

Evaluación de rasgos morfológicos y de rendimiento en las poblaciones de *Vicia* spp.

Hamideh Javadi ^{a*}

Parvin Salehi Shanjani ^a

Leila Falah Hoseini ^a

Masoumeh Ramazani Yeganeh ^a

^a Gene Bank of Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.

* Autor de correspondencia: Hjavadim@yahoo.com; Javadi@rifr-ac.ir

Resumen:

El estudio se centró en el cálculo de la variación genotípica para las características morfológicas y de rendimiento de forraje de algunos genotipos de alverja para evaluar su potencial de mejora. En 2018-2020 se llevó a cabo un ensayo en pequeñas parcelas en el campo experimental del Instituto de Investigación de Bosques y Pastizales, provincia de Alborz, Irán. Se analizaron cincuenta y ocho (58) genotipos de alverja (*Vicia* spp.) del banco de genes de recursos naturales de Irán. Hubo una variación genotípica significativa ($P < 0.01$) entre las poblaciones, para todas las características medidas. *V. monantha* (32845) produjo una planta alta y de vainas grandes, mientras que *V. villosa* (322) produjo más biomasa que otras variedades. En las estaciones de crecimiento más cortas, la precocidad de *V. sativa* var. *angustifolia* (4740,7243), *V. sativa* var. *stenophylla* (1862), *V. villosa* (315, 322) dio lugar a una elevada producción de semillas. También es posible hacer una selección directa de las poblaciones con un alto rendimiento de biomasa basándose en el rendimiento registrado de estas poblaciones durante los experimentos de campo. Un análisis de conglomerados de las poblaciones de arveja analizadas, basado en las características medidas, con una distancia genética de 11.49, creó cinco grupos principales que mostraron la similitud de los miembros de cada grupo. En general, las especies de arveja y sus poblaciones presentaron características de crecimiento, fenología, productividad de forraje y semillas diferentes. La información generada en este estudio proporciona una base para la variedad genética del género *Vicia* L. y podría ser útil incluirla en los futuros programas de mejoramiento genético.

Palabras clave: Rendimiento de biomasa, Características morfológicas, Fenología, Rendimiento de semillas, *Vicia* spp.

Recibido: 22/12/2021

Aceptado: 21/04/2022

Introducción

Vicia L. es un género con alrededor de 232 especies en el mundo y 45 especies en Irán, perteneciente a la familia de las leguminosas, Fabaceae; es una hierba anual y perenne. Las especies del género *Vicia* se conocen con el nombre común de arvejas. El género se encuentra principalmente en las regiones mediterránea e irano-turaniana, por ejemplo: en Irán, Anatolia, el Cáucaso, Irak, Afganistán, Asia Central, Talesh, Siria, Armenia, Turkmenistán, Jordania, África del Norte, Grecia, Pakistán y Palestina⁽¹⁾. Las arvejas son plantas forrajeras de corta duración, muy resistentes al frío y a la deshidratación, y pueden cultivarse en climas de secano y de regadío. Fijan el nitrógeno en el suelo mediante la fijación en los nodos de las raíces, y ayudan a la erosión del suelo cuando se las siembra en zonas en pendiente^(2,3). Dado que la arveja es una leguminosa, su cultivo aporta nitrógeno al suelo y reduce la incidencia de enfermedades en los cultivos no leguminosos subsiguientes. Su amplia adaptación y su excelente capacidad para producir biomasa la hacen muy atractiva para los agricultores⁽⁴⁾. Uno de los atractivos de la arveja es su versatilidad, que permite su utilización como alimento para rumiantes o como abono verde. Crece muy rápidamente en el primer año, por lo que se pueden utilizar las diversas especies de *Vicia* spp. para mejorar la ganadería en general, la calidad de los piensos, los suelos, la agricultura de forraje, el abono verde, la nutrición humana y la industria farmacéutica⁽⁵⁾.

El Irán es rico en recursos genéticos del género *Vicia*, el cual se encuentra ampliamente distribuido en diferentes hábitats y condiciones. La mayoría de las plantas del género *Vicia* muestran más variedad de características morfológicas y a veces es difícil distinguir las especies de este género^(6,7).

La variación genética entre los genotipos de *Vicia* es imprescindible para su utilización eficaz en los planes de mejoramiento vegetal y la conservación efectiva. Existen varios estudios de diversidad de germoplasma, el cual se ha recolectado de muchas especies de plantas del género *Vicia* en diferentes regiones del mundo. En comparación con otras leguminosas forrajeras anuales, los avances en el cultivo de la arveja (*Vicia* spp.) son más bien modestos. Ésa ha sido una de las características morfológicas de la planta reportada en *V. sativa*⁽⁸⁻¹⁴⁾, *V. faba*⁽¹⁵⁾, *V. narbonensis*^(8,10,11,15), *V. ervilia*⁽¹⁶⁾, *V. villosa*^(10,11), *V. atropurpurea*⁽¹¹⁾, *V. dasycarpa*⁽⁸⁾, *V. hybrid*, *V. pannonica*, *V. lutea*, *V. peregrine*, *V. lathyroides* y *V. grandiflora*⁽¹¹⁾.

Hay 335 accesiones de 25 *Vicia* spp. en el banco genético de recursos naturales de Irán, mismas que se han recogido de diferentes regiones geográficas de Irán. Este estudio tuvo por objeto determinar algunas características morfológicas y rendimientos forrajeros de diferentes genotipos de arveja mediante la recolección de la flora natural de la región de Irán. El presente estudio se centró en la estimación de la variación genotípica para 12 rasgos

morfológicos dentro de las especies *V. michauxii*, *V. michauxii* var. *stenophylla*, *V. monantha*, *V. narbonensis* y *V. sativa* con tres variedades: *V. sativa* var. *angustifolia*, *V. sativa* var. *cordata*, *V. sativa* var. *sativa* y *V. villosa*, evaluar su potencial de mejora y su idoneidad para desarrollar nuevas líneas de arveja común con características agronómicas mejoradas relacionadas con la producción y la calidad del grano.

Material y métodos

Plasma germinal

En este estudio se evaluaron un total de 58 poblaciones de germoplasma. Éste constó de 1 *V. michauxii*, 1 *V. michauxii* var. *stenophylla*, 1 *V. monantha*, 1 *V. narbonensis*, 34 *V. sativa*, 9 *V. sativa* var. *angustifolia*, 1 *V. sativa* var. *cordata*, 4 *V. sativa* var. *sativa* y 6 *V. villosa*. Las poblaciones fueron adquiridas en el Banco de Recursos Naturales de Irán (Cuadro 1).

Cuadro 1: La lista de las 58 poblaciones de arveja (*Vicia* spp.) estudiadas

Taxón	Código	Código de abreviaturas	Origen, provincia	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)
<i>V. michauxii</i>	2944	Vmi	Azerbaiyán Oriental,	47° 02′	38° 51′	1500
<i>V. michauxii</i>	37129	Vmis	Qom	50° 56′	34° 11′	2482
<i>V. monantha</i>	32845	Vmo	Kermanshah	47° 14′	34° 8′	1338
<i>V. narbonensis</i>	34878	Vn	Lorestán, Aleshtar	48° 10′	33° 45′	1495
	5321	Vs	Azerbaiyán Oriental	46° 16′	37° 54′	1750
	6646	Vs	Lorestán, Kohdasht	33° 40′	47° 30′	1200
	6654	Vs	Lorestán, Kohdasht	33° 17′	47° 27′	1130
	6681	Vs	Lorestán, Kohdasht	33° 32′	47° 37′	1260
	11760	Vs	Gilán, Rezvanshahr	37° 31′	49° 13′	280
	11761	Vs	Gilán, Rasht	36° 51′	49° 37′	80
	11762	Vs	Gilán, Rezvanshahr	37° 37′	49° 07′	280
	11763	Vs	Gilán, Rasht	37° 59′	49° 33′	100
	11764	Vs	Gilán, Talesh	37° 32′	45° 55′	280
	11771	Vs	Gilán, Talesh	37° 42′	48° 55′	150
	11772	Vs	Gilán, Rezvanshahr	37° 32′	49° 07′	20
	11774	Vs	Gilán, Rasht	37° 11′	49° 39′	120
	24062	Vs	Gilan, Astaneh	37° 20′	49° 47′	25
	24069	Vs	Gilán, Chabuksar	36° 56′	50° 32′	170
<i>V. sativa</i>	24074	Vs	Gilán, Astaneh	37° 19′	50° 07′	16
	24076	Vs	Gilán, Chabuksar	36° 57′	50° 35′	210
	24084	Vs	Gilán, Rahimabad	37° 02′	50° 18′	40
	24097	Vs	Gilán, Rahimabad	37° 01′	50° 17′	45
	32972	Vs	Kermanshah, Hersin	34° 13′	47° 25′	1367
	33456	Vs	Hamadan	47° 57′	34° 24′	1545
	38517	Vs	Gilán, Siyahkal	49° 57′	36° 59′	342
	38523	Vs	Gilán, Talesh	49° 3′	37° 36′	405
	38526	Vs	Gilán	48° 46′	37° 41′	827
	38527	Vs	Gilán, Astra	48° 58′	38° 24′	21
	38528	Vs	Gilán, Rudsar	50° 12′	36° 48′	608
	38531	Vs	Gilán, Rezvan shahr	49° 20′	37° 30′	315
	38532	Vs	Gilán, Talesh	49° 4′	37° 37′	450
	38533	Vs*	Gilán	38° 10′	48° 20′	600
	38536	Vs*	Gilán	36° 54′	49° 26′	577
	40310	Vs	Kermanshah, Salase	34° 49′	46° 05′	1395

	40315	Vs	Kermanshah, Salase	34°	49′	46°	05′	1395
	40326	Vs	Kermanshah, Javanrud	34°	48′	46°	33′	1525
	40334	Vs	Kermanshah, Salase	34°	51′	46°	01′	1395
	43100	Vs	Khozestan, Masjed	31°	56	49°	18′	870
<i>V. sativa</i> var. <i>angustifolia</i>	38524	Vsa	Gilán, Siahkal	50°	14′	36°	53′	670
	38525	Vsa	Gilán, Talesh	48°	51′	37°	41′	281
	38530	Vsa	Gilán, Talesh	48°	52′	37°	41′	215
	38534	Vsa	Gilán, Rasht	49°	35′	37°	0′	137
	38535	Vsa	Gilán, Rodbar	49°	40′	36°	46′	968
	38537	Vsa	Gilán, Gilan	49°	31′	36°	56′	187
	4740	Vsa	Ilam, Ivan	46°		33°	38′	1170
	7243	Vsa	Kohkiloye ve			28°	86	1900
	38529	Vsa	Gilán, Rezvan shahr	49°	5′	37°	28′	307
	<i>V. sativa</i> var. <i>cordata</i>	34295	Vsc	Gilán, Rezvan shahr	49°	4′	37°	36′
<i>V. sativa</i> var. <i>sativa</i>	1862	Vss	Kermanshah	47°	06′		31′	1350
	24631	Vss	Kermanshah	47°	06′	34°	31′	1400
	29802	Vss	Kohkiloye ve Boyerahmad	30°	59′	51°	07′	2380
	32900	Vss	Kermanshah	34°	16′	46°	09′	1444
<i>V. villosa</i>	315	Vv	Alborz, Karaj	35°	83′	51°	01′	1460
	322	Vv	Karaj		83′	51°	01′	1470
	6268	Vv	Fars, Shiraz, Sepidán,		25′	51°	98′	2350
	14561	Vv	Merkezi, Arak	34°	09′	49°	70′	1730
	28061	Vv	Ardabil	38°	25′	48°	29′	1350
	34212	Vv	Chahar-mahale	31°	46′	50°	59′	2600

Ensayo de campo

Se sembraron en macetas semillas de las 58 poblaciones (en diciembre de 2018). A continuación, las operaciones de siembra y mantenimiento se llevaron a cabo en el campo de investigación del Instituto de Investigación de Bosques y Pastizales, provincia de Alborz, Irán (2018–2020). Una semana antes de la siembra se preparó el suelo como un semillero fino para favorecer el buen establecimiento de las plántulas. El esquema experimental de campo fue un análisis de varianza (ANOVA) con diseño de una vía. Las distancias entre hileras y plantas fueron de 100 y 40 cm, respectivamente. El ensayo se manejó de acuerdo con experiencias anteriores (se practicaron varias escardas manuales, la primera escarda manual se realizó 40 días después de la germinación del cultivo, y luego se repitió cada cuarenta días hasta el final de la temporada de crecimiento, para minimizar la reducción del rendimiento debido a la competencia de las malas hierbas por los nutrientes del suelo, el agua y la radiación solar). Se aplicó el riego durante el ensayo. Se cosechó semilla de las poblaciones durante el período de julio a noviembre de 2020, dependiendo de su madurez.

Características morfológicas

Se evaluaron 12 características cuantitativas de diez plantas (de crecimiento normal, rendimiento uniforme, libres de enfermedades y plagas de insectos) de cada una de las 58 poblaciones de *Vicia*, incluyendo los días hasta la germinación, los días hasta la primera floración, los días hasta la floración total y los días hasta la maduración de la semilla, la altura de la planta (al 50 % de la floración, cm), la longitud del entrenudo (segundo entrenudo al 50 % de la floración, cm), el número de tallos, la longitud de la vaina (cm), el ancho de la vaina

(cm), el índice de la vaina (longitud/anchura de la vaina), el rendimiento de biomasa (peso fresco de la planta) (g), y peso seco de la planta (g)⁽¹⁷⁾.

Análisis de datos

Los datos se sometieron a un análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el sistema de software SAS⁽¹⁸⁾. Las diferencias significativas entre los valores medios de 12 rasgos se compararon con la prueba DMRT de Duncan. La correlación de Pearson se determinó mediante el programa SPSS v.21. Para evaluar la información contenida en los datos morfológicos recogidos, se llevó a cabo un análisis de componentes principales (ACP) mediante el software Minitab (versión 15). Se utilizó el ACP para identificar los rasgos más importantes (altura de la planta, longitud del entrenudo, número de tallos, longitud de la vaina, ancho de la vaina, índice de la vaina, rendimiento de la biomasa, peso seco, días hasta la germinación, días hasta la primera floración, días hasta la floración total, días hasta la maduración) en el conjunto de datos. Las poblaciones de valores medios se utilizaron para crear una matriz de correlación de la que se extrajeron las puntuaciones estandarizadas del ACP y se realizó un gráfico de dispersión en los dos primeros ACP. Se realizó un análisis de conglomerados mediante los métodos de Ward y la distancia euclidiana y se calculó un dendrograma.

Resultados

Los resultados del análisis de la varianza revelaron una variación significativa ($P < 0,01$) en ocho rasgos morfológicos y de rendimiento entre taxones y poblaciones de *Vicia* spp., con excepción del ancho de la vaina, entre las diversas poblaciones (Cuadro 2). El Cuadro 3 muestra la comparación de las características morfológicas y de rendimiento medios en nueve taxones de *Vicia* spp. Los valores de altura de la planta, longitud del entrenudo y número de tallos difieren entre 24.50-150 cm, 3.29-15 cm y 2.81-9 cm, respectivamente. Los valores más altos para la altura de la planta (150 cm), el número de tallos (9) y la longitud del entrenudo (15 cm), se mostraron en *V. monantha* (Vmo) y *V. michauxii* var. *stenophylla* (Vmis), respectivamente. La variación de la longitud de la vaina entre los taxones fue significativa y va de 1.06 cm, en *V. sativa* var. *cordata* (Vsc), a 4 cm, en *V. monantha* (Vmo). No hubo diferencias significativas en el ancho de la vaina entre los taxones, los cuales se dividieron en dos grupos (a y b); así, dos taxones de *V. michauxii* (Vmi y Vmis) tuvieron la vaina más ancha (1.14 y 1.1 cm). Hubo diferencias significativas en los rasgos de rendimiento de biomasa y peso seco, y los valores más altos (rendimiento de biomasa=60.12 g y peso seco=15.63 g) se observaron en *V. villosa* (Vv).

Se compararon cincuenta y ocho (58) poblaciones de *Vicia* spp. en cuanto a los rasgos vegetativos y fenológicos (Tabla 4). Hubo un amplio rango de valores en la altura de la planta desde 19 cm en *V. sativa* var. *angustifolia* (38534) hasta 150 cm en *V. monantha* (32845), también el mayor valor de la altura de la planta entre las poblaciones de las especies se mostró en *V. villosa* (322) (100.33 cm). *V. michauxii* var. *stenophylla* (37129) (100 cm), *V. sativa* (38527) (90 cm) y *V. sativa* var. *cordata* (34295) (85.13 cm). La longitud del entrenudo era

muy diferente, desde 1,83 cm en *V. sativa* (24062, 40334, 43100) hasta 15 cm en *V. michauxii* var. *stenophylla* (37129). Asimismo, se observaron 9.83, 8.69 y 8.28 cm de longitud de entrenudos en *V. sativa* (38527), *V. sativa* var. *cordata* (34295) y *V. sativa* var. *angustifolia* (38525), respectivamente. El mayor y el menor número de tallos fueron 2 y 15, que se mostraron en dos taxones diferentes de especies de *V. sativa* (Vsa38530 y Vs11774). Este rasgo en las poblaciones de *V. villosa* no presentaba diferencias significativas. Cuatro poblaciones de *V. sativa* (38527, 33456, 24074 y 32972), *V. sativa* var. *angustifolia* (38525) y *V. monantha* (32845), tuvieron la mayor vaina en términos de longitud (4-4,53 cm) y las poblaciones *V. michauxii* var. *stenophylla* (37129), y *V. sativa* (5321) tuvieron la mayor vaina en términos de anchura (1,1 y 1,06 cm). En la comparación de los rasgos de rendimiento (rendimiento de biomasa y peso seco), tres poblaciones de *V. sativa* —Vs11761, Vs24062, Vs40326— y dos poblaciones de *V. villosa* —Vv322, Vv6268— tuvieron los mayores valores de estos rasgos: Vs11761 (83 y 26 g), Vs24062 (83 y 26 g), Vs40326 (103.67 y 36.33 g), Vv322 (108.33 y 38.60) y Vv6268 (83.50 y 19.73 g).

Los resultados de las características fenológicas mostraron que todas las poblaciones basadas en los rasgos de días hasta la germinación y días hasta la primera floración se dividieron en dos grupos (a y b). *V. narbonesis* (34878), *V. monantha* (32845) y dos taxones de *V. michauxii* (Vmi2944 y Vmi37129) tuvieron el mismo valor en los rasgos de días hasta la germinación y días hasta la primera floración, pero las poblaciones de *V. sativa* var. *angustifolia* (Vsa4740, Vsa7243), *V. sativa* var. *stenophylla* (Vss1862, Vss24631) y dos poblaciones de *V. villosa* (Vv315, Vv6268) con 21 y 90 días hasta la germinación y primera floración se distinguieron del resto de poblaciones por una germinación y floración más tempranas. En relación con los días de floración total y rasgos de madurez, las poblaciones se dividieron en cuatro grupos (a, b, c y d). Días hasta la floración total en cuatro grupos: 125a, 120b, 115c, 107d y maduración de las semillas: 167a, 162b, 158c, 150d. Las poblaciones del grupo d (107 y 150 d de floración y maduración de las semillas) fueron las que menos tiempo necesitaron para la floración completa y la maduración de las semillas. Es decir, alcanzaron la plena floración y la madurez de las semillas antes que otras poblaciones. Las poblaciones de *V. sativa* var. *angustifolia* (Vsa4740, Vsa7243), *V. sativa* var. *stenophylla* (Vss1862, Vss29802, Vss32900) y *V. villosa* (Vv315, Vv6268) tuvieron el periodo más corto para la floración completa y la maduración de las semillas (Cuadro 4).

El análisis de las correlaciones genéticas entre los rasgos mencionados en las poblaciones de arveja analizadas reveló la existencia de varios coeficientes positivos significativos (Cuadro 5), a saber, entre la altura de la planta con la longitud del entrenudo ($r_{gxy}=0.43$; $P<0.01$), el número de tallos ($r_{gxy}=0.38$; $P<0.01$): entre la longitud de la vaina y la longitud del entrenudo ($r_{gxy}=0.24$; $P<0.05$), el ancho de la vaina ($r_{gxy}=0.23$; $P<0.05$), el día hasta la germinación ($r_{gxy}=0.28$; $P<0.05$), días hasta la primera floración ($r_{gxy}=0.28$; $P<0.05$) y días hasta la madurez ($r_{gxy}=0.26$; $P<0.05$), y entre el índice de la vaina y los días hasta la germinación ($r_{gxy}=0.23$; $P<0.05$) y los días hasta la primera floración ($r_{gxy}=0.23$; $P<0.05$). Por otro lado, la relación entre el ancho de la vaina y el índice de vaina ($r_{gxy}=-0.26$; $P<0.05$), el rendimiento de biomasa ($r_{gxy}=-0.35$; $P<0.01$) y el peso seco ($r_{gxy}=-0.28$; $P<0.05$), y entre la longitud del entrenudo y el peso seco ($r_{gxy}=-0.38$; $P<0.01$) fueron negativos y significativos.

El análisis de componentes principales bidimensional que muestra la relación entre los rasgos cuantitativos de las poblaciones estudiadas se presenta en la Figura 1. Se separaron las poblaciones de *V. sativa* var. *angustifolia* (4770, 7243), *V. sativa* var. *sativa* (1862), *V. villosa* (315, 6268) se separaron parcialmente por PC1; los rasgos relacionados con esta separación son principalmente rasgos fenológicos (día a la germinación, días a la primera floración, días a la floración total, días a la madurez).

Un análisis de conglomerados de las poblaciones de *Vicia* spp. analizadas mostró cinco grupos principales (Cuadro 6 y Figura 2). El clúster G₁ contenía cinco poblaciones, pertenecientes a *V. sativa* var. *angustifolia* con dos poblaciones (7243, 4740), *V. sativa* var. *sativa*, con una población (1862), y *V. villosa* con dos poblaciones (315, 6268). Se caracterizan por los valores más bajos de los rasgos fenológicos (días hasta la germinación, días hasta la primera floración, floración total y días hasta la maduración de las semillas). El clúster G₂ contenía 13 poblaciones: 11 pertenecientes a *V. sativa* (6646, 6681, 11761, 24062, 24069, 24074, 32972, 40310, 40315, 40326, 40334), la población 38530 de *V. sativa* var. *angustifolia* y la 322 de *V. villosa*. También se caracterizan por la mayor cantidad de rasgos vegetativos, de semillas y de rendimiento en comparación con otras poblaciones. El grupo G₃ incluía 16 poblaciones pertenecientes a *V. sativa* (6654, 11760, 11762, 11771, 11772, 24076, 24084, 24097, 43100), la población 38529 de *V. sativa* var. *angustifolia*, *V. sativa* var. *sativa* (24631, 29802, 32900), 28061, 34212 y 14561 de *V. villosa*, con gran cantidad de rasgos vegetativos se recogieron en un grupo. El clúster G₄ contenía siete poblaciones: cinco pertenecen a la especie *V. sativa* (11763, 11764, 11774, 38526, 38527), la población 34295 de *V. sativa* var. *cordata* y una población de *V. monantha* (32845). Éstas fueron clasificadas como las que alcanzaron los valores más altos en altura de la planta, número de tallos y rasgos vegetativos en comparación con otros grupos. El clúster G₅ fue el más grande, con 17 poblaciones: nueve de *V. sativa* (5321, 33456, 38517, 38523, 38528, 38531, 38532, 38533, 38536), cinco de *V. sativa* var. *angustifolia* (38524, 38525, 38534, 38535, 38537), una de *V. michauxii* (2944), una de *V. michauxii* var. *stenophylla* (37129) y una de *V. narbonensis* (34878). Se las clasificó como las poblaciones con los valores más altos en los rasgos vegetativos y de vainas.

El análisis de componentes principales (ACP) de los 12 rasgos cuantitativos se resume en el Cuadro 7. Los cinco primeros CP tenían valores propios >1 y a ellos se debía más del 80 % de la variación total en los rasgos vegetativos y fenológicos. El número de días hasta la germinación, los días hasta la primera floración, los días hasta la floración total y los días hasta la maduración de las semillas tuvieron una alta carga en el CP1 y representaron el 25.7 % de la variación total. En el CP2, el rendimiento de biomasa y el peso seco representaron el 21 % de la variación total. En el CP3, la altura de la planta y la longitud del entrenudo representaron el 14.3 % de la variación total. El CP4 aportó el 11.2 % de la variación total de los rasgos en estas poblaciones con valores altos de longitud de la planta y de número de tallos. El CP5 representó el 9.8 % de la variación total con la longitud, la anchura y el índice de la vaina. En general, para los 12 rasgos vegetativos y fenológicos estudiados, el CP1 y el CP2 contribuyeron más del 46 % de la variación total de los rasgos, en la mayoría de los rasgos fenológicos y en los relacionados con el rendimiento. Esto indica que estos rasgos pueden utilizarse para clasificar las poblaciones estudiadas.

Cuadro 2: Análisis de varianza de ocho características morfológicas de 58 poblaciones de alverja (*Vicia* spp.)

Fuentes de variación	GL	Altura de la planta	Longitud del entrenudo	Número de tallos	Longitud de la vaina	Ancho de la vaina	Índice de la vaina	Rendimiento de la biomasa	Peso seco
Taxón	8	3770.70**	48.92**	25.93**	5.23**	0.47**	9.19**	3809.63**	223.70**
Población	48	905.59**	12.11**	15.62**	1.89**	0.06 ^{ns}	7.76**	1967.42**	202.36**
Error	150	346.70	2.28	2.58	0.39	0.05	1.30	218.67	18.08
CV %		35.88	29.18	32.38	22.77	39.08	22.53	44.56	48.83

*, ** significativo a los niveles 0.05 y 0.01, respectivamente; ^{ns} no significativo.

Cuadro 3: Comparación de medias de 8 características en diferentes especies de *Vicia* spp.

Especie	Altura de la planta (cm)	Longitud del entrenudo (cm)	Número de tallos	Longitud de la vaina	Ancho de la vaina (cm)	Índice de la vaina	Rendimiento de la biomasa (g)	Peso seco (g)
<i>V. michauxii</i> (Vmi)	63.38 ^{cd}	6.56 ^{bc}	2.81 ^b	2.54 ^{bc}	1.14 ^a	4.36 ^b	9.59 ^{cd}	5.46 ^{bc}
<i>V. michauxii</i> var.	100.0 ^b	15.0 ^a	5.0 ^b	2.5 ^{bc}	1.1 ^a	2.27 ^c	20.0 ^{bd}	5.0 ^{bc}
<i>V. monantha</i> (Vmo)	150.0 ^a	8.0 ^b	9.0 ^a	4.0 ^a	0.6 ^b	6.67 ^a	0.06 ^d	0.01 ^c
<i>V. narbonensis</i> (Vn)	24.50 ^e	4.75 ^{cd}	3.0 ^b	3.3 ^{ab}	0.65 ^b	5.1 ^{ab}	5.13 ^{cd}	1.15 ^c
<i>V. sativa</i> (Vs)	48.41 ^{de}	4.8 ^{cd}	5.08 ^b	2.88 ^{bc}	0.56 ^b	5.33 ^{ab}	35.06 ^b	9.16 ^{ab}
<i>V. sativa</i> var. <i>angustifolia</i>	45.07 ^{de}	6.9 ^{bc}	4.6 ^b	3.27 ^{ab}	0.60 ^b	5.48 ^{ab}	19.03 ^{bd}	5.18 ^{bc}
<i>V. sativa</i> var. <i>cordata</i> (Vsc)	85.13 ^{bc}	8.69 ^b	8.75 ^a	1.06 ^d	0.29 ^b	3.75 ^{bc}	27.92 ^{bc}	6.92 ^{bc}
<i>V. sativa</i> var. <i>sativa</i> (Vss)	54.67 ^{ce}	3.29 ^d	4.58 ^b	2.0 ^{cd}	0.5 ^b	4.0 ^{bc}	41.08 ^{ab}	9.32 ^{ab}
<i>V. villosa</i> (Vv)	63.56 ^{cd}	3.36 ^d	4.5 ^b	2.17 ^c	0.51 ^b	4.26 ^b	60.12 ^a	15.63 ^a

Cuadro 4: Comparación de medias de 12 características de 58 poblaciones de diferentes especies de *Vicia* spp.

Población	Altura de la planta (cm)	Longitud del entrenudo (cm)	Número de tallos	Longitud de la vaina (cm)	Ancho de la vaina (cm)	Índice de la vaina	Rendimiento de la biomasa (g)	Peso seco (g)	Días hasta la germinación	Días hasta la primera floración	Días hasta la floración total	Días hasta la maduración
Vmi2944	78.56 c-e	7.94 b-e	2.67 g-i	2.87 c-j	0.82 ab	3.72 k-	10.15 j-n	2.66 i-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vmis37129	100 b	15 a	5 f-i	2.5 f-k	1.1 a	2.27	20.00 h-n	5.00 g-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vmo32845	150 a	8 b-e	9 b-d	4 a-c	0.6 bc	6.67 a-	0.06 n	0.01 n	28 a	95 a	115 c	158 c
Vn34878	24.50 i-k	4.75 f-p	3.00 g-i	3.30 b-g	0.65 bc	5.10 f-	5.13 l-n	1.16 k-	28 a	95 a	120 b	162 b
Vs5321	43.88 e-k	4.00 i-p	2.50 hi	2.14 g-l	1.06 a	2.00 p	2.07 mn	0.55 l-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs6646	44.33 e-k	2.83 n-p	4.67 f-i	2.83 c-j	0.50 bc	5.67 c-	61.83 b-d	14.61c	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs6654	28.33 h-k	2.00 p	4.00 f-i	2.00 h-l	0.50 bc	4.00 j-	42.67 e-i	10.83	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs6681	63.00 c-h	3.33 l-p	5.00 f-i	3.97 a-d	0.50 bc	7.93	74.83 bc	18.43	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs11760	56.67 c-k	4.50 g-p	4.67 f-i	2.00 h-l	0.50 bc	4.00 j-	53.00 c-g	15.27	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs11761	66.67 b-g	6.17 c-l	5.33 f-h	2.50 f-k	0.50 bc	5.00 f-	83.00 ab	26.00	28 a	95 a	115 c	162 b
Vs11762	37.67 f-k	3.67 j-p	6.00 e-g	2.50 f-k	0.50 bc	5.00 f-	19.00 h-n	5.06 g-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs11763	80.00 b-e	6.33 c-i	11 bc	3.33 b-g	0.50 bc	6.67 a-	45.00 e-h	9.33 e-	28 a	95 a	120 b	162 b
Vs11764	61.67 c-l	5.17 e-o	11.67 b	2.67 e-k	0.50 bc	5.33 e-	51.17 c-g	9.03 e-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs11771	52.33 d-k	4.83 f-p	4.33 f-i	2.00 f-k	0.50 bc	4.00 j-	56.67 b-f	11.43	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs11772	65.00 b-h	3.17 m-p	4.67 f-i	2.00 f-k	0.50 bc	4.00 j-	41.50 e-i	8.93 e-	28 a	95 a	120 b	162 b
Vs11774	68.33 b-f	4.33 h-p	15.00 a	2.67 e-k	0.50 bc	5.33 e-	53.00 c-g	15.27	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs24062	40.00 f-k	1.83 p	4.67 f-i	2.00 f-k	0.50 bc	4.00 j-	83.00 ab	26.00	28 a	95 a	120 b	162 b
Vs24069	41.00 f-k	2.50 n-p	5.33 f-h	3.83 a-e	0.50 bc	7.67 a-	37.17 e-k	10.43	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs24074	49.67 d-k	4.17 h-p	6.00 e-g	4.00 a-c	0.47 bc	8.67 a	44.00 d-h	10.43	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs24076	41.33 f-k	3.50 k-p	4.33 f-i	2.50 f-k	0.47 bc	5.50 d-	41.50 e-i	8.93 e-	28 a	95 a	120 b	162 b
Vs24084	55.00 c-k	5.33 d-o	4.67 f-i	2.67 e-k	0.50 bc	5.33 e-	44.00 d-h	10.43	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs24097	51.33 d-k	3.00 n-p	6.00 e-g	2.00 f-k	0.50 bc	4.00 j-	45.00 e-h	8.77 e-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs32972	44.67 e-k	2.83 n-p	3.00 g-i	4.00 a-c	0.57 bc	7.11 a-	48.00 c-h	15.10	28 a	95 a	120 b	162 b
Vs33456	43.43 e-k	6.07 c-m	4.86 f-i	4.04 a-c	0.64 bc	6.39 b-	21.29 h-n	5.30 g-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs38517	34.67 f-k	6.17 c-l	3.33 f-i	2.50 f-k	0.53 bc	4.72 g-	11.27 j-n	3.05 h-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs38523	43.33 e-k	7.33 c-g	3.67 f-i	3.17 b-h	0.60 bc	5.28 f-	25.87 g-n	7.17 f-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs38526	86.17 b-d	6.50 c-j	6.33 f-i	2.73 e-k	0.40 bc	6.18 b-	18.92 h-n	5.50 g-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs38527	90.00 bc	9.83 b	3.00 g-i	4.53 a	0.60 bc	7.56 a-	20.41 h-n	3.91 h-	28 a	95 a	115 c	162 b
Vs38528	53.40 c-k	8.00 b-e	6.40 d-f	3.63 a-f	0.63 bc	5.75 b-	34.49 e-l	8.91 e-	28 a	95 a	115 c	158 c

Población	Altura de la planta (cm)	Longitud del entrenudo (cm)	Número de tallos	Longitud de la vaina (cm)	Ancho de la vaina (cm)	Índice de la vaina	Rendimiento de la biomasa (g)	Peso seco (g)	Días hasta la germinación	Días hasta la primera floración	Días hasta la floración total	Días hasta la maduración
Vs38531	46.00 e-k	6.40 c-k	5.20 f-i	2.84 c-j	0.60 bc	4.68 h-	13.00 i-n	3.95 h-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs38532	29.80 g-k	7.60 b-f	4.80 f-i	2.00 f-k	0.64 bc	3.27 l-	8.35 k-n	2.00 i-	28 a	95 a	115 c	162 b
Vs38533	33.30 f-k	4.74 f-p	3.40 f-i	3.66 a-f	0.62 bc	5.93 b-	10.54 j-n	2.29 i-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs38536	36.33 f-k	7.00 c-h	3.67 f-i	2.23 g-k	0.50 bc	4.47 h-	3.04 mn	0.83 k-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs40310	33.33 f-k	3.17 m-p	3.67 f-i	3.33 b-g	0.50 bc	6.67 a-	55.00 c-g	15.77	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs40315	38.33 f-k	2.50 n-p	3.67 f-i	3.17 b-h	0.50 bc	6.33 b-	51.33 c-g	14.63	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs40326	44.67 e-k	2.33 op	4.33 f-i	3.50 a-f	0.50 bc	7.00 a-	103.67 a	36.33	28 a	95 a	120 b	162 b
Vs40334	31.33 f-k	1.83 p	4.67 f-i	3.33 b-g	0.43 bc	7.83 a-	41.50 e-i	8.93 e-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vs43100	22.00 j-k	1.83 p	4.33 f-i	1.50 kl	0.50 bc	3.00 n-	9.57 j-n	0.33	28 a	95 a	120 b	162 b
Vsa38524	29.60 g-k	7.70 b-f	4.40 f-i	3.16 b-h	0.78 ab	4.07 j-	7.18 l-n	1.95 j-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vsa38525	50.44 d-k	8.28 b-d	5.56 f-h	4.22 ab	0.61 bc	6.96 a-	19.92 h-n	5.62 g-	28 a	95 a	115 c	162 b
Vsa38530	65.33 b-h	6.67 c-i	2.00 i	3.17 b-h	0.53 bc	5.69 c-	29.33 e-n	10.98	28 a	95 a	115 c	162 b
Vsa38534	19.00 k	5.50 d-n	5.00 f-i	3.25 b-h	0.50 bc	6.50 b-	26.75 f-n	5.80 g-	28 a	95 a	115 c	162 b
Vsa38535	36.50 f-k	6.50 c-j	2.50 hi	2.75 d-k	0.65 bc	4.29 i-	4.55 l-n	1.25 k-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vsa38537	43.67 e-k	8.00 b-e	5.67 f-h	2.93 c-i	0.60 bc	4.89 f-	4.70 l-n	1.05 k-	28 a	95 a	115 c	162 b
Vsa4740	49.67 d-k	3.50 k-p	5.00 f-i	2.00 h-l	0.50 bc	4.00 j-	45.00 f-h	9.33 e-	21 b	90 b	107 d	150 d
Vsa7243	54.33 c-k	5.17 e-o	4.33 f-i	2.67 e-k	0.50 bc	5.33 e-	18.67 h-n	5.67 g-	21 b	90 b	107 d	150 d
Vsa38529	30 f-k	4 i-p	3 g-i	0.6 m	0.3 c	2.00 p	3.10 mn	0.60 l-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vsc34295	85.13 b-d	8.69 bc	8.75 c-e	1.06 l	0.29 c	3.75 k-	27.92 e-n	6.92 f-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vss1862	44.67 e-k	4.33 h-p	4.33 f-i	2.00	0.50 bc	4.00 j-	31.67 e-m	9.00 e-	21 b	90 b	107 d	150 d
Vss24631	51.00 d-k	2.33 op	5.00 f-i	1.83 i-l	0.50 bc	3.67 k-	56.67 b-f	11.43	21 b	90 b	125 a	167 a
Vss29802	67.33 b-g	3.50 k-p	4.33 f-i	2.50 h-l	0.50 bc	5.00 f-	41.50 e-i	8.93 e-	28 a	95 a	107 d	150 d
Vss32900	55.67 c-k	3.00 n-p	4.67 f-i	1.67 j-l	0.50 bc	3.33 l-	34.50 e-l	7.93 e-	28 a	95 a	107 d	150 d
Vv315	55.00 c-k	2.83 n-p	4.33 f-i	2.00 h-l	0.50 bc	4.00 j-	53.83 c-g	13.08	21 b	90 b	107 d	150 d
Vv322	100.33 b	4.00 i-p	4.33 f-i	2.50 f-k	0.50 bc	5.00 f-	108.33 a	38.60	28 a	95 a	115 c	158 c
Vv6268	47.67 e-k	3.17 m-p	4.67 f-i	1.67 j-l	0.53 bc	3.17	83.50 ab	19.73	21 b	90 b	107 d	150 d
Vv14561	58.33 c-j	4.50 g-p	4.67 f-i	2.67 e-k	0.50 bc	5.33 f-	57.71 b-e	10.83	28 a	95 a	115 c	158 c
Vv28061	51.67 d-k	2.00 p	4.33 f-i	2.00 h-l	0.50 bc	4.00 j-	18.00 h-n	3.73 h-	28 a	95 a	115 c	158 c
Vv34212	68.33 b-f	3.67 j-p	4.67 f-i	2.17 g-l	0.53 bc	4.06 j-	39.33 e-i	7.80 e-	28 a	95 a	115 c	158 c

Letras diferentes indican diferencias significativas entre las distintas poblaciones de la misma especie. $P < 0.05$.

V. michauxii (Vmi), *V. michauxii* var. *stenophylla* (Vmis), *V. monantha* (Vmo), *V. narbonensis* (Vn), *V. sativa* (Vs), *V. sativa* var. *angustifolia* (Vsa), *V. sativa* var. *cordata* (Vsc), *V. sativa* var. *sativa* (Vss), *V. villosa* (Vv).

Cuadro 5: Matriz de correlación simple para las 12 características de las poblaciones de *Vicia* spp.

Características	Altura de la planta	Longitud de entrenudos	Número de tallos	Longitud de la vaina	Ancho de la vaina	Índice de vainas	Rendimiento biomasa	Peso seco	Días a la germinación	Días a la primera floración	Días a la floración total
Longitud del entrenudo	0.43**										
Número de tallos	0.38**	0.11 ^{ns}									
Longitud de la vaina	0.13 ^{ns}	0.24*	0.03 ^{ns}								
Ancho de la vaina	0.10 ^{ns}	0.51 ^{ns}	-0.22 ^{ns}	0.23*							
Índice de la vaina	0.09 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.86 ^{ns}	-0.26*						
Rendimiento de la biomasa	0.11 ^{ns}	-0.46 ^{ns}	0.14 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.35**	0.20 ^{ns}					
Peso seco	0.13 ^{ns}	-0.38**	0.07 ^{ns}	0.03 ^{ns}	-0.28*	0.22 ^{ns}	0.95 ^{ns}				
Días hasta la germinación	0.04 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.28*	0.11 ^{ns}	0.23*	-0.16 ^{ns}	-0.09 ^{ns}			
Días hasta la primera floración	0.04 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.28*	0.11 ^{ns}	0.23*	-0.16 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	1 ^{ns}		
Días hasta la floración total	-0.08 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.46 ^{ns}	0.46 ^{ns}	
Días hasta la maduración	-0.07 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.26*	0.06 ^{ns}	0.21 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.50 ^{ns}	0.92 ^{ns}

*, ** significativos a los niveles 0.05 y 0.01, respectivamente; ^{ns} no significativo.

Cuadro 6: Comparación de medias de 12 características de cinco grupos de alverja producidos en la Figura 2

Grupos	Altura de la planta (cm)	Longitud del entrenudo (cm)	Número de tallos	Longitud de la vaina (cm)	Ancho de la vaina (cm)	Índice de la vaina	Rendimiento de la biomasa (g)	Peso seco (g)	Días a la germinación	Días hasta la primera floración	Días hasta la floración total	Días hasta la maduración
G ₁	50.27 ^b	3.80 ^c	4.53 ^c	2.07 ^c	0.51 ^b	4.10 ^d	46.53 ^b	11.36 ^b	21.00 ^c	90.00 ^c	107.00 ^c	150.00 ^c
G ₂	50.97 ^b	3.40 ^c	4.36 ^c	3.24 ^a	0.50 ^b	6.51 ^a	63.15 ^a	18.94 ^a	28.00 ^a	95.00 ^a	116.15 ^a	159.54 ^a
G ₃	49.50 ^b	3.43 ^c	4.60 ^b	2.04 ^c	0.49 ^c	4.14 ^d	37.73 ^c	8.20 ^c	27.56 ^b	94.69 ^b	115.56 ^b	158.31 ^b
G ₄	88.76 ^a	6.98 ^b	9.25 ^a	3.00 ^b	0.48 ^c	5.93 ^b	30.92 ^c	7.14 ^c	28.00 ^a	95.00 ^a	115.71 ^b	159.14 ^a
G ₅	43.91 ^c	7.12 ^a	4.21 ^c	3.01 ^b	0.68 ^a	4.72 ^c	13.43 ^d	3.44 ^d	28.00 ^a	95.00 ^a	115.29 ^b	159.18 ^a

^{abc} Letras diferentes indican diferencias entre las distintas poblaciones de la misma especie ($P < 0.05$).

Cuadro 7: Valores propios, la proporción de la varianza, y los rasgos morfológicos que contribuyeron a los cinco primeros componentes principales (CP)

Variáble	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Altura de la planta	0.058	-0.029	0.466	0.441	-0.267
Longitud del entrenudo	0.208	0.302	0.428	0.055	-0.242
Número de tallos	0.050	-0.107	0.176	0.668	0.075
Longitud de la vaina	0.310	-0.154	0.389	-0.244	0.378
Ancho de la vaina	0.141	0.303	0.243	-0.301	-0.357
Índice de la vaina	0.230	-0.332	0.265	-0.084	0.533
Rendimiento de la biomasa	-0.144	-0.53	-0.004	0.062	-0.236
Peso seco	-0.101	-0.541	0.043	-0.042	-0.321
Días hasta la germinación	0.464	-0.017	-0.102	0.045	-0.075
Días hasta la primera floración	0.464	-0.017	-0.102	0.045	-0.075
Días hasta la floración total	0.380	-0.129	-0.338	0.057	-0.164
Días hasta la maduración	0.419	-0.100	-0.267	0.014	-0.151
Valor propio	3.340	2.723	1.856	1.452	1.279
Proporción	0.257	0.210	0.143	0.112	0.098
Acumulado	0.257	0.467	0.610	0.721	0.820

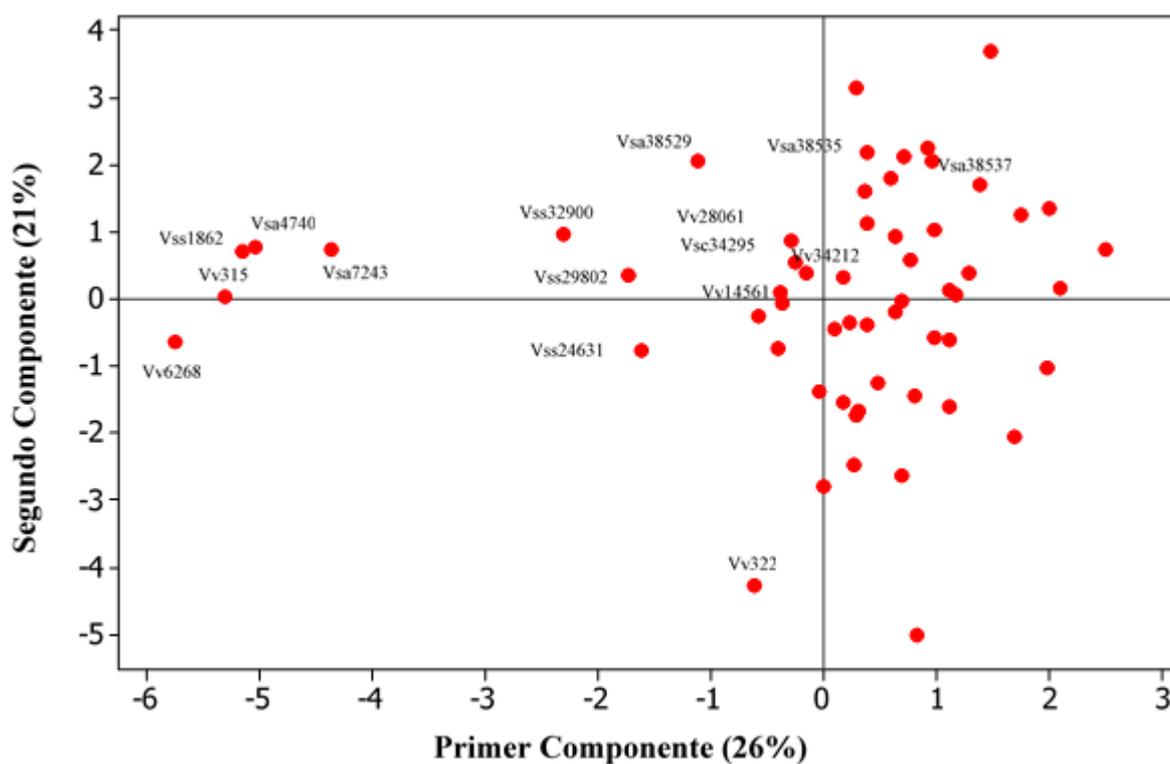
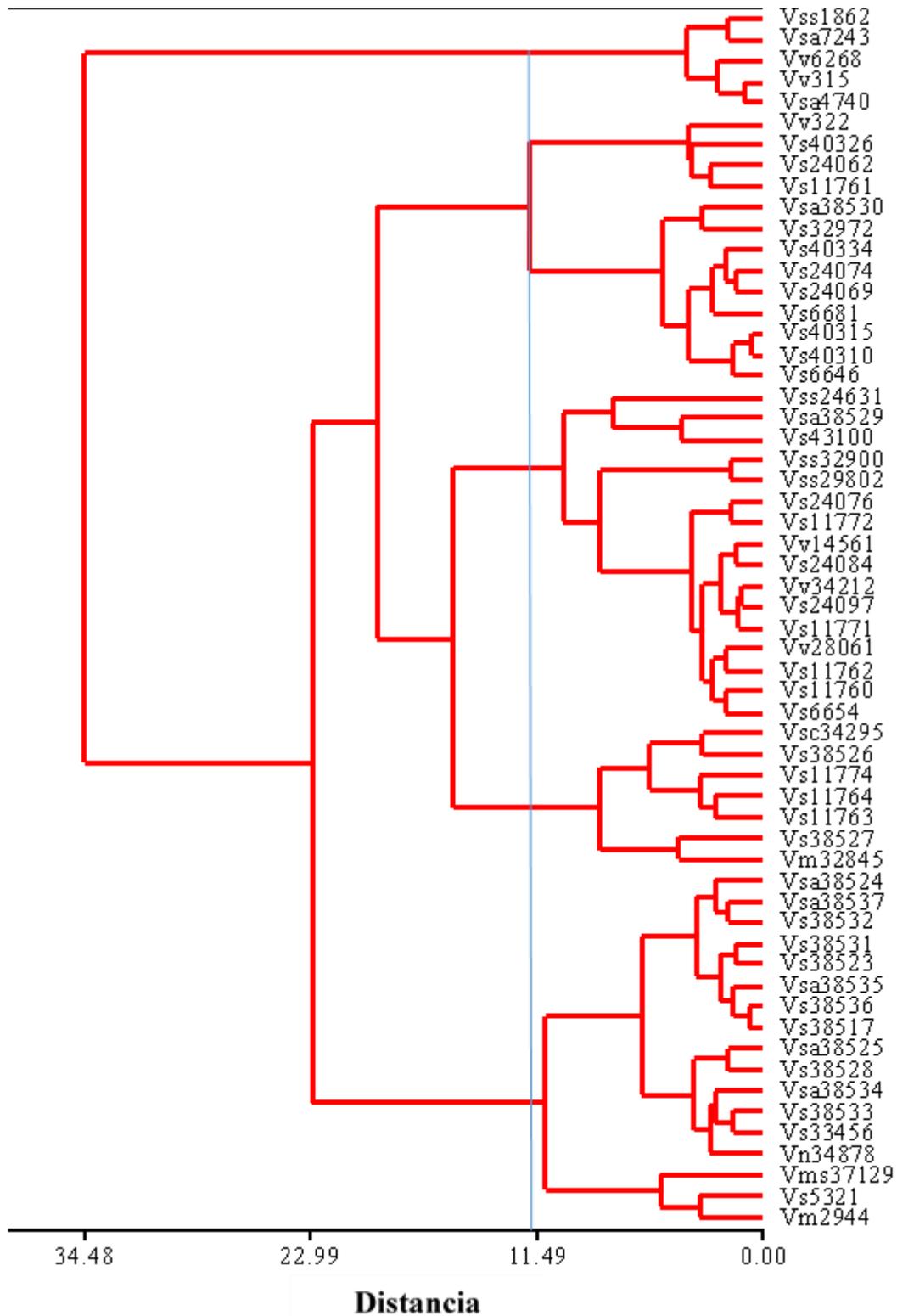
Figura 1: Dos componentes principales que muestran la relación entre 12 rasgos de 58 poblaciones de *Vicia* spp.

Figura 2: Dendrograma de 58 poblaciones de *Vicia* spp. explicado por el agrupamiento de enlaces completos de 12 características



Discusión

En este estudio, se investigó la diversidad genética de 58 poblaciones de *Vicia* spp. con base en sus características morfológicas y fenológicas. Debido a ello, el análisis de la diversidad genética de los germoplasmas mediante rasgos morfológicos es un paso inicial para la mejora de los cultivos⁽¹⁹⁻²²⁾. Hubo una variación genotípica significativa ($P < 0.01$) entre 58 accesiones de germoplasma de *Vicia* spp. para todos los rasgos vegetativos y de rendimiento medidos: longitud de la planta, longitud del entrenudo, número de tallos, longitud de la vaina, ancho de la vaina, índice de la vaina, rendimiento de la biomasa y peso seco. Las estimaciones de la variación genotípica y la repetibilidad de estos rasgos indicaron la variación genética potencial disponible entre las accesiones de germoplasma dentro de *Vicia* spp. investigadas. Ebrahimi *et al.*⁽²³⁾ obtuvieron resultados similares sobre los rasgos morfológicos de las plantas y las semillas de los genotipos de judía blanca, Mikic *et al.*⁽¹²⁾ sobre el rendimiento de forraje y semillas de tres líneas de alverja común y Berhanu y Abera⁽²⁴⁾ sobre el rendimiento de forraje de la investigación de especies de alverja.

Una comparación entre taxones (*V. sativa*: Vs, Vsa, Vsc and Vss, *V. mchauxii*: Vmi and Vmis, *V. monantha*: Vmo, *V. narbonensis*: Vn y *V. villosa*: Vv) mostró a *V. monantha* (Vmo) con altos valores de altura de la planta, número de tallos, longitud de la vaina y a *V. villosa* con altos valores de rendimiento de biomasa y peso seco. Berhanu y Abera⁽²⁴⁾ demostraron que, entre las especies de alverja (*V. sativa*, *V. villosa*, *V. dasycarpa* y *V. bengalensis*), *V. dasycarpa* y *V. villosa* fueron las especies con mejor rendimiento forrajero. Así pues, las especies de alverja ensayadas en el presente estudio podrían utilizarse para la expansión de los pastos y la producción de forraje, en zonas de exclusión del ganado, en franjas forrajeras, como siembra de fondo con cultivos alimentarios, o como cultivo forrajero de traspatio en los pastos del país.

Las poblaciones demostraron una elevada variación en la altura de la planta, la longitud de los entrenudos, el número de tallos, la longitud de las vainas, el rendimiento de biomasa y el peso seco. Las poblaciones Vmo32845, Vv322 y Vmis37129 mostraron los valores más altos de altura de la planta; las poblaciones Vmi37129, Vs38527 y Vsc34295, de longitud del entrenudo; las poblaciones Vs11774, Vs11764, Vs11763, de número de tallos; las poblaciones Vs38527, Vmo32845 y Vsa38525, de longitud de la vaina, y las poblaciones Vs11761, Vs24062, Vs40326, Vv322 y Vv6268, de rendimiento de biomasa y peso seco. Sin embargo, se recomienda ampliar la base genética de diversas fuentes para incluir la mayor parte de los determinantes genéticos de estas características⁽²⁵⁾. Esta variabilidad puede aprovecharse en los programas de mejora de forrajes para seleccionar un material vegetal adaptado a las zonas áridas y semiáridas⁽²⁶⁾.

La fenología (precocidad y tardanza) de las especies de alverja tiene un gran efecto en la productividad y rendimiento de las semillas. La maduración tardía para el forraje y la semilla se registró a los 125 y 167 días, respectivamente. Esto podría deberse a las elevadas y prolongadas precipitaciones en la región de las poblaciones, que favorecieron el crecimiento vegetativo y retrasaron las etapas de recolección de forraje y semillas. Los resultados indicaron

que, en el caso de las poblaciones de alverja analizadas, se necesitaron de 107 a 125 y de 150 a 167 d después del brote de las plántulas para la floración total y la maduración de las semillas, respectivamente. En promedio, la diferencia de cosecha de forraje y de rendimiento de semillas entre las poblaciones es de unos 18 y 17 días. Esto indica que las poblaciones evaluadas responden de maneras diferentes en lo que respecta a estos importantes rasgos agronómicos.

Según Getnet *et al.*⁽²⁷⁾, *Vicia narbonensis* y *Vicia sativa* son especies de maduración temprana, y *Vicia villosa*, de maduración tardía. Sin embargo, en este estudio se recomiendan dos poblaciones de *V. villosa* (315 y 6268) y cuatro poblaciones de *V. sativa* var. *angustifolia* (4740, 7243), *V. sativa* var. *sativa* (1862, 29802, 32900) con 107 y 150 días para la floración y la maduración de la semilla para la producción de semillas debido a su precocidad, mientras que no se aconseja el cultivo de especies de maduración tardía como *V. sativa* var. *sativa* (24631) para este fin.

Existe una relación directa entre la longitud de la planta y la longitud del entrenudo y el número de tallos, lo que indica que las plantas altas producen entrenudos largos y un mayor número de tallos. Además, la longitud y el ancho de la vaina tienen una relación directa con el número de días hasta la germinación, floración y maduración de la semilla, lo que significa que las vainas largas y anchas se producen por la floración tardía y el tiempo de maduración de la semilla. En los cereales, la correlación entre el rendimiento de grano y la altura de la planta suele ser negativa, pero en las leguminosas, esta correlación suele ser positiva, ya que las leguminosas tienen un crecimiento ilimitado, por lo que, al aumentar la altura, se producen más vainas. Esto que tiene un efecto positivo en el rendimiento, por lo que se obtuvieron resultados similares en las características de los genotipos del frijol blanco, en los que los altos rendimientos del grano estuvieron estrechamente correlacionados con los días hasta la floración y con la altura de la planta⁽²³⁾, y en las especies del género *Lens*⁽²⁸⁾. En el ACP, dado que el primer componente incluye cambios que no son explicados por el segundo componente y que los dos componentes son independientes entre sí, los dos componentes se interseccionaron verticalmente y en forma de diagrama biplot para determinar la diversidad entre los diferentes genotipos y determinar los genotipos lejanos y cercanos que se utilizarán. Los rasgos fenológicos (días hasta la germinación, días hasta la primera floración, días hasta la floración total y días hasta la maduración) explicaron las variaciones registradas en las poblaciones en el CP1. Por otro lado, los rasgos de rendimiento (rendimiento de biomasa y peso seco) explicaron la variación observada en las poblaciones en el CP2. La varianza total acumulada en los dos primeros CP fue superior al 46%, lo que indica el alto grado de diversidad entre los rasgos estudiados. Además, los rasgos pueden utilizarse como rasgos fenotípicos para diferenciar las poblaciones. En la parcela PCA (Figura 1), las poblaciones de *V. sativa* var. *angustifolia* (Vsa7243, Vsa4740), *V. sativa* var. *sativa* (1862) y *V. villosa* (Vv315, Vv6268) se separaron de las demás poblaciones y se situaron a la izquierda del eje X por contener menos rasgos fenológicos (los cuales fueron importantes en el primer componente). Por lo tanto, se recomiendan estas poblaciones para las zonas con períodos de crecimiento cortos. Las poblaciones *V. sativa* (40326) y *V. villosa* (322), por contener un alto valor de biomasa y peso seco, se sitúan en la parte inferior del eje Y (efecto negativo de la biomasa y el peso seco sobre el segundo

componente). Como resultado, dos poblaciones —*V. sativa* (40326) y *V. villosa* (322)— producen más rendimiento de forraje que otras poblaciones.

En el presente estudio, las 58 poblaciones de *Vicia* spp. se agruparon en cinco conjuntos utilizando 12 características. Las poblaciones del clúster G1 se caracterizan por los valores más bajos de días a la germinación, floración y madurez de la semilla, que son los candidatos a nuevas evaluaciones. Además, estas poblaciones tuvieron un tiempo más corto para estos rasgos. Los miembros del G1 son similares a la dispersión de estas poblaciones en el gráfico ACP (Figura 1). Es interesante que la población procedente de climas diferentes, como Shiraz, se agrupe con poblaciones de Karaj. Este patrón de agrupación indica la diversidad de las poblaciones dentro de estas áreas geográficas y la similitud de las poblaciones de diferentes áreas geográficas.

Estos resultados coinciden con el informe de Alemayehu y Becker⁽²⁹⁾ en *Brassica carinata*. El grupo G2 contenía 13 poblaciones pertenecientes a las especies *V. sativa* y *V. villosa*. Estas poblaciones tenían un alto valor de rasgos de semilla, rendimiento y fenología. Los miembros de G2, al tener un largo tiempo de floración y maduración de la semilla, producen más semilla y rendimiento de forraje. Este es el mejor factor, que puede ser utilizado para la alimentación del ganado. El clúster G3 contenía 16 poblaciones mixtas de *V. sativa* y *V. villosa*. con los valores más bajos de rendimiento de semilla y forraje reunidas en un grupo, sin desempeñar un papel importante en la endogamia. El clúster G4 contenía siete poblaciones de *V. sativa* y *V. monantha* con altos rasgos vegetativos, las cuales se recomiendan para la alimentación del ganado y el control de la erosión. El grupo G5 con 17 poblaciones de *V. sativa*, *V. michauxii* y *V. narbonensis* se clasificó como de floración y maduración de semilla más tardías y con menor rendimiento forrajero. Estas poblaciones pueden utilizarse para zonas con un periodo de crecimiento largo.

Por último, en este estudio las poblaciones se han clasificado en cinco grupos con base en sus rasgos morfológicos y fenológicos. Los miembros de cada grupo son similares en los rasgos mencionados y pueden ser recomendados para los programas de cría. Además, los resultados no indicaron ninguna relación entre los rasgos estudiados y el origen de las poblaciones.

Conclusiones e implicaciones

Los resultados mostraron la gran variación de rasgos morfológicos y de rendimiento en diferentes especies y poblaciones de arveja. Estas diferencias son muy importantes para seleccionar el tipo de cultivos complementarios y los métodos de integración que tienen por objeto mejorar el rendimiento de ambos cultivos (alimentario y forrajero) sin que uno afecte significativamente al otro. Las especies *Vicia sativa* (Kermanshah, Javanrod) y *V. villosa* (Karaj) fueron superiores en términos de rendimiento de forraje fresco y seco. *V. michauxii* var. *stenophylla* (Qom), *V. monantha* (Kermanshah), *V. sativa* (Gilan, Astara) y *V. villosa* (Karaj), se recomiendan por tener planta alta y vainas grandes. Sin embargo, se necesitan estudios más

exhaustivos y experimentos adicionales para completar la información de los programas de cría.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Jalilian por la identificación de las plantas y al director del Banco de Genes por proporcionar las semillas y poner a disposición las instalaciones del laboratorio para nuestro estudio, así como al RIFR de Irán por el apoyo financiero brindado.

Literatura citada:

1. Mozaffarian V. A dictionary of plant names. 1st ed. Farhang moaser publication, Tehran, Iran. 2006.
2. Rebole A, Alzueta C, Ortiz LT, Barrol C, Rodriguez ML, Caballero R. Yields and chemical composition of different parts of the common vetch at flowering and at two seed filling stages. Span J Agric Res 2004;2(4):550-557.
3. Gurmani ZA, Shafiq ZM, Bashir M. Performance of Vetch, *Vicia sativa* cultivars for fodder production under rain fed condition of Pothwar region. J Agric Res 2006;44(4): 291-299.
4. Kebede G. Correlation and cluster analysis for quantitative and qualitative traits of accessions of vetch species in the central highlands of Ethiopia. G J Adv Res 2016; 3(7):56-72.
5. Duc G, Bao SY, Baum M, Redden B, Sadiki M, Suso MJ. Diversity maintenance and use of *Vicia faba* L. genetic resource. Field Crops Res 2010;115:270-278.
6. Büyükkartal HN, Çölgeçen H, Pınar NM. Seed coat ultrastructure of hard-seeded and soft-seeded varieties of *Vicia sativa*. Turk J Botany 2013;37:270–275.
7. Smýkal P, Coyne CJ, Ambrose MJ, Maxted N, Schaefer H, Blair MW, *et al.* Legume crops phylogeny and genetic diversity for science and breeding. Crit Rev Plant Sci 2015;34:43-104.
8. Rahmati T, Azarfar A, Mahdavi A, Khademi K, Fatahnia F, Shaikhahmadi H, Darabighane B. Chemical composition and forage yield of three *Vicia* varieties (*Vicia* spp.) at full blooming stage. Ital J Anim Sci 2012;1(3):308-311.
9. Dong R, Jahufer MZZ, Dong DK, Wang YR, Liu ZP. Characterisation of the morphological variation for seed traits among 537 germplasm accessions of common vetch (*Vicia sativa* L.) using digital image analysis. N Z J Agric Res 2016;59(4):422–435.
10. Demirkan AK, Nizam I, Orak A, Şen C, Serkan Tenikecier H, Güler N, Ersoy H. Determination of some morphological characters and forage yield of Vetch (*Vicia* sp.) genotypes collected from thrace region of Turkey. Int J Adv Res 2018;(11):276-283.

11. Kebede G. Morpho-agronomic performance of vetch species and their accessions grown under nitosol and vertisol conditions in the central highlands of Ethiopia. *Agric Food Secur* 2018;7(90):1-14.
12. Mikić A, Mihailović V, Karagić D, Milošević B, Milić D, Vasiljević S, Katanski S, Zivanov D. Common vetch (*Vicia sativa*) multi-podded mutants for enhanced commercial seed production. *Proc Appl Bot Genet Breed* 2019;180(1):78-81.
13. Sanchez-Gutierrez RA, Figueroa-González JJ, Rivera-Vázquez JS, Reveles-Hernández M, Gutiérrez-Bañuelos H, Espinoza-Canales A. Yield and nutritional value of common vetch (*Vicia sativa* L.) during fall-winter in Zacatecas, *Rev Mex Cienc Pecu* 2020;11(1):294-303.
14. Grela ER, Samolinska W, Rybinski W, Kiczorowska B. Nutritional and anti-nutritional factors in *Vicia sativa* L. Seeds and the variability of phenotypic and morphological characteristics of some vetch accessions cultivated in European countries. *Animals* 2021; 11(44):1-15.
15. Saberi A. Investigation of yield and morphological traits of some new forage products and forgotten forage plants in Golestan province. *Appl Res Pl Ecophys* 2019;6(2):45-57.
16. Abbasi MR, Vaezi S, Baghaie N. Genetic diversity of bitter vetch (*Vicia ervilia*) collection of the National Plant Gene Bank of Iran based on agro-morphological traits. *IR J Rangelands and Forests Pl Breeding and Gene Res* 2007;15(2):113-128.
17. Arzani H, Ahmadi Z, Azarnivand H, Bihanta MR. Forage quality of three life forms of rangeland species in semi-arid and semi-humid regions in different phenological stages *Desert* 2010;15:71-74.
18. SAS. SAS/STAT User's Guide. Statistical Analysis System. Inc. Cary, NC. Versión 9.1. 2011.
19. Julia CC, Waters DLE, Wood RH, Rose TJ. Morphological characterization of Australian *ex situ* wild rice accessions and potential for identifying novel sources of tolerance to phosphorus deficiency. *Genet Resour Crop Evol* 2016;63:327-337.
20. Peratoner G, Seling S, Klotz Florian C, Figl U, Schmitt AO. Variation of agronomic and qualitative traits and local adaptation of mountain landraces of winter rye (*Secale cereale* L.) from Val Venosta/Vinschgau (South Tyrol). *Genet Resour Crop Evol* 2016;63:61-273.
21. Loumerem M, Alercia A. Descriptors for jute (*Corchorus olitorius* L.). *Genet Resour Crop Evol* 2016;63(7):1103-1111.
22. Shen G, Girdthai T, Liu ZY, Fu YH, Meng QY, Liu FZ. Principal component and morphological diversity analysis of Job's-tears (*Coix lacryma-jobi* L.). *Chil J Agric Res* 2019;79:131-143.

23. Ebrahimi M, Bihamta MR, Hoseinzade AH, Golbashy M, Khialparast F. A study of agronomy and morphologic traits of white bean genotypes using multivariate analysis. *J Crop Breed* 2009;1(3):1-13.
24. Berhanu T, Abera M. Adaptation and forage yield of vetches (*Vicia* spp.) in the southern highlands of Ethiopia. *Agric Sci Pract* 2017;4(1):46-49.
25. Ghafoor A, Ahmad Z, Qureshi AS, Bashir M. Genetic relationship in *Vigna mungo* (L.) Hepper and *V. radiate* (L.) R. Wilczek based on morphological traits and SDSPAGE. *Euphytica* 2002;123:367–378.
26. Chebouti A, Meziani N, Bessedik F, Laib M, Amrani S. Variation in morphological traits and yield evaluation among natural populations of *Medicago truncatula* and *Medicago laciniata*. *Asian J Biol Sci* 2019;12:596-603.
27. Getnet A, Tekleyohanes B, Lemma G, Mesfin D, Diriba G. Major herbaceous forage legumes: Some achievements in species and varietal evaluation in Ethiopia. In: Kemal A, *et al*, editors. Food and forage legumes of Ethiopia: progress and prospects. Proc Workshop Food Forage Legumes 22–26 September 2003. Addis Ababa, Ethiopia.
28. Goghari M, Dashti H, Madah Hosseini Sh, Dehghan E. Evaluation of genetic diversity of lentil germplasm using morphological traits in Bardsir. *IR J Field Crop Sci* 2014; 45(4):541-551.
29. Almayehu N, Becker H. Enotypic diversity and patterns of variation in a germplasm material of Ethiopian mustard (*Brassica carinata* A. Braun). *Genet Resour Crop Evol* 2002;49(6):573-582.