

Herencia y relación genética entre tipos de vaina normal, *snap* y *snow* en arveja (*Pisum sativum* L.)

Fernando Villca¹; Melicio Siles²; Raúl Ríos²; Claudia Rivas¹

¹ Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias;

² Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani (CIFP)

E mail: msiles@supernet.com.bo

Resumen. La arveja de vaina comestible (*Pisum sativum* L. ssp. *sativum* var. *macrocarpon* Ser.), es un cultivo de gran valor económico a nivel mundial. Existen dos tipos de arveja con vaina comestible, la *snow* o china y la *snap*. Para mejorar variedades sin endocarpio, se debe conocer los factores genéticos que determinan sus características. Los objetivos del presente trabajo fueron: determinar los efectos genéticos y el número de genes que condicionan la vaina sin endocarpio en arveja; determinar los efectos genéticos y el número de genes que condicionan el grosor de vaina y determinar la independencia de los caracteres: presencia de endocarpio y grosor de vaina en la generación segregante. Para esto, dos progenitores tipo normal, dos tipo *snap* y tres tipo *snow*, se cruzaron en un diallelo parcial $p(p-1)/2$, obteniendo progenies F_1 , F_2 y retrocruzas por ambos progenitores, los mismos fueron evaluados para presencia de endocarpio y grosor de vaina. Los resultados indican que la presencia del endocarpio, en la vaina de arveja proveniente del CIFP, está determinada por dos alelos dominantes PPVV, y la ausencia de endocarpio en vainas tipo *snow* y *snap*, por la falta del alelo dominante en al menos uno de los dos loci P_vv, ppV_ y ppvv. El grosor de la vaina está determinado por un gen recesivo denominado "n", siendo N_ el genotipo de las vainas delgadas, y nn de vainas de pared gruesa. Los genes de presencia de endocarpio y grosor de vaina segregan de forma independiente.

Palabras clave: Efectos genéticos; Retrocruzas; Diallelo; Endocarpio

Summary: Inheritance and genetic relationship between types of snap and snow normal pod in pea (*Pisum sativum* L.) The pea with edible pod (*Pisum sativum*) is a crop of great economic value worldwide. There are two types of pea with edible pod, snow or china and snap. To improve varieties without endocarp, it is necessary to know the genetic factors that determine their characteristics, therefore, the objectives of the present work were: to determine the genetic effects and the number of genes that condition the pod without endocarp in pea; determining the genetic effects and the number of genes that condition the pod thickness in pea and to determine the independence of the characters: presence of endocarp and pod thickness in the segregating generation. For this, two normal type of progenies, two snap-type and three snow-type, were crossed in a partial diallel $p(p-1) / 2$, obtaining progenies F_1 , F_2 and backcrosses from both progenitors, the ones that were evaluated for the presence of endocarp and pod thickness. The results indicate that the presence of the endocarp in the pea pod from the CIFP is determined by two PPVV dominant alleles; and the absence of endocarp in snow and snap pods, due to the lack of the dominant allele in at least one of the two loci P_vv, ppV_ and ppvv. The thickness of the pod in pea is determined by a recessive gene called "n", being N_ the genotype of thin pods, and nn of thick-walled pods. The genes of endocarp and pod presence and pod thickness segregate independently.

Keywords: Genetic effects; Backcross; Diallel; Endocarp

Introducción

La arveja (*Pisum sativum* L.), es una leguminosa producida y consumida a escala mundial. A diferencia de la arveja común, existen otras como las arvejas para consumo en vaina, que son las arvejas que carecen de endocarpio. Dentro de este grupo se encuentran dos tipos, el *snow* o chinas y el *snap*, estas dos se diferencian por el grosor de la pared de la vaina, a diferencia de la tipo *snow*, la *snow* mantiene un perfil delgado y alargado (Myers *et al*, 2001).

Las cualidades de la arveja sin endocarpio (*Pisum sativum* L. *ssp. sativum* var. *macrocarpon* Ser.), radican en sus vainas; estas carecen de endocarpio y presentan un alto contenido de agua, un bajo valor energético, contenidos altos de P, Fe y vitaminas, especialmente A, siendo además una excelente fuente de fibra.

En los últimos años se ha incrementado la demanda de arveja para consumo en vaina en países como Estados Unidos, Canadá y en la comunidad Europea, principalmente Reino Unido, Holanda y Bélgica, los principales proveedores de estos mercados son Guatemala, México, Ecuador, Perú, Chile, Zimbabue, Kenia y Zambia (SICA/MAG, 2001).

En Sudamérica, el principal exportador de arveja en vaina es Guatemala, el año 2010 exportó 32.642,75 TM de arveja de vaina comestible, con un valor de \$us 33,7 millones, el 77% de la exportación fue hacia Estados Unidos y el restante 33% ingresó a mercados de Europa (MAGA, 2011).

En Bolivia, las arvejas de vaina sin endocarpio, podrían constituirse en un cultivo alternativo de gran importancia por el

mercado creciente. Además por sus cualidades de vaina, tanto en largo como ancho, constituyen un recurso genético importante para obtener variedades de arveja común con rendimientos superiores.

En el Centro de Investigaciones Fitoecogenéticas de Pairumani (CIFP), se cuenta con líneas de arveja con vaina *snow* y *snap* introducidas, recursos que pueden ser utilizados en programas de mejoramiento. Sin embargo, para aprovechar efectivamente este material, es importante primero conocer la herencia de cada característica de la vaina y la relación entre los tipos de vainas.

Por tanto, el trabajo de investigación tiene los siguientes objetivos:

- i) Determinar los efectos genéticos y el número de alelos que condicionan la vaina sin endocarpio en arveja.
- ii) Determinar los efectos genéticos y el número de alelos que condicionan el grosor de vaina en arveja.
- iii) Determinar la independencia de los caracteres presencia de endocarpio y grosor de vaina.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en la localidad de Pairumani, a 24 km de la ciudad de Cochabamba, a 2584 msnm. Se utilizaron siete genotipos provenientes del programa de mejoramiento de arveja del CIFP, con características muy variadas: Lincoln y Pairumani 3 (presencia de endocarpio y tipo de vaina normal), Round Podded Sugar y Alaska 28-57 W R (ausencia de endocarpio y tipo de vaina *snap*), Mammoth Melting Sugar, Chinese Snow Pea e Ita-14 (ausencia de endocarpio y tipo de vaina *snow*).

Entre mayo a septiembre del año 2010, los siete progenitores se cruzaron en un sistema de dialelo parcial $p(p-1)/2$, obteniendo un total de 21 cruzas.

La siembra de los progenitores se realizó en invernadero y de forma escalonada hasta alcanzar 12 fechas de siembra; se usó bolsas plásticas de 12'x15' como macetas, el sustrato consistió en una mezcla de materia orgánica y tierra del lugar en relación 1:1; se colocaron cinco golpes/bolsa y dos semillas/golpe. Los cruzamientos se realizaron utilizando la técnica desarrollada por Gritton (1980).

Para obtener las F_2 y retrocruzas, desde noviembre del año 2010, hasta abril de 2011 se sembró en invernadero los siete progenitores y parte de la semilla F_1 . La disposición fue de una columna del progenitor seguido de columnas con las cruzas en la que este se usó como femenino, así hasta el último progenitor. Las siembras se repitieron en intervalos de cinco días. Para el ataque de plagas en el invernadero se aplicó Dimetoato, en forma preventiva a dosis sugerida en el producto (15cc/20 l). El control de oídium se realizó aplicando Taspa (15cc/20 l).

El tamaño de la población se calculó utilizando la fórmula desarrollada por Muller (1954). Considerando que el carácter en las líneas indicadas está controlado por tres pares de alelos, el número de individuos o progenies F_2 necesarios para incluir en la muestra al menos un individuo de un genotipo con el 99% de seguridad es de 292 progenies F_2 . La población de progenies de retrocruzas necesarias para incluir en la muestra al menos un individuo de cada genotipo con un 99% de seguridad es de 35 progenies.

La siembra de evaluación se realizó en julio del año 2011. La semilla se sembró

a distancia de 25 cm, la distancia entre surcos fue de 45 cm y largo de surco de 3 m, se sembró toda la semilla F_1 , F_2 y retrocruzas obtenidas de cada cruza, dejando un surco libre entre generaciones y dos surcos libres entre cruzas.

El riego se aplicó de acuerdo a las necesidades del cultivo, el estado de humedad del suelo y de acuerdo a la disponibilidad de agua. El control de malezas se realizó manualmente.

Las evaluaciones de las progenies F_1 , F_2 y retrocruzas, se realizaron en campo durante agosto y septiembre del año 2011, las vainas se evaluaron a madurez comercial, cuando la vaina ha alargado, pero antes del desarrollo de la semilla en el tipo *snow*, vaina con paredes engrosadas y semilla en formación inmadura para el tipo *snap* y en vaina normal cuando vaina y semilla desarrollan totalmente, esta evaluación se realizó en una vaina tomada aleatoriamente de cada planta. La presencia de endocarpio se evaluó mediante la fractura longitudinal de la vaina y la verificación de la presencia de endocarpio, se clasificó con "0" sin endocarpio, "1" presencia espaciada de endocarpio y "2" presencia total de endocarpio.

El tipo de vaina se evaluó mediante un corte transversal de la vaina, según la presencia de endocarpio y forma al corte de la vaina se clasificó en normal, *snow* o *snap*.

Se utilizó la prueba de *Chi-cuadrado* (χ^2) para encontrar la independencia de la segregación de locus para presencia de endocarpio y grosor de vaina; además, del modelo que explique mejor las segregaciones observadas de presencia de endocarpio y tipo de vaina, por cada una y sobre todas las cruzas utilizando el PROC FREQ del SAS versión 6.12 (SAS

INSTITUTE. 1985), con la opción TESTP que permite indicar las proporciones esperadas de acuerdo al modelo genético propuesto.

Resultados y discusión

La cantidad de semilla obtenida F_1 y retrocruzas fue reducida, esto junto con una baja germinación derivó en la pérdida del total de las plantas F_1 de las cruzas Round Podded Sugar * Ita-14, las retrocruzas al primer progenitor de Lincoln * Round Podded Sugar, Round Podded Sugar * Mammoth melting Sugar, Round Podded Sugar * Chinese Snow Pea y Round Podded Sugar * Ita-14, y las retrocruzas al segundo progenitor de Lincoln * Round Podded Sugar, Round Podded Sugar * Ita-14, Alaska 28-57 * Ita-14, Mammoth Melting Sugar * Ita-14 y Chinese Snow Pea * Ita-14, motivo por el cual no se pudo evaluar ninguna característica de las mencionadas cruzas en dichas generaciones.

Presencia de endocarpio o pergamino

Las progenies F_1 de todas las cruzas dialélicas entre las líneas sin endocarpio del tipo *snap* y tipo *snow*, desarrollaron vainas sin endocarpio.

Las progenies F_1 de las cruzas entre genotipos de vaina con endocarpio y sin endocarpio (*snap* o *snow*) fueron de vaina con endocarpio; asimismo, las progenies de las cruzas entre progenitores con endocarpio o pergamino desarrollaron vainas con endocarpio. Estos resultados indican que la ausencia de endocarpio en la vaina está determinada por alelos recesivos.

Las progenies F_2 de las cruzas entre genotipos sin endocarpio fueron de vaina sin endocarpio, mientras nueve de las

diez poblaciones F_2 de las cruzas entre genotipos de vaina con endocarpio y sin endocarpio *snow* y *snap*, segregaron en una relación de tres con endocarpio y una sin endocarpio (3:1) con excepción de la cruzada Alaska 28-57 W R * Pairumani 3 que no se ajusta a dicha relación, estos datos muestran que en general la ausencia de endocarpio se debe a un alelo recesivo en un locus.

En la cruzada entre genotipos con endocarpio, las progenies F_2 desarrollaron todas las vainas con endocarpio. Por tanto estos resultados muestran que la vaina sin endocarpio estaría determinada por un par de alelos recesivos. La segregación sobre todas las cruzas se ajustaron a un modelo de segregación monogénico ($P = 0.096$) (Cuadro 1).

Las progenies de retrocruzas entre progenies F_1 de cruzas entre progenitores sin endocarpio a cada uno de los progenitores R_1 y R_2 , no segregaron para la presencia de endocarpio. En ocho de las 10 poblaciones de retrocruzas provenientes de progenitores con y sin endocarpio, se observó la segregación de 1:1, para la vaina con y sin endocarpio cuando el progenitor femenino es sin endocarpio y cuando el progenitor femenino es con endocarpio no existe segregación, obteniendo sólo genotipos con endocarpio (Cuadro 2).

Para la cruzada proveniente de genotipos con endocarpio, no existió ninguna segregación con ningún progenitor recurrente; además que las segregaciones de 1:1 ocurren en $P = 0.8676$, por lo tanto, estos resultados confirman que la ausencia del endocarpio en la arveja se acomoda a una segregación monogénica de 3:1 y es controlado por un locus con dos alelos recesivos.

Cuadro 1. Segregación de las progenies F_2 entre progenitores con endocarpio, sin endocarpio china y sin endocarpio *snap*

Cruza §	Endocarpio progenies F_2		Proporción	χ^2	$\Pr(\chi^2 \geq \chi^2_c)$
	Presencia	Ausencia			
1 x 5	138	39	3 : 1	0.831	0.362
1 x 6	133	37	3 : 1	0.949	0.330
1 x 7	184	54	3 : 1	0.563	0.453
2 x 5	201	60	3 : 1	0.563	0.453
2 x 6	171	45	3 : 1	2.000	0.157
2 x 7	257	67	3 : 1	3.226	0.072
3 x 1	34	11	3 : 1	0.007	0.931
3 x 2	199	48	3 : 1	4.082	0.043
4 x 1	100	23	3 : 1	2.604	0.107
4 x 2	307	54	3 : 1	19.414	0.001
Total				14.825	0.096

§ 1 = Lincoln (p), 2 = Pairumani 3 (p), 3 = Round Podded Sugar (a), 4 = Alaska 28-57 WR (a), 5 = Mammoth Melting Sugar (a), 6 = Chinese Snow Pea (a), 7 = Ita-14 (a).

Cuadro 2. Retrocruzas R_1 y R_2 evaluadas para la ausencia de endocarpio

Cruza §	R_1		R_2		proporción		χ^2	$\Pr(\chi^2 \geq \chi^2_c)$
	pres	aus	pres	aus	R_1	R_2		
1*5	12	0	4	5	1:1		0.1111	0.7338
1*6	10	0	14	16	1:1		0.1313	0.7150
1*7	23	0	2	2	1:1		0.0000	1.0000
2*5	17	0	1	4	1:1		1.8000	0.1797
2*6	20	0	19	13	1:1		1.1250	0.2888
2*7	11	0	8	6	1:1		0.2857	0.5930
3*1	-	-	-	-	-			
3*2	2	0	32	0	-			
4*1	9	9	5	0	1:1		0.0000	1.0000
4*2	9	12	40	0	1:1		0.4286	0.5127
Total							3.8817	0.8676

1 = Lincoln (p), 2 = Pairumani 3 (p), 3 = Round Podded Sugar (a), 4 = Alaska 28-57 WR (a), 5 = Mammoth Melting Sugar (a), 6 = Chinese Snow Pea (a), 7 = Ita-14 (a).

Investigaciones sobre la presencia de endocarpio en arveja fueron realizadas por Mendel, Tachermak y Lock, encontrando una relación de 3:1 (White, 1917), de igual manera utilizando material de vaina normal y vaina *snow*, se obtuvieron resultados similares de herencia monogénica (Martinez, 2005); sin embargo, algunas investigaciones indican que al cruzar genotipos sin endocarpio, en la F₂ se presentaban plantas con endocarpio en una relación de 9:7 (White, 1917), por lo que se introdujo la teoría de un segundo gen implicado en la presencia de endocarpio, denominado “v”, de similar característica que el gen “p” y cuando ambos están presentes en la población, generan mayor cantidad de genotipos siendo PPVV presencia de endocarpio, PPvv produce manchas de endocarpio, ppVV produce endocarpio muy delgado, apenas visible y ppvv produce ausencia de endocarpio (Lamprecht, 1961).

De acuerdo al modelo planteado, de dos locus implicados en el carácter de presencia de endocarpio, la segregación en la generación F₂ de las cruza entre genotipos con presencia y ausencia esperada sería: 9 con presencia, 3 con manchas, 3 de endocarpio delgado y 1 con ausencia de endocarpio, considerando los genotipos P_vv, ppV_ y ppvv como plantas de vaina comestible, respectivamente la presencia del alelo dominante en ambos locus P_V_, determinaría la presencia del endocarpio.

Un trabajo anterior realizado con germoplasma del CIFP (Martinez, 2005), demostró segregación en la F₂ de 3:1, por lo que se asumió herencia monogénica del carácter para el material que dispone el Centro, pero durante las siguientes generaciones realizadas ya dentro del proceso de mejoramiento, se hallaron plantas con manchas de endocarpio. To-

mando en cuenta la presencia de dichas plantas y la relación 3:1 hallada, se debe considerar que los progenitores de ausencia de endocarpio tienen un genotipo de manchas PPvv o endocarpio delgado ppVV, y que la presencia de las manchas de endocarpio no son fácilmente reconocidas en los estados iniciales de la formación del grano, siendo que las evaluaciones se realizaron en dicho estado se puede considerar que las vainas de ausencia son en realidad vainas de manchas en un estado temprano de formación, otorgándoles el genotipo de manchas ppVV o PPvv, y al ser cruzados con los genotipos de presencia PPVV, segregan en la relación 3:1 observada, estos resultados estarían de acuerdo con otras investigaciones que aceptan la teoría del segundo gen “v” involucrado en la manifestación del endocarpio que se muestra reducido, concluyendo que en el germoplasma del CIFP están presentes ambos loci P y V y que las plantas catalogadas como ausencia de endocarpio, en realidad presentan características descritas como manchas, de acuerdo a la segregación obtenida en la cruce con genotipos de presencia de endocarpio PPVV y la segregación obtenida de 3:1, se debería otorgar a las líneas utilizadas en el presente estudio el genotipo de ppVV.

Este resultado justificaría la aparición de manchas de endocarpio en las poblaciones posteriores a la F₂ y la segregación de 3:1 encontrada en dos estudios realizados.

Tipo de vaina

Todas las progenies F₁ de la cruce entre las líneas de vaina normal desarrollaron vainas tipo normal, las progenies F₁ de la cruce entre las líneas de vaina tipo *snap* desarrollaron vainas tipo *snap*, las progenies F₁ de la cruce entre las líneas de

vaina tipo *snow* desarrollaron vainas tipo *snow*. Las progenies F₁ de las cruza entre genotipos de vaina normal y *snow*, desarrollaron vaina normal; Las progenies F₁ de la cruza entre las líneas de vaina normal y *snap* fueron de tipo normal. Las progenies F₁ de la cruza entre las líneas de vaina *snow* y *snap*, desarrollaron vainas tipo *snow*. Estos resultados indican que la vaina normal es dominante sobre la *snow* y *snap*, la vaina tipo *snow* es dominante sobre la vaina tipo *snap*; visto de otra manera se entiende que la

pared delgada de la vaina es dominante sobre la pared gruesa, por tanto, el carácter grosor de la vaina está determinado por alelos recesivos.

Las progenies F₂ de las cruza entre genotipos de vaina normal y *snow*, segregaron en vainas tipo normal y *snow* en relación de 3 normales y 1 *snow*, mostrando que al ser todas de pared delgada sólo segregó para presencia de endocarpio (Cuadro 3).

Cuadro 3. Segregación de las progenies F₂ entre progenitores normal * *snow*, normal * *snap* y *snow* * *snap* evaluados para tipo de vaina

Cruza §	Tipo vaina F ₂				Rel	χ^2	Pr($\chi^2 \geq \chi^2_c$)
	N	N-G	C	S			
1*5	149		37		3 : 1	2.5878	0.1077
1*6	134		40		3 : 1	0.3756	0.5400
1*7	184		54		3 : 1	0.6779	0.4103
2*5	200		65		3 : 1	0.0314	0.8592
2*6	171		45		3 : 1	2.0000	0.1573
2*7	257		67		3 : 1	3.2263	0.0725
3*1	27	5	9	4	9:3:3:1	2.5222	0.5217
3*2	165	29	40	14	9:3:3:1	5.0717	0.1666
4*1	80	21	20	3	9:3:3:1	13.0085	0.0046 ^{NS}
4*2	240	67	42	12	9:3:3:1	21.7359	0.0001 ^{NS}
3*5	56	1	93	20	3 : 1	3.2124	0.0731
3*6	19	3	100	25	3 : 1	1.6667	0.1967
3*7	14	6	61	20	3 : 1	0.0041	0.9489
4*5	1	2	329	65	3 : 1	15.1912	0.0001 ^{NS}
4*6	4	2	124	34	3 : 1	1.0211	0.3123
4*7	1	0	171	46	3 : 1	1.6728	0.1959
						8.899	0.1793
Total						7.59	0.02
						7.5771	0.1811

N = presencia de endocarpio y pared delgada; N-G = presencia de endocarpio y pared gruesa; C = ausencia de endocarpio y pared delgada; S = ausencia de endocarpio y pared gruesa.
 § 1 = Lincoln (N), 2 = Pairumani 3 (N), 5 = Mammoth Melting Sugar (C), 6 = Chinese Snow Pea (C), 7 = Ita-14 (C).

Las progenies F_2 de las cruzas entre genotipos de vaina normal y *snap*, segregaron tanto para presencia de endocarpio como para grosor de pared de vaina, dicha segregación en dos de las cuatro cruzas, mostró una relación de 9 normales, 3 con presencia de endocarpio y pared gruesa, 3 tipo *snow* y 1 tipo *snap* (Cuadro 4), acomodándose a la segregación independiente para dos genes; las cruzas (Alaska 28-57 WR * Lincoln y Alaska 28-57 WR * Pairumani 3) que no se acomodan a dicha relación muestran comportamiento parecido, pero las proporciones no se ajustan al esperado, esto podría deberse a la baja germinación de estas cruzas, 55%-67% del total de semilla sembrada.

Las progenies F_2 de las cruzas entre genotipos de vaina *snow* y *snap*, segregaron para el carácter grosor de pared, desarrollando vainas tipo *snow* y tipo *snap* en relación de 3 *snow* y 1 *snap* (Cuadro 3), demostrando que el carácter grosor de la pared de vaina, está determinado por un solo gen, siendo la vaina de pared delgada dominante sobre la pared gruesa. De acuerdo a investigadores anteriores se toma la denominación de “n” para el gen de grosor de vaina (Wellenseck, 1925). Por tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos en la F_1 y F_2 , la falta de segregación entre genotipos de vaina con pared delgada, se propone que el genotipo de los progenitores con pared de vaina delgada es NN y de los progenitores con pared de vaina gruesa resultarían ser nn.

Las progenies de retrocruzas entre progenies F_1 de cruzas entre progenitores de vaina normal a cada uno de los progenitores, no segregaron para ausencia de endocarpio y pared de vaina gruesa; las progenies de retrocruzas entre genotipos de vaina *snow* a cada uno de los progeni-

tores, no segregaron en presencia de endocarpio y pared de vaina gruesa; las progenies de retrocruzas entre genotipos de vaina *snap* a cada uno de los progenitores, no segregaron en presencia de endocarpio y pared de vaina delgada; estos resultados indican que todos los progenitores con vaina normal, *snow* y *snap* son líneas con genotipos PPVVNN, ppVVNN y ppVVnn, respectivamente.

En todas las retrocruzas provenientes de genotipos normal y *snow*, se observó la segregación de 1:1 cuando el progenitor femenino es de genotipo *snow*, de igual manera en las retrocruzas de genotipos *snow* y *snap* se observó la segregación de 1:1 cuando el progenitor femenino es de genotipo *snap*, en una de las cuatro retrocruzas de genotipos normal y *snap*, se observó la segregación de 1:1:1:1 cuando el progenitor femenino es de genotipo *snap*, las cruzas restantes tenían pocas plantas vivas por lo que no se evidenció el total de fenotipos posibles teóricamente. Las segregaciones de grosor de vaina sobre todas las retrocruzas ($Pr \chi^2=0.044$) (Cuadro 4), confirma que las vainas de arveja tipo normal, *snow* y *snap* están controlados por dos alelos que determinan las características de presencia de endocarpio y grosor de vaina, siendo presencia de endocarpio dominante sobre la ausencia y vaina con pared delgada dominante sobre la vaina de pared gruesa, siendo el genotipo de la vaina normal, *snow* y *snap*: PPVVNN, ppVVNN y ppVVnn, respectivamente. Estos resultados confirman a otros obtenidos anteriormente, los cuales afirman que el grosor de la pared de la vaina está controlado por un par de alelos recesivos (nn), (Wellensick, 1925; Lamprecht, 1961 y Gritton, 1980).

Cuadro 4. Retrocruzas R₁ y R₂ evaluadas para tipo de vaina

Cruza §	R1				R2				Proporción		χ^2	Pr($\chi^2 \geq \chi^2_c$)
	N	NG	C	S	N	NG	C	S	R1	R2		
1*5	12		0		4		5		1:1		0.111	0.739
1*6	10		0		14		16		1:1		0.133	0.715
1*7	23		0		2		2		1:1		7.143	0.007
2*5	17		0		1		4		1:1		1.800	0.180
2*6	20		0		19		13		1:1		1.125	0.289
2*7	11		0		8		6		1:1		0.286	0.593
3*1	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3*2	2	0	0	0	32	0	0	0	1:1:1:1		NC	
3*5			-	-			17	6	1:1		5.261	0.022
3*6			-	-			4	2	1:1		0.667	0.414
3*7			-	-				-	-			
4*1	3	6	1	8	5	0	0	0	1:1:1:1		6.444	0.092
4*2	8	1	0	12	40	0	0	0	1:1:1:1			
4*5			2	2			4	0	1:1		0.000	1.000
4*6			3	5			7	0	1:1		0.500	0.480
4*7			4	2			-	-	1:1		0.667	0.414
Total											24.137	0.044

N = presencia de endocarpio y pared delgada; N-G = presencia de endocarpio y pared gruesa; C = ausencia de endocarpio y pared delgada; S = ausencia de endocarpio y pared gruesa, NC = no calculado. § 1 = Lincoln (N), 2 = Pairumani 3 (N), 3 = Round Podded Sugar (S), 4 = Alaska 28-57 WR (S), 5 = Mammoth Melting Sugar (C), 6 = Chinese Snow Pea (C), 7 = Ita-14 (C).

Independencia de caracteres

De acuerdo al análisis de independencia, se revisó la segregación entre presencia de endocarpio y tipo de vaina; para ello se utilizó la progenie F₂ de las cruzas que involucran los caracteres de presencia de endocarpio y grosor de pared de vaina en sus diferentes estados, siendo las cruzas entre plantas de tipo normal (presencia de endocarpio con pared de vaina delgada) y plantas de tipo *snap* (ausencia de endocarpio con pared de vaina gruesa).

El análisis muestra que para cada una de las cruzas, los genes de presencia de endocarpio y grosor de vaina segregaron de forma independiente (Cuadro 5).

Conclusiones

- La presencia de endocarpio en la vaina de arveja proveniente del CIFP está determinada por dos alelos dominantes PPVV y la ausencia de endocarpio en vainas tipo snow y snap por la falta del alelo dominante en al menos uno de los dos loci P_{vv}, ppV_{vv} y pppv.
- El grosor de la vaina en arveja está determinada por un gen recesivo, denominado “n”, por lo que N_{vv} es el genotipo de las vainas delgadas y nn de vainas de pared gruesa.
- Los genes de presencia de endocarpio y grosor de vaina segregan de forma independiente.

Cuadro 5. Análisis de independencia entre genes de presencia de endocarpio y grosor de pared de vaina

Cru-za §	A		P		χ^2	Pr χ^2
	d	g	D	g		
1 x 3	9	4	27	5	13.251	0.2497
1 x 4	20	3	80	21	0.7206	0.3959
2 x 3	40	14	165	29	35.516	0.0595
2 x 4	42	12	240	67	0.0043	0.9480

a = ausencia, p = presencia, d = delgado, g = grueso. § 1 = Lincoln, 2 = Pairumani 3, 3 = Round Podded Sugar, 4 = Alaska 28-57 WR.

Referencias citadas

- Gritton E. 1980. Field pea. American Society of Agronomy–Crop Science Society of America. 667 S. Segoe Road. Madison. WI 53711. Hybridization of crop plants. ASA-CSSA. Madison, WI. pp. 347-356.
- Lamprecht H. 1961. Die Genenkarte vos Pisum bei normaler Struktur del Chromosomen. Agr. Hort. Genet. 18:23-56.
- MAGA. 2011. El agro en cifras. Publicación anual. Guatemala. pp. 26.
- Martinez Y. 2005. Herencia de la vaina sin endocarpio en arveja (*Pisum sativum*). Tesis de grado para obtener el título de Licenciado en Biología. UMSS. FCyT. Cochabamba, Bolivia. 54 p.
- Muller H. 1954. Simple formula given the number of individuals requiriment for obtaining one of a given frequency. University of Texas.
- Myers J., Baggett J., Lamborn C. 2001. Origin, History and Genetic Improvement of the Snap Pea (*Pisum sativum* L.). In: Plant Breeding Reviews. Volume 21 (ed J. Janick). John Wiley & Sons. Inc. Oxford. UK.
- SAS Institute INC. 1985. SAS language: Reference. Version 6.12 First ed. SAS. Institute INC. Cary. NC.
- SICA/MAG. 2001. Agronegocios. Arveja China. *En línea*. Disponible en: www.sica.gov.ec/agronegocios/ Consultado en enero de 2016.
- Wellensieck S. 1925. Pisum crosses I. Genetica. 7:1-64.
- White O. 1917. Studies of inheritance in *Pisum*. The American Philosophical Society, vol. 56 No. 7 pp. 487-488.

Trabajo recibido el 19 de mayo de 2016 - Trabajo aceptado el 24 de julio de 2016