 (\text{I.C.})$$

Un ejemplo numérico sobre esta ecuación para la variedad 'Calima' en las localidades de Guayllabamba y El Chota será:

$$\hat{Y} = 53,0675 + 0,00513 (224,27) - 0,49643 (54,87)$$

$$\hat{Y} = 26,97 \text{ en Guayllabamba}$$

$$\hat{Y} = 53,0675 + 0,00513 (147,44) - 0,49643 (61,38)$$

$$\hat{Y} = 23,35 \text{ en El Chota}$$

que estiman mejor los valores observados de 'Calima' de 26,55 y 22,23 de Guayllabamba y El Chota respectivamente.

Otro ejemplo estudiado y que puede ayudar al cálculo de % de proteína más adecuado sería:

Primera correlación, % de proteína y temperatura, que es la correlación más alta, a esto le añadimos en el primer paso, los días a la madurez y tenemos la siguiente ecuación:

$$\hat{Y} = 34,5071 - 0,98818 (\text{Temperatura}) + 0,05882 (\text{Días a la madurez})$$

El hecho de añadir los días a la madurez, a la correlación original "r" (0,860) nos da un valor de "R" de 0,954.

Si a esta regresión múltiple le añadimos el Índice de Cosecha (I.C.), la regresión múltiple o "R" sube a 0,967, dándonos una ecuación para estimar el porcentaje de proteína de:

$$\hat{Y} = 40,0818 - 0,80872 (\text{Temperatura}) + 0,04247 (\text{Días a la madurez}) - 0,11455 (\text{I.C.})$$

Un ejemplo sería el estimado del % de proteína de 'Calima' en Guayllabamba y El Chota:

$$\hat{Y} = 40,0818 - 0,80872 (14) + 0,04247 (104) - 0,11455 (54,87)$$

$$\hat{Y} = 26,89$$

que se asemeja mucho al valor original obtenido de 26,55.

Calculando para El Chota la misma variedad "Calima", tenemos:

$$\hat{Y} = 40,0818 - 0,80872 (18) + 0,04247 (90) - 0,11455 (61,38)$$

$$\hat{Y} = 21,32$$

que estima mucho mejor el valor obtenido de 22,23%.

Se concluye que se deben hacer estudios generales para varias localidades, algunas variedades y por algunos años, de tal suerte que las ecuaciones calculadas como las presentes, estimen en una forma más exacta los % de proteínas para hacer cálculos de rendimiento como para usos en aspectos nutricionales.

En el presente estudio no se recomienda la selección de parámetros, puesto que ellos pueden variar mucho de un lugar a otro y su influencia también deberá variar, por lo tanto se recomienda ampliar la gama de estudios si se quiere tener una estimación más exacta.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BRESSANI, R. 1970. Variación en el contenido de nitrógeno, metianina cistina y lisina de selecciones de frijol. In Reunión Anual del PCCMCA 15a., San Salvador, Febrero 24-28, 1969. Guatemala, IICA Zona Norte. pp 5-7.
2. _____, MENDEZ, J. y SCRIMSHAN, N. S. 1960. Valor nutritivo de los frijoles centroamericanos. III. Variaciones en el contenido de proteína, metianina, triptógeno, tiamina, roboflavina y niacina de muestras de Phaseolus vulgaris cultivados en Costa Rica, El Salvador y Honduras. Archivos Venezolanos de Nutrición 10(2):71-84.
3. CHIRIBOGA, V., C. 1977. Adaptabilidad y estabilidad de 8 variedades de frejol (Phaseolus vulgaris L.), en cinco localidades de la sierra ecuatoriana. Tesis Ing. Agr. Quito, Ecuador, Universidad Central. 86 p.
4. FREYTAG, G. F., et al. 1956. Estudios sobre las propiedades nutritivas del frijol. I. El contenido total de proteína de los tipos de frijol. México, Secretaría de Agricultura y Ganadería. Oficina de Estudios Especiales. Folleto Técnico N°19. 31 p.
5. GOMEZ, B. R. 1970. Importancia del frijol en la América Central y variabilidad en su composición química. In Reunión Anual del PCCMCA, 16a. Antigua, Guatemala, Enero 25-30, 1970. Memoria Antigua, Ministerio de Agricultura. 13 p.
6. LANTZ, E. M., GOUCH, H. N. and CAMPBELL, A. M. 1958. Nutrients in beans. Effect of variety, locations and years on the protein and amino-acid content of dried beans. Journal Agricultural Experimental Station, 6(1): 58-60.
7. _____. 1962. Effect of planting date on the composition and cooking quality of pinto beans. New Mexico State University. Agricultural Experiment Station. Bulletin 467.
8. LeCLERG, E. L., LEONARDO, W. H. and CLARK, A. G. 1962. Field plot technique. Minneapolis, Burgess. 373 p.
9. ORTEGA, M., RODRIGUEZ, C. y HERNANDEZ, E. 1974. Análisis bioquímico exploratorio de granos de los genotipos de Phaseolus vulgaris L. y P. coccineus cultivados en México. Fitotecnia Latinoamericana 10(1): 70-74.
10. VIEIRA, C. 1967. O feijoeiro - comun. Cultura, doenças e melhoramento. Viçosa, Minas Gerais. 220 p.