

Producción de forraje y competencia interespecífica del cultivo asociado de avena (*Avena sativa*) con vicia (*Vicia sativa*) en condiciones de secano y gran altitud

Forage production and interspecific competition of oats (*Avena sativa*) and common vetch (*Vicia sativa*) association under dry land and high-altitude conditions

Francisco Espinoza-Montes^{1,2,4}, Wilfredo Nuñez-Rojas¹, Iraida Ortiz-Guizado³, David Choque-Quispe²

RESUMEN

Se experimentó el cultivo asociado de avena (*Avena sativa*) y vicia común (*Vicia sativa*) en condiciones de secano, a 4035 m sobre el nivel del mar, para conocer su comportamiento y efectos en el rendimiento, calidad de forraje y competencia interespecífica. En promedio, el rendimiento de forraje verde, materia seca y calidad de forraje fueron superiores al del monocultivo de avena ($p < 0.05$). El porcentaje de proteína cruda se incrementó en la medida que creció la proporción de vicia común en la asociación, acompañado de una disminución del contenido de fibra. En cuanto a los índices de competencia, el cultivo asociado de avena con vicia favorece el rendimiento relativo total de forraje ($LER_{total} > 1$). Ninguna de las especies manifestó comportamiento agresivo ($A = 0$). Se observó mayor capacidad competitiva de la vicia común ($CR > 1$) comparado con la capacidad competitiva de la avena.

Palabras clave: cultivo asociado; rendimiento; calidad de forraje; competencia interespecífica

ABSTRACT

The oats (*Avena sativa*) and common vetch (*Vicia sativa*) cultivated in association was evaluated under dry land conditions at 4035 m above sea level to determine its performance and effects on yield, forage quality and interspecific competition. On average,

¹ Escuela Profesional de Zootecnia, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú

² Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional José María Arguedas, Andahuaylas, Perú

³ Escuela Profesional de Agropecuaria y Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Lima, Perú

⁴ E-mail: franciscoespinozamontes@gmail.com

Recibido: 3 de abril de 2018

Aceptado para publicación: 14 de septiembre de 2018

ge, the yield of green forage, dry matter and quality of forage were higher than that of oat monoculture ($p < 0.05$). The percentage of crude protein increased as the proportion of common vetch in the association increased, accompanied by a decrease in fibre content. Regarding the indices of competition, the associated crop of oats with common vetch favours the total relative yield of forage ($LER_{total} > 1$). None of the species showed aggressive behaviour ($A=0$) and greater competitive ability of the common vetch ($CR > 1$) was observed compared with the competitive capacity of oats.

Key words: associated crop; yield; forage quality; interspecific competition

INTRODUCCIÓN

Los cereales forrajeros son de gran importancia en la alimentación del ganado por su alta producción de materia seca y bajo costo; sin embargo, son pobres en contenido de proteína. Las leguminosas forrajeras se utilizan en la nutrición del ganado por su alto contenido de proteínas a bajo costo, pero tienen un bajo rendimiento de materia seca (Eskandari *et al.*, 2009). La asociación de ambos forrajes puede aumentar su valor nutricional y la producción de biomasa (Aguilar *et al.*, 2013).

La *Avena sativa* es una gramínea forrajera temporal para corte, adaptada a una gran diversidad de pisos altitudinales en el espacio agrícola andino, desde los 2500 a 4000 msnm, y a climas variados (Argote y Halanoca, 2007). La *Vicia sativa* es una de las leguminosas forrajeras anuales más importantes a nivel mundial, debido a sus múltiples usos y alta calidad nutricional (Kim *et al.*, 2015). Las leguminosas tienen capacidad para desarrollar nódulos en sus raíces y fijar nitrógeno en simbiosis con rizobios compatibles (Graham y Vance, 2003), que es utilizado por la planta huésped o por cultivos asociados (Graham y Vance, 2000), siendo la tasa de fijación de nitrógeno de 1 a 2 kg por hectárea por día (Giller, 2001).

El cultivo asociado de cereales y leguminosas es importante para el desarrollo de sistemas de producción de alimentos

sostenibles, particularmente en sistemas de cultivo con insumos externos limitados (Adesogan *et al.*, 2002). Tiene potencial de mejorar la fertilidad del suelo mediante la adición de nitrógeno producto de la fijación y extracción del componente leguminosa (Hauggaard-Nilsen *et al.*, 2001), de hacer uso eficiente de los recursos ambientales (Knudsen *et al.*, 2004), de reducir daños causados por plagas, enfermedades y malezas (Sekamatte *et al.*, 2003; Banik *et al.*, 2006), así como de mejorar la producción de forraje y su calidad a través de los efectos complementarios de dos o más cultivos establecidos simultáneamente en la misma área de cultivo (Ross *et al.*, 2004; Bingol *et al.*, 2007; Lithourgidis *et al.*, 2007).

Las especies dentro de sistemas de cultivo asociado se desarrollan y compiten entre sí por recursos existentes en el medio, lo que resulta en competencia interespecífica entre especies. Las plantas también compiten por los componentes abióticos del agroecosistema para sobrevivir, siendo los más frecuentes el agua, nutrientes, luz, O₂ y CO₂ (Atis *et al.*, 2012). Para reconocer la competencia entre especies se han desarrollado diversos modelos matemáticos. Estos modelos fueron resumidos por Weigelt y Jolliffe (2003) y entre ellos se seleccionaron la relación equivalente de la tierra (LER), agresividad (A) y relación de competencia (CR), que son algunos de los índices de competencia frecuentemente utilizados para comparar la competencia de las especies en sistemas de cultivo asociados (Dhima *et al.*, 2007; Yilmaz *et al.*, 2008; Erol

et al., 2009, Wahla *et al.*, 2009; Rahetlah *et al.*, 2010).

Con el propósito de incrementar la productividad y calidad del forraje por unidad de área en un sistema de cultivo con bajos insumos externos, en terrenos de secano y con el agua disponible solo en época de lluvia, se plantearon los siguientes objetivos: (i) evaluar el rendimiento y calidad del forraje del cultivo asociado de avena con vicia común, según la proporción de semillas, en tres momentos de cosecha y (ii) determinar los efectos de la incorporación de la vicia común como componente del sistema de cultivo asociado con avena, a través de los índices de competencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de Estudio

El estudio se llevó a cabo en el fundo «Chulumana», ubicado en el distrito de San Pedro de Cajas, Tarma, Perú, entre las coordenadas 11°15'05" S y 75°51'33" O, en el extremo sur de la meseta de Bombón, a 4035 m sobre el nivel del mar. El lugar tiene una breve temporada de lluvias de diciembre a marzo y una larga estación seca de abril a noviembre, con precipitación media anual de 772.3 mm y temperatura media anual de 7.6 °C.

Muestra y Diseño Experimental

Se realizó un experimento del cultivo asociado de avena (*Avena sativa* L) con vicia (*Vicia sativa* L) en campo de productor. Las proporciones de semilla utilizadas se calcularon sobre la base de las tasas de siembra únicas recomendadas de 100 kg/ha de avena y 60 kg/ha de vicia (Argote y Halanoca, 2007; Rahetlah *et al.*, 2010). La estructura experimental consistió en parcelas de monocultivo y parcelas con diferentes proporciones de semilla a la siembra de dos especies diferentes (Connolly *et al.*, 2001). La proporción de semillas de avena y vicia al momento de la

siembra fueron: 100:00, 67:33, 50:50, 33:67 y 00:100 para los tratamientos PS1, PS2, PS3, PS4 y PS5, respectivamente. Se preparó un inóculo de *Rhizobium leguminosarium* mezclando 500 g de este con una concentración ajustada a 10^8 ufc/ml para los 60 kg de vicia, y se inoculó en los tratamientos con vicia. Las cosechas se realizaron a 120, 150 y 180 días.

El experimento se organizó en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, distribuidos en 45 parcelas de 4x5 m cada una, en un área total de 960 m². El experimento se instaló en una parcela de rotación de papa, que al análisis de suelo, en el laboratorio de suelos de la Estación Experimental Agraria Santa Ana, Huancayo, reportó 4.54% de materia orgánica (alto), 18.6 ppm de fósforo (alto), 152.76 ppm de potasio (bajo), calificado como suelo franco con 46% de arena, 32% de limo y 22% de arcilla. La siembra se realizó el 14 de noviembre de 2015 y el registro de datos de la producción se realizaron a los 120, 150 y 180 días después de la siembra. Se utilizó el software SPSS v. 21 (IBM 2012), para el análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias entre las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para subconjuntos homogéneos (Steel y Torrie, 1996).

Estimación del Rendimiento

El rendimiento de forraje verde (FV) se determinó cosechando los cultivos a mano a nivel del suelo y pesando el material fresco con una balanza electrónica de 2 g de aproximación. Las muestras de las parcelas con cultivo asociado se volvieron a pesar luego de separar la avena y la vicia. Para determinar la producción por hectárea se multiplicó por 10 000 el peso de la muestra por metro cuadrado.

El rendimiento de materia seca (MS) se determinó multiplicando el rendimiento de FV por el contenido de MS de la muestra respectiva. El porcentaje de MS se calculó por método del horno microondas, en una prime-

ra etapa con una potencia máxima (900 W) por 5 min y en etapas subsiguiente a mediana potencia (400 W) por 1 min por vez hasta que la variación de peso resultase menor de 0.2 g (Crespo *et al.*, 2007).

Contenido de Proteína y Fibra

El análisis del contenido de proteína y fibra se realizó en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se determinó el contenido de nitrógeno mediante el procedimiento micro-Kjeldahl (Nathan y Sun, 2006) y la concentración de proteína cruda (PC) se calculó con $N \times 6.25$. El contenido de fibra neutra detergente (NDF) se estimó por el método Van Soest (Mertens, 2002).

Competencia Interspecífica

Para evaluar la competencia entre dos especies asociadas en un mismo campo de cultivo, se tomaron en cuenta los índices de competencia de plantas (Weigelt y Jolliffe, 2003). En este estudio, el comportamiento competitivo de la avena y la vicia se determinó en términos de relación equivalente de la tierra (LER), agresividad (A) y relación competitiva (CR).

Relación Equivalente de la Tierra

Con el fin de conocer el rendimiento relativo de las parcelas con monocultivo, en comparación con las parcelas con cultivos asociados, se utilizó el índice de relación equivalente de la tierra (Yilmaz *et al.*, 2015). Los valores de LER se estimaron, para la avena, la vicia y sus mezclas, de acuerdo con la siguiente ecuación: $LER = LER_{avena} + LER_{vicia}$; $LER_{avena} = Y_{ai}/Y_a$; $LER_{vicia} = Y_{vi}/Y_v$, donde Y_a es el rendimiento de la avena como monocultivo, Y_{ai} es el rendimiento de la avena como cultivo asociado, Y_v es el rendimiento de la vicia como monocultivo e Y_{vi} es el rendimiento de la vicia como cultivo asociado.

$LER > 1$ indica que el cultivo asociado favorece el rendimiento de las especies. Por el contrario, $LER < 1$ indica que no hay ventaja del cultivo asociado y la competencia intraespecífica es más fuerte que la interacción interespecífica dentro del sistema de cultivos asociados (Dhima *et al.*, 2007) y resulta en una mayor eficiencia en el uso del suelo (Zhang *et al.*, 2011).

Agresividad

La agresividad (A) es un índice que se utiliza para indicar la dominancia relativa que tendría un cultivo «a» sobre un cultivo «b» en un sistema de cultivo asociado. Un valor de agresividad de cero indica que los cultivos asociados son igualmente competitivos; sin embargo, ambos cultivos podrían tener el mismo valor numérico, pero el signo de la especie dominante será positivo y del otro negativo; así mismo, cuanto mayor sea el valor numérico, mayores serán las diferencias entre los rendimientos reales (Wahla *et al.* 2009).

La agresividad se estimó de acuerdo con la siguiente ecuación: $A_{avena} = [Y_{ai}/(Y_a * P_{ai})] - [Y_{vi}/(Y_v * P_{vi})]$; $A_{vicia} = [Y_{vi}/(Y_v * P_{vi})] - [Y_{ai}/(Y_a * P_{ai})]$, donde P_{ai} es la proporción sembrada de avena en asociación y P_{vi} es la proporción sembrada de vicia en la asociación.

Relación de Competencia

La relación de competencia (CR) es un método utilizado para evaluar la competencia interespecífica entre los componentes de una asociación, dando una estimación de la capacidad competitiva de los cultivos asociados (Dhima *et al.*, 2007). La CR se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación: $CR_{avena} = [Y_{ai}/(Y_a * P_{ai})] / [Y_{vi}/(Y_v * P_{vi})]$; $CR_{vicia} = [Y_{vi}/(Y_v * P_{vi})] / [Y_{ai}/(Y_a * P_{ai})]$. En un sistema de cultivo asociado, cuando $CR_{xy} > 1$, la capacidad competitiva del cultivo «x» es más alta que aquella del cultivo «y».

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de Forraje Verde

El cultivo asociado de avena con vicia favorece el rendimiento de forraje verde comparado con el rendimiento de forraje verde del monocultivo de avena, en las tres proporciones de semilla y en los tres momentos de cosecha.

De acuerdo con el Cuadro 1, el rendimiento de FV ha sido influenciado significativamente por la asociación del cereal con la leguminosa ($p < 0.05$). El mayor rendimiento de FV fue de 16.58 t/ha para PS3, superando al monocultivo de avena (PS1) en 13% y al monocultivo de vicia (PS5) en 36%. Los rendimientos de FV de PS1, PS2 y PS4 fueron similares a la comparación estadística; sin embargo, se observa una diferencia numérica a favor de PS2 y PS4.

Se obtuvo un mayor rendimiento de FV cuanto mayor fue el intervalo entre la siembra y la cosecha ($p < 0.05$). La diferencia entre el rendimiento de 120 y 150 días fue de 1.63 t/ha, con un incremento del rendimiento de 11.2%, y la diferencia entre el rendimiento de 150 y 180 días fue de 0.98 t/ha, con un incremento del rendimiento de 6.3%. La opción de cosechar a una determinada edad dependerá del uso que se le dará al producto: forraje verde, heno o ensilado.

Los rendimientos de FV de este estudio fueron menores a los reportados por Lithourgidis *et al.* (2006) de 22.12 t/ha, Tuna y Orak (2007) de 25.3 t/ha y Ansar *et al.* (2010) de 37.97 t/ha, para mezclas de 35:65, 75:25 y 50:50 de avena con vicia, respectivamente. Estos rendimientos difieren de los reportados para los monocultivos de avena y de vicia, donde Lithourgidis *et al.* (2006) señalan que el rendimiento del cultivo asociado es menor que el monocultivo de avena (33.23 t/ha) pero mayor al monocultivo de vicia (20.49 t/ha); de manera similar Ansar *et al.* (2010) refieren que el rendimiento del cultivo

asociado es menor al del monocultivo de avena (31.58 t/ha) pero mayor al del monocultivo de vicia (13.76 t/ha); sin embargo, en el caso de Tuna y Orak (2007), el rendimiento del cultivo asociado fue mayor, tanto en el monocultivo de avena (24.2 t/ha) como en el monocultivo de vicia (19.6 t/ha). Los rendimientos de FV del monocultivo de avena varían entre 24.3 y 46.8 t/ha (Espitia *et al.*, 2012) y el rendimiento de FV del monocultivo de vicia entre 5.0 t/ha (Aguilar *et al.*, 2013) y 14.83 t/ha (Desalegn y Hassen, 2015).

Rendimiento de Materia Seca

El cultivo asociado de avena con vicia favorece el rendimiento de MS comparado con el rendimiento de MS del monocultivo de avena, en las tres proporciones de semilla y en los tres momentos de cosecha.

El rendimiento de MS que se presenta en el Cuadro 2, sigue una tendencia similar al rendimiento de FV. El rendimiento de MS ha sido influenciado significativamente por la asociación del cereal con la leguminosa ($p < 0.05$). En promedio, el mayor rendimiento de MS fue de 4.26 t/ha para PS3, superando al monocultivo de avena (PS1) en 6.3% y al monocultivo de vicia (PS5) en 44.6%. Los rendimientos de MS de los tratamientos PS1 y PS2 y los tratamientos PS2 y PS4 fueron similares.

A mayor número de días de la siembra a la cosecha, mayor rendimiento de MS ($p < 0.05$). La diferencia entre el rendimiento de 120 y 150 días fue de 2.32 t/ha, con un incremento del rendimiento de 58.6% y la diferencia entre el rendimiento de 150 y 180 días fue de 1.35 t/ha, con un incremento del rendimiento de 25.4%. La opción de cosechar a una determinada edad dependerá del uso que se le dará al producto: forraje verde, heno o ensilado.

Los rendimientos de MS de esta investigación son mayores a los reportados por Carr *et al.* (2004), quienes cultivando avena en tierras de secano y con bajos niveles de

Cuadro 1. Efecto de la proporción de semilla y momento de cosecha sobre el rendimiento de forraje verde (t/ha) en el sistema de cultivo asociado de avena con vicia

Proporción de semillas	Días entre la siembra y la cosecha			Promedio
	120	150	180	
PS1 (100:00)	13.50 ± 0.90	14.57 ± 0.76	15.17 ± 0.68	14.41 ^b
PS2 (67:33)	13.55 ± 1.17	15.52 ± 0.51	16.45 ± 1.13	15.17 ^b
PS3 (50:50)	14.82 ± 0.56	16.95 ± 0.39	17.98 ± 0.21	16.58 ^a
PS4 (33:67)	13.57 ± 0.95	14.98 ± 0.91	16.47 ± 0.72	15.01 ^b
PS5 (00:100)	9.32 ± 0.55	10.85 ± 0.63	11.75 ± 0.78	10.64 ^c
Promedio	12.95 ^c	14.57 ^b	15.56 ^a	

^{abc} Letras diferentes en columnas y filas indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$)

Cuadro 2. Efecto de la proporción de semillas y momento de cosecha sobre el rendimiento de forraje en MS (t/ha), en el sistema de cultivo asociado de avena con vicia

Proporción de semillas	Días entre la siembra y la cosecha			Promedio
	120	150	180	
PS1 (100:00)	2.07 ± 0.13	3.98 ± 0.21	5.95 ± 0.27	3.99 ^{ab}
PS2 (67:33)	1.87 ± 0.18	4.42 ± 0.17	5.53 ± 0.43	3.94 ^{bc}
PS3 (50:50)	1.82 ± 0.07	4.87 ± 0.11	6.08 ± 0.07	4.26 ^a
PS4 (33:67)	1.55 ± 0.11	3.97 ± 0.24	5.32 ± 0.29	3.60 ^c
PS5 (00:100)	0.89 ± 0.05	2.54 ± 0.15	3.66 ± 0.25	2.40 ^d
Promedio	1.64 ^c	3.96 ^b	5.32 ^a	

^{abcd} Letras diferentes en columnas y filas indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$)

Cuadro 3. Efecto de la proporción de semillas y momento de cosecha sobre el contenido de proteína (PC) y fibra (NDF) en g/kg, en el sistema de cultivo asociado de avena con vicia

Proporción de semillas	120 días		150 días		180 días	
	PC	NDF	PC	NDF	PC	NDF
PS1 (100:00)	96.2	344.2	68.4	386.2	62.5	434.5
PS2 (67:33)	135.8	329.8	112.5	362.9	104.6	394.8
PS3 (50:50)	167.6	332.6	143.2	349.6	127.2	391.3
PS4 (33:67)	179.4	312.2	157.8	341.2	148.5	383.2
PS5 (00:100)	223.5	296.2	203.2	315.8	192.2	352.4

Fuente: Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos, UNALM

nitrógeno, obtienen 3.84 t/ha y asociando avena con guisante incrementan a 4.56 t/ha. Así mismo, Desalegn y Hassen (2015) registran 2.79 t/ha en monocultivo de vicia.

Los rendimientos de MS obtenidos son menores a los reportados por Ansar *et al.* (2010) de 9.28 t/ha, Lithourgidis *et al.* (2006) de 9.22 t/ha, Rahetlah *et al.* (2010) de 7.64 t/ha, Tuna y Orak (2007) de 6.5 t/ha y Erol *et al.* (2009) de 6.32 t/ha, para mezclas de 65:35, 50:50, 35:65, 50:50, 75:25 y 45:55 de avena con vicia, respectivamente. Estos rendimientos difieren de los reportados para los monocultivos de avena y de vicia, donde Erol *et al.* (2009), Ansar *et al.* (2010) y Rahetlah *et al.* (2010) refieren que el rendimiento del cultivo asociado es mayor al del monocultivo de avena y al monocultivo de vicia, en tanto que Lithourgidis *et al.* (2006) y Tuna y Orak (2007) señalan que el rendimiento del cultivo asociado es menor que el monocultivo de avena, pero mayor al monocultivo de vicia. Para lograr mayores rendimientos de MS, los autores mencionados indican haber utilizado diferentes niveles de fertilización, especialmente fuentes de nitrógeno y fosforo.

Calidad del Forraje

El cultivo asociado de avena con vicia favorece la calidad del forraje comparado con la calidad del forraje del monocultivo de avena, en las tres proporciones de semilla y en los tres momentos de cosecha.

El resultado de la evaluación del valor nutricional se presenta en el Cuadro 3, donde se muestra que la proporción de semillas PS4, de la asociación de avena con vicia a 120 días tiene el más alto contenido de proteína (179.4 g/kg) y el más bajo contenido de fibra (312.2 g/kg). El contenido de proteína es mayor con relación al monocultivo de avena (96.2 g/kg) y menor con relación al monocultivo de vicia (223.5 g/kg). El contenido de fibra es mayor con relación al monocultivo de avena (344.2 g/kg), y menor con relación al monocultivo de vicia (296.2 g/kg). Se puede observar que los niveles de PC disminu-

yen y los niveles de NDF incrementan en la medida que transcurre los días después de la siembra.

Estos resultados obtenidos en el estudio para PC y NDF son mayores que los reportados por Flores *et al.* (2016), quienes refieren que el patrón 65:35 de avena con vicia tiene el más alto contenido de PC (61 g/kg) y el patrón 35:65 el más alto contenido de NDF (407 g/kg); el contenido de PC es menor con relación al monocultivo de avena (65 g/kg) y mucho menor con relación al monocultivo de vicia (294 g/kg); el contenido de NDF es menor con relación al monocultivo de avena (478 g/kg), pero mayor con relación al monocultivo de vicia (363 g/kg). De igual forma Lithourgidis *et al.* (2006) señalan que el patrón 35:65 de avena con vicia, tiene el más alto contenido de PC (119.1 g/kg) y el más alto contenido de NDF (401.7 g/kg); el contenido de PC es mayor con relación al monocultivo de avena (78.4 g/kg) y menor con relación al monocultivo de vicia (139.3 g/kg); el contenido de NDF es mayor con relación al monocultivo de avena (345.3 g/kg), y menor con relación al monocultivo de vicia (443.1 g/kg). Carr *et al.* (2004) refieren que asociando avena con guisante obtienen 100 g/kg de PC con 552 g/kg de NDF, superior al monocultivo de avena en el que obtienen 61 g/kg de PC con 618 g/kg de NDF. Así mismo, Desalegn y Hassen (2015) obtienen 91 g/kg de PC con 441 g/kg de NDF, y Aguilar *et al.* (2013) obtienen 234.2 g/kg PC con 517.6 NDF en el cultivo de vicia en monocultivo.

Relación Equivalente de la Tierra

El cultivo asociado de avena con vicia favorece el rendimiento relativo total de forraje ($LER_{total} > 1$), comparado con el rendimiento relativo por especie, en las tres proporciones de semilla y en los tres momentos de cosecha.

La LER parcial de la vicia aumentó en todos los casos a medida que disminuyó la proporción de avena en la mezcla (Cuadro 4). Las asociaciones tienen LER mayores a

Cuadro 4. Efecto de la proporción de semillas y momento de cosecha sobre el rendimiento relativo total de forraje (LER) en el sistema de cultivo asociado de avena con vicia

Proporción de semillas	120 días			150 días			180 días		
	LER _{avena}	LER _{vicia}	LER _{total}	LER _{avena}	LER _{vicia}	LER _{total}	LER _{avena}	LER _{vicia}	LER _{total}
PS1 (100:00)	1.00		1.00	1.00		1.00	1.00		1.00
PS2 (67:33)	0.75	0.36	1.12	0.76	0.42	1.17	0.75	0.43	1.18
PS3 (50:50)	0.63	0.68	1.31	0.66	0.67	1.33	0.67	0.67	1.34
PS4 (33:67)	0.38	0.90	1.28	0.42	0.81	1.24	0.43	0.85	1.28
PS5 (00:100)		1.00	1.00		1.00	1.00		1.00	1.00

Cuando LER_{total}>1 favorece el rendimiento relativo del cultivo asociado (Dhima *et al.*, 2007)

Cuadro 5. Efecto de la proporción de semillas y momento de cosecha sobre la agresividad en el sistema de cultivo asociado de avena con vicia

Proporción de semillas	120 días		150 días		180 días	
	A _{avena}	A _{vicia}	A _{avena}	A _{vicia}	A _{avena}	A _{vicia}
PS2 (67:33)	0.000	0.000	-0.001	0.001	-0.002	0.002
PS3 (50:50)	-0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	-0.001
PS4 (33:67)	-0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000

A>0 indica comportamiento agresivo; A=0 indica que no existe agresividad (Wahla *et al.*, 2009)

Cuadro 6. Efecto de la proporción de semillas y momento de cosecha sobre la relación competitiva (CR) en el sistema de cultivo asociado de avena con vicia

Proporción de semillas	120 días		150 días		180 días	
	CR _{avena}	CR _{vicia}	CR _{avena}	CR _{vicia}	CR _{avena}	CR _{vicia}
PS2 (67:33)	1.03	0.97	0.93	1.07	0.86	1.16
PS3 (50:50)	0.89	1.12	0.99	1.01	1.05	0.95
PS4 (33:67)	0.85	1.17	1.00	1.00	1.03	0.97

CR>1: la capacidad competitiva de la especie es mayor con respecto a la otra (Zhang *et al.*, 2011)

1.0, siendo mayores la LER del tratamiento PS3 a 120 días (1.31), 150 días (1.33) y 180 días de la siembra (1.34). El cultivo asociado de avena con vicia favorece el rendimiento del monocultivo de avena siendo el de mayor eficacia el patrón de cultivo PS3 (50:50).

Estos hallazgos concuerdan con los reportes de Dhima *et al.* (2007), quienes obtienen valores de LER relativamente menores (1.09) en la combinación 35:65 de avena con vicia. Erol *et al.* (2009) con bajos niveles de fertilización, reportan una mayor LER (1.33)

con la mezcla 45:55 de avena con vicia, con una ventaja de 33% más de rendimiento, respecto al monocultivo de avena. Así mismo, Javanmard *et al.* (2014) indican que la mayor LER (1.16) se obtiene con la mezcla de 25:75 de avena con vicia, con una ventaja de 16% más de rendimiento, respecto al monocultivo de avena, mientras que Fariás *et al.* (2016) indican que una mínima LER (1.18) se obtiene con la mezcla de 1:1 de avena con vicia, con una ventaja de 18% más de rendimiento, respecto al monocultivo de avena y recomienda una asociación prudente del 50% de cada especie.

Agresividad

En el cultivo asociado de avena con vicia se observa que no se manifiesta comportamiento agresivo de ninguna de las especies ($A=0$) en las tres proporciones de semilla y en los tres momentos de cosecha. La tendencia de los valores obtenidos tiende a ser cero o cercanos a cero (Cuadro 5), lo que permite afirmar que no existe agresividad entre la avena y la vicia; por el contrario, la incorporación de la vicia como componente del cultivo asociado favorecería para lograr mayores rendimientos.

Contrariamente a estos resultados, Alemu *et al.* (2007) indican que la avena es agresiva con la vicia en cultivos asociados, y que la agresividad de la avena aumenta con el avance en la etapa de cosecha. Esto podría deberse a un crecimiento más rápido de la avena que le permite utilizar mejor los nutrientes y la energía solar en comparación con la vicia. Dhima *et al.* (2007) confirman esta versión al encontrar que la avena es la especie dominante, medido por el valor positivo de agresividad que presentan los patrones 45:55 (0.636) y 35:65 (0.337). Similares resultados son obtenidos por Rahetlah *et al.* (2010), medido por el valor positivo de agresividad que presenta el patrón 50:50 (0.71).

Relación de Competencia de las Especies

En el cultivo asociado de avena con vicia se observa mayor capacidad competitiva de la vicia ($CR>1$), comparado con la capacidad competitiva de la avena, dependiendo de las proporciones de semilla y los momentos de cosecha.

La capacidad competitiva de la vicia es variable según la proporción de semilla y el momento de cosecha (Cuadro 6). A los 120 días de la siembra es más competitiva en la proporción PS3 (50:50) y PS4 (33:67); a 150 días es más competitiva en las tres proporciones; y a 180 días solo es más competitiva en la proporción PS2 (67:33).

Los resultados concuerdan con los de Erol *et al.* (2009) quienes refieren que la CR de la vicia es mayor que la CR de la avena en las proporciones 75:25 (1.10) y 45:55 (1.17), y que la CR de la avena es mayor que la CR de la vicia en las proporciones 55:45 (1.24) y 25:75 (1.82). Para Dhima *et al.* (2007), los valores de CR para la avena fueron mayores que para la vicia, en las proporciones 45:55 (1.95) y 35:65 (1.38), lo que indica el predominio de las cereales en estas mezclas de cultivos; sin embargo, la CR de la avena disminuye a medida que la proporción de vicia aumenta, lo que indica que la avena es más competitiva que la vicia. También para Rahetlah *et al.* (2007), la CR para la avena fue mayor que para la vicia, en la proporción 50:50 (3.55), lo que indica el predominio del cereal en la mezcla con una leguminosa.

CONCLUSIONES

- El rendimiento de forraje verde, materia seca y calidad del forraje fueron influenciados significativamente por la presencia de la leguminosa en el cultivo asociado de avena con vicia común, en condiciones de secano y gran altitud.

- Los índices de competencia indican que la inclusión de la vicia común en el cultivo asociado favorece el rendimiento relativo total, que no se manifiesta comportamiento agresivo de ninguna de las especies y que la vicia común tendría mayor capacidad competitiva que la avena.

LITERATURA CITADA

1. **Adesogan AT, Salawu MB, Deaville E. 2002.** The effect on voluntary feed intake, *in vivo* digestibility and nitrogen balance in sheep of feeding grass silage or pea-wheat intercrops differing in pea to wheat ratio and maturity. *Anim Feed Sci Tech* 96: 161-173. doi: 10.1016/S0377-8401(01)00336-4
2. **Aguilar EY, Bórquez JL, Domínguez IA, Morales A, Gutiérrez MG, González M. 2013.** Forage yield, chemical composition and *in vitro* gas production of triticale (*X Triticosecale wittmack*) and barley (*Hordeum vulgare*) associated with common vetch (*Vicia sativa*) preserved as hay or silage. *J Agr Sci* 5: 227-238. doi: 10.5539/jas.v5n2p227
3. **Alemu B, Melaku S, Prasad NK. 2007.** Effects of varying seed proportions and harvesting stages on biological compatibility and forage yield of oats (*Avena sativa* L) and vetch (*Vicia villosa* R) mixtures. *Livestock Res Rural Develop* 19(12). [Internet]. Available in: <http://www.lrrd.org/lrrd19/1/alem19012.htm>
4. **Ansar M, Ahmed ZI, Malik MA, Nadeem M, Majeed A, Rischkowsky BA. 2010.** Forage yield and quality potential of winter cereal-vetch mixtures under rainfed conditions. *Emir J Food Agr* 22: 25-36. doi: 10.9755/ejfa.v22i1.4904
5. **Argote G, Halanoca M. 2007.** Evaluación y selección de gramíneas forrajeras tolerantes a condiciones climáticas del altiplano de Puno. En: XX Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal – ALPA. Cusco, Perú.
6. **Atis I, Kokten K, Hatipoglu R, Yilmaz S, Atak M, Can E. 2012.** Plant density and mixture ratio effects on the competition between common vetch and wheat. *Aust J Crop Sci* 6:498-505.
7. **Banik P, Midya A, Sarkar BK, Ghose SS. 2006.** Wheat and chickpea intercropping systems in an additive experiment. Advantages and weed smothering. *Eur J Agron* 24: 325-332. doi: 10.1016/j.eja.2005.10.010
8. **Bingol N, Karsli T, Yilmaz IH, Bolat D. 2007.** The effects of planting time and combination on the nutrient composition and digestible dry matter yield of four mixtures of vetch varieties intercropped with barley. *Turk J Vet Anim Sci* 31: 297-302.
9. **Carr PM, Horsley RD, Poland WW. 2004.** Barley, oat and cereal-pea mixtures as dryland forages in the Northern Great Plains. *Agron J* 96: 677-684.
10. **Connolly J, Wayne P, Bazzaz FA. 2001.** Interspecific competition in plants: how well do current methods answer fundamental questions? *Am Nat* 157: 107-125. doi: 10.1086/318631
11. **Crespo R, Castaño J, Capurro J. 2007.** Secado de forraje con el horno microondas: efecto sobre el análisis de calidad. Buenos Aires, Argentina. *Agr Tec* 67: 210-218. doi: 10.4067/S0365-28072007000200013
12. **Desalegn K, Hassen W. 2015.** Evaluation of biomass yield and nutritional value of different species of vetch (*Vicia*). *Am Nat J Nutr* 4: 99-105. doi: 10.5829/idosi.aj.n.2015.4.3.96130
13. **Dhima KV, Lithourgidis AS, Vasilakoglou IB, Dordas CA. 2007.** Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crop Res* 100: 249-256. doi: 10.1016/j.fcr.2006.07.008
14. **Erol A, Kaplan M, Kizilsimsek M. 2009.** Oats (*Avena sativa*) - common vetch (*Vicia sativa*) mixtures grown on a low-input basis for a sustainable agriculture. *Trop Grasslands* 43: 191-196

15. **Eskandari H, Ghanbari A, Javanmard A. 2009.** Intercropping of cereals and legumes for forage production. *Not Sci Biol* 1: 7-13. doi: 10.15835/nsb113479
16. **Espitia E, Villaseñor HE, Tovar R, Olán M, Limón A. 2012.** Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Rev Mex Cienc Agr* 3: 771-783.
17. **Fariás JA, Moraes PVD, Artuso VA, Dal JA, Da Silva DW, Kunz AG and Zanini W. 2016.** Competitive effect between black oat (*Avena strigosa*) and common vetch (*Vicia sativa*) plants in consortium under diverse populational densities. *J Agronomy* 15: 184-190. doi: 10.3923/ja.2016.184.190
18. **Flores MJ, Ricardo A. Sánchez RA, Echavarría FG, Gutiérrez R, Rosales CA, Salinas H. 2016.** Forage production and quality of common vetch mixtures with barley, oat and triticale in four phenological stages. *Rev Mex Cienc Pecu* 7: 275-291.
19. **Giller KE. 2001.** Nitrogen fixation in tropical cropping systems. Wallingford, UK: CABI Publishing. doi: 10.1079/9780851994178.0000
20. **Graham PH, Vance CP. 2000.** Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. *Field Crops Res* 65: 93-106. doi: 0.1104/pp.017004
21. **Graham PH, Vance CP. 2003.** Legumes: importance and constraints to greater use. *Plant Physiol* 131: 872-877. doi: 10.1104/pp.017004
22. **Hauggaard-Nielsen H, Ambus P, Jensen ES. 2001.** Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crops Res* 70: 101-109. doi: 10.1016/S0378-4290(01)00126-5
23. **IBM. 2012.** SPSS Statistics 21 Brief Guide. USA: IBM Corporation. 170 p.
24. **Javanmard A, Shekari F, Dehghanian H. 2014.** Evaluation of forage yield and competition indices for intercropped barley and legumes. *Int J Agric Biol Eng* 8: 193-196.
25. **Kim TS, Raveendar S, Suresh S, Lee GA, Lee JR, Cho JH, Lee SY, et al. 2015.** Transcriptome analysis of two *Vicia sativa* subspecies: mining molecular markers to enhance genomic resources for vetch improvement. *Genes* 6: 1164-1182. doi: 10.3390/genes6041164
26. **Knudsen MT, Hauggaard-Nielsen H, Jørnsgård B, Jensen ES. 2004.** Comparison of interspecific competition and N use in pea-barley, faba bean-barley and lupin-barley intercrops grown at two temperate locations. *Eur J Agron* 142: 617-627. doi: 10.1017/S0021859-604004745
27. **Lithourgidis AS, Dhima KV, Vasilakoglou IB, Dordas CA, Yiakoulaki MD. 2007.** Sustainable production of barley and wheat by intercropping common vetch. *Agron Sustain Dev* 27: 95-99. doi: 10.1051/agro:2006033
28. **Lithourgidis AS, Vasilakoglou I, Dhima KV, Dordas CA, Yiakoulaki MD. 2006.** Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Res* 99: 106-113. doi: 10.1016/j.fcr.2006.03.008
29. **Mertens DR. 2002.** Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *JAOAC Int* 85: 1217-1240.
30. **Nathan M, Sun Y. 2006.** Methods for plant analysis. A guide for conducting plant analysis in Missouri. USA: University of Missouri-Columbia. 19 p.
31. **Rahetlah VB, Randrianaivoarivony JM, Razafimpamoah LH, Ramalanjaona VL. 2010.** Effects of seeding rates on forage yield and quality of oat (*Avena sativa* L) vetch (*Vicia sativa* L) mixtures under irrigated conditions of Madagascar. *Afr J Food Agric Nutr Dev* 10: 4254-4267.
32. **Ross SM, King JR, Donovan JT, Spaner D. 2004.** Intercropping berseem clover with barley and oat cultivars for

- forage. *Agron J* 96: 1719-1729. doi: 10.2134/agronj2004.1719
33. **Sekamatte BM, Ogenga-Latigo M, Russell-Smith A. 2003.** Effects of maize-legume intercrops on termite damage to maize, activity of predatory ants and maize yields in Uganda. *Crop Prot* 22: 87-93. doi: 10.1016/S0261-2194(02)00115-1
34. **Steel RGD, Torrie JH. 1996.** *Bioestadística: principios y procedimientos*. 2ª ed. Mexico: McGraw-Hill. 640 p.
35. **Tuna C, Orak A. 2007.** The role of intercropping on yield potential of common vetch (*Vicia sativa* L) / oat (*Avena sativa* L) cultivated in pure stand and mixtures. *J Agric Biol Sci* 2: 14-19.
36. **Wahla IH, Ahmad R, Ehsanullah A, Jabbar A. 2009.** Competitive functions of components crops in some barley based intercropping systems. *Int J Agric Biol* 11: 69-72. doi: 11(1):1560-853011
37. **Weigelt A, Jolliffe P. 2003.** Indices of plant competition. *J Ecology* 91: 707-720. doi: 10.1046/j.1365-2745.2003.00805.x
38. **Yilmaz S, Ali Özel A, Atak M, Erayman M. 2015.** Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the Eastern Mediterranean. *Turk J Agric For* 39: 135-143. doi: 10.3906/tar-1406-155
39. **Yilmaz S, Atak M, Erayman M. 2008.** Identification of advantages of maize-legume intercropping over solitary cropping through competition indices in the East Mediterranean Region. *Turk J Agric For* 32: 111-119.
40. **Zhang G, Yang Z, Dong S. 2011.** Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. *Field Crops Res* 124: 66-73. doi: 10.1016/j.fcr.2011.06.006