

Variabilidad en el color del tegumento de semillas de poroto (*Vigna unguiculata* L.) observada en un lote proveniente de finca de productor

Cowpea (*Vigna unguiculata* L.) seeds coat color variability observed in a seed lot coming from a producer farm

**María Dolores Zarate Arias¹, Rosa María Oviedo de Cristaldo^{2*},
Marcela Beatriz Ayala Benítez³ y Diego Dionisio González Espínola⁴**

¹ Carrera Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA). San Lorenzo, Paraguay.

² Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas, Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, Paraguay.

³ Departamento de Producción Agrícola, FCA-UNA. San Lorenzo, Paraguay.

⁴ Departamento de Biología, FCA-UNA. San Lorenzo, Paraguay.

*Autor para correspondencia (rosa.cristaldo@gmail.com).

Recibido: 16/12/2011; Aceptado: 09/03/2012.

RESUMEN

El experimento se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. El objetivo fue determinar el origen de la variabilidad del color del tegumento de las semillas de poroto (*Vigna unguiculata* L.), variedad San Francisco. Fueron seleccionadas líneas basadas en el color de fondo, modelo de ojo y color de ojo de la semilla. Para la primera se determinaron seis colores diferentes, mientras que para las dos últimas se observaron tres clases. Cada color o modelo representaron los tratamientos. Para cada uno se sembraron veinte plantas que correspondieron a las repeticiones. Como testigo se utilizó el lote original con mezcla de los colores y modelos observados. La evaluación de la descendencia del lote original y de los sub-lotes se realizó con la prueba de Ji cuadrado. Para el color de fondo se encontraron diferencias significativas entre lo observado y esperado del lote original, las diferentes clases y sus descendientes. En el color de ojo también se observaron diferencias significativas entre las progenies del lote original y del sub-lote con color de ojo marrón claro. Para el modelo de ojo no fueron halladas diferencias estadísticas significativas entre el lote original y su progenie. Se concluye que la variabilidad en el color del tegumento de la semilla de poroto se debe a una mezcla de líneas puras y segregantes para del color de fondo y color de ojo de la semilla y una mezcla de líneas puras para la variable modelo de ojo.

Palabras clave: *Vigna unguiculata*, poroto, semilla, testa, variabilidad.

ABSTRACT

The experiment was carried out at the experimental field of the Facultad de Ciencias Agrarias of the Universidad Nacional de Asunción. The objective was to determine the origin of seed coat color variability of cowpea (*Vigna unguiculata* L.), variety San Francisco. Lines were selected based on the difference observed for the background color, eye pattern and eye color of the seed. For the first, six colors were found, while for the last two, three groups of eye patterns and colors were observed. Each color or pattern represented a treatment. For each one, twenty plants or replications were seeded. As a control was used the original seed lot of mixed colors and patterns. The evaluation of offspring of both, the original batch and sub-batch was performed with the chi squared test. Significant differences between observed and expected proportions for the background color were observed for the original seed lot, the different classes and their descendants. Significant differences in eye color were also observed among the progeny of the original batch and the sub-batch with brown eye color. On the other hand, no statistically significant differences were found between the original seed lot and its progeny for the eye pattern. It was concluded that the variability in the coat color of cowpea seed is due to a mixture of pure lines and segregates in determining the background color and eye color of the seed. However, it is a mixture of pure lines for eye pattern.

Key words: *Vigna unguiculata*, cowpea, seed coat, variability.

INTRODUCCIÓN

El poroto (*Vigna unguiculata* L.) es un componente importante en la dieta del agricultor paraguayo. Constituye uno de los cultivos de subsistencia, también se lo utiliza como forraje, abono verde y en asociación con otros cultivos (Almirón 2003), los excedentes de la finca se comercializan en los mercados locales. Se adapta muy bien a las condiciones agroclimáticas y sistemas productivos del país, es una de las leguminosas más tolerantes a la sequía y responde bien a una amplia gama de texturas de suelo (MAG 1985).

Las semillas de poroto son reniformes, elipsoidales o esféricas, pueden ser de color uniforme: negro, marrón, rojizo, amarillo, blanco, o presentar manchas irregulares; miden de 2 a 12 mm y poseen tegumento liso o rugoso. El hilo tiene el borde negro y hundido. La estructura interna de la semilla es semejante a la del frijol. Su composición es también similar; el contenido de proteína es de casi el 22 por ciento, compuesto especialmente de vignina, que es propia de esta especie y de legumina, que es la principal proteína del frijol (León 1968, Calegari 1995).

Las variedades más cultivadas en Paraguay tienen semillas de color rojo uniforme, llamada Pyta'i o granos moteados, conocida como San Francisco. Es una especie predominantemente autógena y las variedades de las mismas consisten generalmente en una mezcla de muchas líneas homocigotas muy relacionadas. Partiendo de éstas se pueden llegar a obtener líneas puras a través de selecciones individuales (Casaccia 1991). El color de las semillas de poroto es un factor que puede contribuir para una buena venta del producto, conforme a la preferencia de las diferentes regiones (Silva et al. 1996).

El sistema de producción de los agricultores de pequeñas propiedades contempla el uso de semillas propias, esta práctica genera con el correr del tiempo mezcla de variedades y por consiguiente pérdida de la pureza genética de las mismas (González 2004). Esta alteración puede deberse a causas mecánicas debido a mezclas con otras semillas, tanto en campo como en los procesos pos cosecha y genéticas debido a cruzamientos espontáneos con otras variedades. En caso que la variedad no sea una línea pura, la competencia interna elimina genotipos. También pueden intervenir alteraciones cromosómicas en especies poliploides; mutaciones espontáneas; deriva genética por haber reservado un pequeño número de semillas para la siembra siguiente o envejecimiento de la semilla (Cubero 1999).

El uso de semillas con una menor pureza genética, es una de las principales causas de bajos beneficios en las siembras de los cultivos, así como, de la aparición y diseminación de enfermedades que afectan el rendimiento y la calidad de las cosechas del agricultor, por lo que

finalmente, disminuye el valor comercial del producto. El objetivo del presente trabajo fue determinar a través de la prueba de progenie el origen de las diferencias en el color del tegumento de las semillas de poroto de la variedad San Francisco de un lote de semillas proveniente de la finca de un agricultor que utiliza semilla propia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay. La zona se caracteriza por tener una temperatura media de 23°C y una precipitación media anual entre 1.000 a 1.200 mm. Para el experimento se utilizaron semillas de poroto (*Vigna unguiculata* L.) de la variedad San Francisco, con un ciclo del cultivo de aproximadamente 120 días, provenientes de la finca de un agricultor del Departamento de Cordillera. Las semillas de esta variedad se caracterizan por tener el tegumento bicolor, un color de fondo o de la testa claro presentando manchas oscuras (Casaccia 1991).

Las variables evaluadas en este experimento fueron el color de fondo (testa) de las semillas, el modelo y el color del ojo (mancha) de las mismas. Para todas las evaluaciones fue utilizado el mismo lote de semillas. Para la variable color de fondo o de la testa de las semillas se hizo una clasificación en lotes de acuerdo a la coloración que presentaban, los mismos fueron sembrados en forma independiente, constituyéndose así en los tratamientos. Cada uno de estos estaba representado por dos hileras con uno de los colores de fondo identificados. Se sembró como testigo el lote original con todos los colores de semillas. Cada planta representaba una repetición, totalizando de esta manera, siete tratamientos con veinte repeticiones cada uno (**Tabla 1**). Las evaluaciones de las variables modelo del ojo y color del ojo se realizaron con ayuda de los descriptores para poroto propuestos por Bioversity International (2007).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos utilizados para la variable color de fondo de un lote de semillas de poroto (*Vigna unguiculata* L.), variedad conocida como San Francisco. San Lorenzo, 2010.

Tratamientos	Color de fondo de las semillas
1	Crema
2	Crema oscuro
3	Crema rojizo
4	Rojizo
5	Rojizo oscuro
6	Mitad crema- mitad rojizo
Testigo	Lote original con mezcla de colores

Para la variable modelo del ojo, así como para el color del ojo, el lote original de semillas fue agrupado en tres sub-lotes con características diferentes, constituyéndose estos en los tratamientos (**Tabla 2**).

El método estadístico utilizado para el análisis de los datos fue la prueba de Ji cuadrado (χ^2). Se compararon las proporciones observadas en las semillas descendientes de cada lote considerado, con las esperadas de acuerdo a la hipótesis sobre el mecanismo de herencia para cada componente de la característica color de la semilla (Spiegel et al. 2001).

Por otro lado, para la determinación de relaciones existentes entre las variables en estudio se utilizó el análisis de χ^2 para la hipótesis de independencia entre dos atributos. Para lo cual las frecuencias teóricas fueron estimadas de las propias frecuencias observadas (Markus 1968).

Tabla 2. Descripción de los tratamientos utilizados para las variables modelo del ojo y color del ojo de un lote de semillas de poroto (*Vigna unguiculata* L.), variedad conocida como San Francisco. San Lorenzo, 2010.

Tratamientos	Modelo del ojo	Color del ojo
1	Ausente	Ausente
2	Grupo Holstein ¹	Marrón
3	Coloración propia ²	Marrón claro
Testigo	Lote original	Lote original

1 y 2 Conforme a los descriptores para poroto de Bioversity International (2007).

Los tratamientos se sembraron a un distanciamiento de 0,5 m entre hileras y 0,5 m entre plantas; el espacio entre cada tratamiento fue de 1 m. Se realizaron cosechas de tres vainas por planta. Los lotes de semillas cosechados fueron clasificados cuidadosamente manteniendo la identidad de cada planta. Seguidamente se procedió a separarlos en sub-lotes de acuerdo a la variabilidad presente en cada uno de ellos. Posteriormente, las proporciones encontradas en las progenies fueron comparadas con las proporciones observadas en los lotes de semillas utilizados para la siembra de acuerdo a la prueba de Ji cuadrada aplicada para cada conjunto de datos observados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparación del color de fondo entre semillas del lote original y su progenie

En el lote original, antes de la siembra, se pudo clasificar y separar las semillas en seis sub-lotes con colores de fondo diferentes. Las semillas cosechadas de la siembra del lote original mantuvieron los seis sub-lotes pero en distintas proporciones a la observada en el lote original. El

análisis de Ji cuadrado (χ^2) realizado para comparar las proporciones observadas en el lote original de semillas antes y después de la siembra revela diferencias altamente significativas entre las proporciones observadas y las esperadas para la característica color de fondo de las semillas. Los resultados obtenidos apoyan la hipótesis de que en el lote original de semillas todavía existen plantas en condición de heterocigosis, éstas segregarán en la siguiente generación ocasionando las variaciones altamente significativas entre las proporciones esperadas y observadas, contrariamente a lo que se esperaría en líneas en homocigosis (**Tabla 3**).

Tabla 3. Análisis de χ^2 para las proporciones esperadas y observadas de los diferentes colores de fondo de semillas de poroto (*Vigna unguiculata* L.), en el lote original. San Lorenzo, 2010.

Color de fondo	Esperadas	Observadas	χ^2
Crema	14,9	22,4	3,78
Crema oscuro	21,6	24,0	0,27
Crema rojizo	20,0	22,8	0,39
Rojizo	12,0	22,0	8,33
Rojizo oscuro	31,0	8,7	16,04
Mitad crema-mitad rojizo	0,5	0,1	0,32
Total	100,0	100,0	29,13**

** Altamente significativo.

Aquino y Nunes (1983) afirman que los genotipos de poroto, a pesar del elevado grado de homocigosis, en virtud de mecanismos florales que favorecen aunque no hacen obligatoria la autogamia, presentan variabilidad genética suficiente para permitir la identificación y caracterización, en sus progenies, de individuos genotípica y fenotípicamente distintos.

Progenies derivadas de los lotes de semillas con diferentes colores de fondo

El análisis de χ^2 para la hipótesis de mezcla de líneas puras para la variable color de fondo o de la testa, asumiendo hasta un 4% de cruzamiento natural, dio como resultado diferencias altamente significativas entre las proporciones esperadas y las observadas para las descendencias de semillas con color de fondo crema, crema oscuro, crema rojizo, rojizo, rojizo oscuro y para la característica mitad crema y mitad rojizo clasificadas y separadas en del lote original (**Tabla 4**).

Los resultados obtenidos demuestran claramente que en el lote original todavía existen plantas con genes en heterocigosis que continúan en proceso de segregación, y que la variación en el color de fondo observado, no es debida solamente a una mezcla de líneas puras. Una línea pura es una población que produce descendencia homogénea, para cualquier carácter particular en estudio; todos los descendientes producidos por autopolinización

dentro de una población, muestran el carácter de la misma forma (Griffiths et al. 1995). Toda población que se reproduce por autofecundación está constituida por individuos totalmente homocigotos, que producen descendientes idénticos al progenitor (Allard 1980). Para que el lote de semillas sea considerada una mezcla de líneas puras o de plantas homocigotas para la característica color de fondo, no debería haber diferencias significativas entre las proporciones observadas y esperadas dentro de cada color de fondo considerado. De esta manera, la descendencia esperada de las plantas provenientes de las semillas extraídas del lote original debería ser homogénea para cada color admitiendo solamente hasta 4% de semillas de otros colores. Cubero (1999), expresa que al cabo de un gran número de generaciones de autofecundación, los heterocigotos llegan a desaparecer; cuando existe un gran número de genes e interacciones complejas se atrasa la homocigosis total de las poblaciones quedando finalmente fijado el carácter. El tiempo que tarde para fijarse un carácter está relacionado con la cantidad de alelos y el tipo de interacciones génicas involucradas en la manifestación del mismo (Allard 1980).

Hipótesis de líneas segregantes con la presencia de un gen con dos alelos en la determinación del color de fondo de la semilla

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, queda claro que lo observado no es igual a lo esperado, por lo tanto, la variabilidad no se debería a una mezcla de líneas puras. En consecuencia, se realizó el análisis de χ^2 para la segregación mendeliana simple.

Para un gen con dos alelos donde se espera una segregación con relación 3:1, asumiendo la dominancia de los colores oscuros sobre los colores más claros;

donde el rojizo oscuro es dominante sobre todos los colores y el crema recesivo a todos ellos.

El análisis de χ^2 para segregación mendeliana dio como resultado diferencias altamente significativas entre las proporciones esperadas y las observadas para los sublotos con color de fondo crema, crema oscuro, crema rojizo, rojizo, rojizo oscuro y mitad crema- mitad rojizo (Tabla 5). De manera que se rechaza la hipótesis de segregación mendeliana simple para un gen con dos alelos en la determinación de la característica color de fondo de la semilla. En experimentos realizados sobre el color de las semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), León (1987) menciona que la testa puede ser opaca, de coloración que va de negro a blanco, determinada por unos diez genes: rojo, básico; blanco, recesivo; negro, epistático a todos menos a púrpura y éste epistático a los demás. Menciona además que el color de las semillas está determinado por lo menos por 10 genes y que otros genes son los que determinan la distribución del color. Así mismo, Reyes (1985) indica que las semillas de frijoles pueden tener testa blanca debido a dos causas: la primera es que el factor P para pigmentos colorantes puede estar ausente en forma recesiva; en tal caso, aunque haya genes para color, este no podrá manifestarse. La segunda causa es que las semillas pueden llevar el gen P en forma dominante pero pueden carecer de genes para color, por cuya causa la testa seguirá siendo blanca. En semillas de testa coloreada el tipo de color depende de la interacción que haya entre los genes dominantes para color presentes en el genotipo.

Las investigaciones de orden genético que se han llevado a cabo para conocer la herencia del color de la testa de la semilla han dado resultados diferentes porque el color depende de interacciones genéticas muy complejas.

Tabla 4. Análisis de χ^2 para la determinación de líneas puras asumiendo hasta un 4% de cruzamiento natural, para los lotes de semillas con color de fondo crema, crema oscuro, crema rojizo, rojizo, rojizo oscuro y mitad crema, mitad rojizo. San Lorenzo, 2010.

Prop.	Colores de fondo											
	Crema	Otras	Crema oscuro	Otras	Crema rojizo	Otras	Rojizo	Otras	Rojizo oscuro	Otras	Mitad crema, mitad rojizo	Otras
Obs.	33	67	35,8	64,2	26	74	21,5	78,5	13	87	4	96
Esp.	96	4	96	4	96	4	96	4	96	4	96	4
χ^2	1.033,59	**	942,51	**	1.276,04	**	1.445,37	**	1.794,01	**	2.204,16	**

**Altamente significativo.

Tabla 5. Análisis de χ^2 para determinar si corresponde a la hipótesis de segregación mendeliana simple para un locus con dos alelos (3:1) para la variable color de fondo. San Lorenzo, 2010.

Prop.	Colores de fondo											
	Crema	Otros	Crema oscuro	Otros	Crema rojizo	Otros	Rojizo	Otros	Rojizo oscuro	Otros	Mitad crema, mitad rojizo	Otros
Obs.	33	67	35,8	64,2	26	74	21,5	78,5	13	87	4	96
Esp.	75	25	75	25	75	25	75	25	75	25	75	25
χ^2	94,08	**	81,95	**	128,05	**	152,65	**	205,01	**	268,85	**

**Altamente significativo.

Comparación del lote original de semillas con diferentes modelos de ojo y su progenie

Al contrario de lo hallado para la variable color de fondo, el análisis de χ^2 aplicado al lote original de semillas para la característica modelo del ojo, revela que no existen diferencias significativas entre las proporciones observadas y esperadas para esta variable (Tabla 6). Esto indica que la población es una mezcla de líneas puras para ésta característica. El lote original de semillas estaba conformado por tres líneas homocigotas diferentes, entre las cuales predominaba el modelo de ojo que corresponde al grupo Holstein, de acuerdo a los descriptores varietales utilizados. Las proporciones observadas en el lote original se mantuvieron en la progenie. López (1995) expresa que las poblaciones de plantas autógamas consisten generalmente en una mezcla de multitud de líneas homocigóticas bastante relacionadas que, aunque crezcan próximas, permanecen más o menos independientes entre sí en la reproducción; las plantas individuales de tales poblaciones son probablemente homocigóticas vigorosas. De igual manera, Cubero (1999) menciona que una población que se reproduce en autogamia está constituida por individuos totalmente homocigóticos, por tanto, toda la descendencia estará compuesta por individuos genéticamente idénticos y formarán una línea pura.

Progenie derivada de los lotes de semillas con diferentes modelo de ojo

El análisis de χ^2 para la determinación de líneas puras asumiendo hasta 4% de polinización cruzada demostró

que no existen diferencias significativas entre las proporciones observadas y esperadas para la variable modelo del ojo ausente y grupo Holstein; sin embargo indicó diferencias altamente significativas para el sub-lote caracterizado con el modelo de coloración propia (Tabla 7).

Tabla 6. Análisis de χ^2 para las proporciones esperadas y observadas de los diferentes modelos de ojo de semillas de poroto (*Vigna unguiculata* L.), en el lote original. San Lorenzo, 2010.

Modelo del ojo	Esperadas	Observadas	χ^2
Ausente	3	2	0.33
Grupo Holstein	93	97	0.17
Coloración propia	4	1	2.25
Total	100	100	2,75^{ns}

^{ns} No significativo.

Estos resultados permiten inferir que los sub-lotes con modelo de ojo ausente y del grupo Holstein pertenecen a líneas puras. Por otro lado, revelan que el sub-lote con característica de coloración propia pertenece a una línea heterocigota que aún se encuentra segregando. La aparición del modelo de ojo del grupo Holstein que no se observaba en el lote con semillas de coloración propia sembrado, revela la posible presencia de genes epistáticos, que son los que impiden o inhiben la expresión de otro gen no alélico. Ante genes epistáticos algunas características pueden permanecer ocultas durante generaciones (Márquez 1998).

Tabla 7. Análisis de χ^2 para la determinación de líneas puras asumiendo hasta un 4% de cruzamiento natural, para los lotes de semillas con modelos del ojo ausente, grupo Holstein y coloración propia. San Lorenzo, 2010.

Proporciones	Modelo de ojo					
	Ausente	Otros	Grupo Holstein	Otros	Coloración propia	Otros
Observadas	99	1	99	1	7	93
Esperadas	96	4	96	4	96	4
χ^2	2,34 ^{ns}		2,34 ^{ns}		2.062,75**	

** Altamente significativo. ^{ns} No significativo.

Comparación de colores de ojo entre el lote original de semillas y sus progenies

El análisis de χ^2 realizado muestra diferencias altamente significativas entre las proporciones esperadas y las observadas del lote original y su progenie para la característica color del ojo de la semilla. De esta manera, los resultados apoyan la hipótesis de que el lote original de semillas pertenece a una población con genes segregantes para la característica color del ojo de la semilla (Tabla 8).

En una población segregante los genes se encuentran en

heterocigosis y varían las proporciones de los individuos con ciertas características de una generación a otra hasta alcanzar nuevamente la homocigosis. Después de sucesivas autofecundaciones los caracteres se fijarán y se tendrá una población de plantas autógamas compuesta por varios grupos diferentes e independientes entre sí, llamadas líneas puras (Cubero y Moreno 1983).

Progenie derivada de los lotes de semillas con diferentes colores de ojo

El análisis de χ^2 para la hipótesis de líneas puras asumiendo hasta un 4% de cruzamiento natural dio como

resultado diferencias no significativas entre las proporciones observadas y las esperadas para los sub-lotes con color de ojo ausente y marrón; por otro lado, las diferencias fueron altamente significativas para el sub-lote con color de ojo marrón claro (**Tabla 9**). Al igual que para la variable modelo del ojo, para el color del ojo la población presenta dos sub-lotes conformadas por líneas

puras, mientras que el sub-lote con color de ojo marrón claro está constituida por individuos aún en heterocigosis, pudiendo volver ésta a la homocigosis después de ciclos de autofecundaciones. La presencia de genes espistáticos es frecuente cuando aparecen características que no estaban presentes en los progenitores (Poehlman 1987).

Tabla 8. Análisis de χ^2 para las proporciones esperadas y observadas de los diferentes colores de ojo de semillas de poroto (*Vigna unguiculata* L.), en el lote original. San Lorenzo, 2010.

Color del ojo	Esperadas	Observadas	χ^2
Ausente	3	2	0,33
Marrón	79	97	4,1
Marrón claro	18	1	16,05
Total	100	100	20,48**

**Altamente significativa.

Tabla 9. Análisis de χ^2 para la determinación de líneas puras asumiendo hasta un 4% de cruzamiento natural, para los lotes de semillas con colores del ojo ausente, marrón y marrón claro. San Lorenzo, 2010.

Proporciones	Color de Ojo					
	Ausente	Otros	Marrón	Otros	Marrón claro	Otros
Observadas	99	1,0	99	0,4	3	97
Esperadas	96	4,0	96	4	96	4
χ^2	2,34^{ns}		3,375^{ns}		2.252,34**	

** Altamente significativo. ^{ns} No significativo.

Hipótesis de líneas segregantes con un gen y dos alelos en la determinación del modelo y color de ojo de la semilla en los sub-lotes con segregación

Teniendo en cuenta que para la característica modelo y color de ojo de la semilla se observaron diferencias altamente significativas en uno de los sub-lotes de ambas variables, coloración propia y color marrón claro respectivamente, se realizó el análisis de χ^2 para segregación mendeliana simple para un gen con dos alelos donde se espera una segregación con la relación 3:1. El análisis dio como resultado diferencias altamente significativas entre las proporciones esperadas y las observadas para el modelo de ojo coloración propia y para el color de ojo marrón claro, por lo cual se rechaza la

hipótesis de segregación mendeliana simple para un gen con dos alelos en la determinación de la característica modelo de ojo coloración propia y color de ojo marrón claro (**Tabla 10**). La aparición de modificaciones de las proporciones mendelianas revela que un carácter está determinado por una compleja interacción entre distintos genes. Un gen principal que afecta un carácter no significa que sea el único. En un individuo todas las funciones interactúan en mayor o menor grado, igualmente, los genes son elementos que interactúan entre sí. Un gen no opera de manera aislada; su efecto no depende de su función propia, sino también de las funciones de otros genes y del medio ambiente (Griffiths et al. 1995).

Tabla 10. Análisis de χ^2 para determinar si corresponde a la hipótesis de segregación mendeliana simple para un locus con dos alelos (3:1) para las variables modelo y color de ojo. San Lorenzo, 2010.

Proporciones	Modelo de ojo		Color de ojo	
	Coloración propia	Otros	Marrón claro	Otros
Observadas	7	93	3	97
Esperadas	75	25	75	25
χ^2	246,61**		276,48**	

**Altamente significativo.

Análisis de la relación entre el modelo del ojo, el color del ojo y el color de fondo de las semillas del poroto, variedad San Francisco

El análisis de χ^2 aplicado para la determinación de la relación existente entre el modelo del ojo y el color del ojo con el color de fondo de las semillas dio como resultado diferencias no significativas entre las proporciones observadas y esperadas, que indica independencia entre éstas características (**Tabla 11**). Esto confirma la hipótesis de que tanto el modelo del ojo, así como el color del ojo, son manejados por genes independientes a los genes que determinan el color de fondo de las semillas.

Cuando los genes son independientes, los alelos de los mismos durante la gametogénesis se separan y vuelven a combinarse en la siguiente generación independientemente de los genotipos paternos y se produce la aparición de los llamados genotipos recombinantes, que tienen parte de las características de ambos progenitores. Así, durante la formación de los gametos, la segregación de los alelos de un gen se produce en forma independiente de la segregación de los alelos de otro gen (Reyes 1985, Griffiths et al. 1995).

Tabla 11. Análisis de χ^2 para la determinación de la relación existente entre el modelo de ojo, el color del ojo y el color de fondo de la semilla de la variedad de poroto San Francisco. San Lorenzo, 2010.

Color de fondo	Modelo de ojo	Prop. Observadas	Prop. Esperadas	χ^2	Color de ojo	Prop. Observadas	Prop. Esperadas	χ^2
Crema	Ausente	0,83	0,36	0,61	Ausente	0,83	0,36	0,61
Crema oscuro	Ausente	0,78	0,39	0,39	Ausente	0,78	0,39	0,39
Crema rojizo	Ausente	0	0,37	0,37	Ausente	0	0,37	0,37
Rojizo	Ausente	0	0,35	0,35	Ausente	0	0,36	0,36
Rojizo oscuro	Ausente	0	0,14	0,14	Ausente	0	0,14	0,14
Mitad crema, mitad rojizo	Ausente	0	0,001	0,001	Ausente	0	0,001	0,001
Crema	Grupo Holstein	21,07	21,77	0,02	Marrón	21,23	21,84	0,02
Crema oscuro	Grupo Holstein	22,85	23,34	0,01	Marrón	23,05	23,41	0,01
Crema rojizo	Grupo Holstein	22,78	22,17	0,02	Marrón	22,46	22,23	0,002
Rojizo	Grupo Holstein	22,06	21,45	0,02	Marrón	22,06	21,51	0,01
Rojizo oscuro	Grupo Holstein	8,4	8,43	0,0001	Marrón	8,64	8,44	0,005
Mitad crema, mitad rojizo	Grupo Holstein	0,07	0,068	0,0001	Marrón	0,07	0,068	0,0001
Crema	Colorac.propia	0,49	0,26	0,2	Marrón claro	0,34	0,2	0,1
Crema oscuro	Colorac.propia	0,38	0,28	0,04	Marrón claro	0,18	0,21	0,004
Crema rojizo	Colorac.propia	0,02	0,26	0,22	Marrón claro	0,34	0,2	0,1
Rojizo	Colorac.propia	0	0,26	0,26	Marrón claro	0	0,19	0,19
Rojizo oscuro	Colorac.propia	0,27	0,1	0,29	Marrón claro	0,02	0,08	0,05
Mitad crema, mitad rojizo	Colorac.propia	0	0,001	0,001	Marrón claro	0	0,001	0,001
Total		100	100	2,9422^{ns}		100	100	2,3631^{ns}

^{ns}: No significativo

Análisis de la relación entre el color del ojo y el modelo del ojo de las semillas

En cuanto a la relación existente entre el modelo y el color de ojo de las semillas de poroto de la variedad San Francisco, el análisis de χ^2 demostró diferencias altamente significativas entre las proporciones observadas

y las esperadas, lo que indica asociación entre ambas características (**Tabla 12**). Este resultado soporta la hipótesis que los genes que determinan el color del ojo son dependientes o están ligados a los genes que determinan el modelo del ojo de las semillas.

Tabla 12. Análisis de χ^2 para la determinación de la relación existente entre el color de ojo y el modelo del ojo. San Lorenzo, 2010.

Modelo del ojo	Color del ojo	Prop. Observadas	Prop. Esperadas	χ^2
Ausente	Ausente	1,62	0,03	84,27
Grupo Holstein	Ausente	0	1,53	1,53
Coloración propia	Ausente	0	0,06	0,06
Ausente	Marrón	0	1,58	1,58
Grupo Holstein	Marrón	93,52	92,04	0,02
Coloración propia	Marrón	3,98	3,88	0,003
Ausente	Marrón claro	0	0,01	0,01
Grupo Holstein	Marrón claro	0,88	0,83	0,003
Coloración propia	Marrón claro	0	0,04	0,04
Total		100	100	87,516**

** Altamente significativo

Se dice que dos genes están ligados cuando dos parejas génicas situadas una junto a otra en el mismo cromosoma no muestran segregación independiente durante la meiosis. De esta manera, la combinación de características en las cuales están involucrados genes ligados, producto de un cruzamiento de dihíbridos, las proporciones de los recombinantes resulta muy baja y las proporciones de los tipos parentales son superiores a lo esperado cuando se cruzan dos líneas puras. La frecuencia de los recombinantes está relacionada a la distancia de separación entre los genes ligados y a la posibilidad que ocurran recombinaciones genéticas durante el sobrecruzamiento en el proceso de la meiosis (Griffiths et al. 1995).

- Los genes que determinan el modelo y el color del ojo de las semillas son independientes a los genes involucrados en el color de fondo.
- Los genes que permiten la manifestación del modelo y el color del ojo de las semillas están ligados.
- La variación en el color del tegumento observada en el lote de semillas se debe a una mezcla de líneas puras y líneas segregantes para algunas características.
- La selección de líneas puras para color de las semillas dentro de la variedad San Francisco puede llevar varias generaciones de autofecundación debido a la complejidad del carácter.

CONCLUSIONES

- El color del fondo de las semillas es una característica compleja que indica la presencia de más de un gen, heterocigosis y segregación.
- El color del ojo de las semillas no se debe solo a una mezcla de líneas puras, además tiene líneas con genes heterocigotos en estado de segregación.
- La variación en la característica modelo del ojo de las semillas es producto de una mezcla de líneas puras.

LITERATURA CITADA

- Allard, RW. 1980. Principios de la mejora genética de las plantas. Barcelona, ES, Omega. 498 p.
- Almirón, RE. 2003. Asociación de sésamo con poroto en diferentes densidades de siembra. Tesis. Ing. Agr. San Lorenzo, PY, CIA, FCA, UNA. 38 p.
- Aquino, SF de; Nunes, R de P. 1983. Estrutura Genética de populações de caupi e suas implicações no melhoramento genético através da seleção. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 18(4): 399 - 412.

- Bioversity International. 2007. Descriptores para feijão frade ou caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.); J. Pedro y A. Alves, traductores; E. Bettencourt, editor. Roma, IT, Bioversity International.
- Calegari, A. 1995. Leguminosas para Adubação Verde de Verão no Paraná. Circular N° 80. Londrina, BR, Instituto Agronómico do Paraná (IAPAR). 115 p.
- Casaccia, R. 1991. Cultivo de Poroto. Dirección de Investigación Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Boletín de Divulgación N° 28. Asunción, PY.
- Cubero, J; Moreno, M. 1983. Leguminosas de Grano. Madrid, ES, Mundi-Prensa. 359 p.
- Cubero, J. 1999. Introducción a la mejora genética vegetal. Madrid, ES, Mundi-Prensa. 364 p.
- González, MR. 2004. Caracterización de la producción, comercialización y distribución del poroto en el distrito de Horqueta, Departamento de Concepción. Tesis. Ing. Agr. San Lorenzo, PY, CIA, FCA, UNA. 72 p.
- Griffiths, A; Miller, J; Suzuki, D; Lewontin, R; Gelbart, W. 1995. Genética. 5a ed. Madrid, ES, McGraw-Hill Interamericana. 863 p.
- León, J. 1968. Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. San José, CR, IICA. 487 p.
- León, J. 1987. Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, CR, IICA. 445 p.
- López, M. 1995. Fitomejoramiento. México, MX, Trillas. 171 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 1985. Servicio de Extensión Ganadera. Proyecto de Tecnología para Pequeños Agricultores (PTPA). Evaluación de 13 variedades de poroto (*Vigna spp.*). San Lorenzo, PY. 15 p.
- Markus, R. 1968. Elementos de bioestadística aplicada. Faculdade de Agronomia. Universidade Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS). 51 p.
- Márquez, F. 1998. Genotecnia vegetal. Tomo II. México, MX, A.G.T. 665 p.
- Poehlman, JP. 1987. Mejoramiento genético de las cosechas. México, MX, Limusa. 453 p.
- Reyes, P. 1985. Fitogenotecnia básica y aplicada. México, MX, A.G.T. 460 p.
- Silva, R; Rava, CA.; Stone, LF.; de Oliveira, MJ. 1996. Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba, BR, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 786 p.
- Spiegel, MR; Stephens, LJ. 2001. Estadística. 3º ed. Trad. de Esther Pineda Ayala. México, MX, McGraw-Hill Interamericana.