


Rendimiento de la planta de frijol caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] y calidad nutricional en los sistemas de cultivo intercalado de frijol caupí y sorgo



Muhammad Aamir Iqbal ^a

Asif Iqbal ^b

Zahoor Ahmad ^c

Ali Raza ^d

Junaid Rahim ^e

Muhammad Imran ^e

Umer Ayyaz Aslam Sheikh ^e

Qaiser Maqsood ^f

Walid Soufan ^g

Nesma M.A. Sahloul ^h

Sobhy Sorour ^h

Ayman El Sabagh ^h

^a University of Poonch Rawalakot (AJK). Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Pakistan.

^b University of Agriculture Faisalabad, Department of Agronomy, Pakistan.

^c University of Central Punjab, Bahawalpur Campus, Department of Botany, Pakistan.

^d Fujian Agriculture and Forestry University, Fujian Provincial Key Laboratory of Crop Molecular and Cell Biology, China.

^e University of Poonch Rawalakot (AJK). Faculty of Agriculture, Department of Entomology, Pakistan.

^f Government College University Faisalabad, Layyah University, Department of Botany, Pakistan.

^g King Saud University. Plant Production Department, Saudi Arabia.

^h Kafrelsheikh University. Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Egypt.

*Autor de correspondencia: muhammadaamir@upr.edu.pk

Resumen:

En los sistemas tradicionales de cultivo intercalado de frijol caupí y sorgo en franjas y filas, el rendimiento de forraje del frijol caupí se reduce significativamente debido a la intensa competencia y al dominio del sorgo en la adquisición de recursos para el cultivo. Este estudio de campo evaluó novedosos sistemas de cultivo intercalado en franjas mixtas de frijol caupí forrajero y sorgo con diferente número de filas de cultivo en diferentes disposiciones espaciales. El frijol caupí se intercaló con el sorgo en franjas de 8, 12 y 16 filas con un espaciamiento de 30, 45 y 60 cm entre las filas. En cada franja se mantuvo igual número de filas de frijol caupí y sorgo. Para la ejecución de los ensayos de campo durante las temporadas de verano de 2013 y 2014 se utilizó un diseño factorial en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Las franjas con 12 filas y un espaciamiento de 60 cm entre las filas afectaron positivamente a todas las variables agronómicas del frijol caupí que condujeron al máximo rendimiento forrajero (22.2 y 23.7 t/ha en 2013 y 2014, respectivamente) y de biomasa de materia seca (6.63 y 6.94 t/ha en 2013 y 2014, respectivamente). En cambio, las franjas de 8 filas con un espaciamiento de 30 cm superaron a otros sistemas de cultivo intercalado al obtener el rendimiento máximo de hierba y de biomasa de materia seca del sorgo. El sistema de cultivo intercalado compuesto por franjas de 12 filas con un espaciamiento de 60 cm entre las filas siguió siendo superior, al registrar el contenido máximo de proteína bruta, grasas y cenizas junto con el mínimo contenido de fibra de frijol caupí. Además, este sistema de cultivo intercalado bajo el resto de las disposiciones espaciales también permaneció incomparable, mientras que las franjas de 16 filas bajo todas las geometrías de siembra permanecieron inferiores a otros sistemas de cultivo intercalado. Por lo tanto, el cultivo intercalado de frijol caupí con sorgo en franjas de 12 filas con un espaciado de 60 cm ofrece una solución biológicamente viable para mejorar la biomasa y la calidad del forraje del caupí en cultivo intercalado con sorgo.

Palabras clave: Nutrición animal, Esquemas de plantación, Cultivos intercalados en filas.

Recibido: 30/05/2018

Aceptado: 31/08/2020

Introducción

La seguridad alimentaria de una población en rápido crecimiento exige un aumento proporcional de la producción de leche y carne en todo el mundo^(1,2). Bajo un clima cambiante, la producción de forrajes con una calidad nutricional aceptable ocupa un lugar central para obtener una producción de leche de forma sostenible⁽³⁾. Aunque muchos cereales, incluido el sorgo, proporcionan un enorme tonelaje de biomasa, no son capaces de proporcionar una nutrición equilibrada a los animales lecheros^(4,5,6). En consecuencia, hay que suministrar suplementos proteicos caros, lo que hace que se reduzcan los beneficios económicos. Además, la población de rumiantes está aumentando en todo el mundo, por lo que es necesario producir durante todo el año grandes cantidades de forraje nutritivo y más barato^(7,8). Así, el cultivo intercalado de cereales con leguminosas podría conducir a lograr el doble propósito de obtener mayores cantidades de forraje con una mejor calidad nutricional.

Los cultivos intercalados en filas, mixtos y en franjas de cereales con leguminosas se practican desde hace mucho tiempo^(9,10). El cultivo intercalado de leguminosas forrajeras con cereales diversificó los recursos de la explotación, preservó y restauró la fertilidad del suelo y mejoró la eficiencia de los recursos edáficos y ambientales^(11,12). Sin embargo, hay que considerar seriamente la elección de los cultivos intercalados de leguminosas con respecto a su compatibilidad en la utilización de los recursos en las dimensiones espacial y temporal. Entre los cultivos intercalados de leguminosas, el frijol caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] podría ser una buena opción por tener potencial para producir una cantidad considerablemente mayor de forraje nutritivo en cultivos intercalados con sorgo^(13,14,15). Además, el frijol caupí tiene potencial para tolerar la sombra y soportar una sequía moderada, así como para fijar el nitrógeno atmosférico, lo que favorece su utilización como cultivo intercalado con los cereales^(16,17).

Sin embargo, el cultivo intercalado de frijol caupí sufrió pérdidas en el rendimiento forrajero y en la calidad nutricional debido al dominio de los cereales en la adquisición de recursos de cultivo^(18,19). De este modo, el tipo de cultivo intercalado resulta fundamental para lograr la ventaja agregada del cultivo intercalado de frijol caupí con cereales forrajeros⁽²⁰⁾. Por lo tanto, en los sistemas de cultivo intercalado de sorgo y frijol caupí, el verdadero reto consiste en evitar la drástica reducción del rendimiento y la calidad del caupí forrajero. Varios estudios han informado de resultados contrastados sobre la eficacia del sistema de cultivo intercalado en franjas en el que se mantienen franjas separadas de los cultivos que lo integran^(8,21,22). Sin embargo, existen pocas investigaciones de campo sobre el sistema de cultivo intercalado en franjas mixtas que implique filas de cultivos componentes en una misma franja. Además, la disposición espacial de los cultivos componentes también determinó la complementariedad y la competencia en los sistemas de cultivo intercalado de cereales y leguminosas^(2,14). Sin embargo, hay que optimizar la disposición espacial con respecto al tipo de cultivo intercalado, especialmente para potenciar la productividad de las legumbres.

Por lo tanto, se planteó la hipótesis de que la optimización de los sistemas de cultivo intercalado en franjas y las disposiciones espaciales podrían conducir a un mejor rendimiento y valor nutricional del forraje de caupí. El presente estudio tuvo como objetivo principal investigar la influencia de los cultivos intercalados en franjas mixtas (franjas con filas de caupí y sorgo en la misma franja) y las geometrías de plantación en el rendimiento de forraje del frijol caupí sembrado con sorgo forrajero. Además, otro objetivo fue probar los rasgos agro-cualitativos del caupí forrajero debidos a la influencia de los distintos sistemas de cultivo intercalado en franjas, así como de la disposición espacial.

Material y métodos

Descripción del sitio experimental

Para evaluar el impacto de los cultivos intercalados en franjas mixtas y las geometrías de siembra en la productividad de los cultivos intercalados de caupí, se realizó un experimento de campo durante los meses de verano de 2013 y 2014 en el área de investigación de la Universidad de Agricultura de Faisalabad (30.35-41.47° N y 72.08-73.40° E) situada a una altura de 184 m⁽¹⁴⁾. El clima de la zona experimental es semiárido según Köppen, mientras que el suelo del sitio experimental se cataloga como yermosoles háplicos según el sistema de clasificación de suelos de la FAO. Los datos meteorológicos de las temporadas de cultivo del frijol caupí se obtuvieron del centro meteorológico situado más cerca (aproximadamente 1 km) de los campos de investigación (Cuadro 1).

Cuadro 1: Datos meteorológicos de las temporadas de cultivo del frijol caupí en 2013 y 2014 junto con los valores medios de 10 años (M10A)

Mes	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)			Humedad relativa (%)		
	2013	2014	M10A	2013	2014	M10A	2013	2014	M10A
Junio	40.3	41.5	40.1	44	40	40	60	64	59
Julio	39.5	38.6	41.0	106	102	101	65	72	62
Agosto	35.0	37.8	34.7	77	68	72	58	69	65
Media/Total	38.2	39.3	38.6	227	210	213	61.0	68.3	65.3

Tratamientos experimentales y diseño

El frijol caupí y el sorgo se sembraron utilizando diferentes sistemas de cultivo intercalado en franjas y en tres disposiciones espaciales, como sigue: T₁A₁= franjas de 8 filas (caupí-sorgo en filas de 4 x 4 en las mismas franjas) con una separación de 30 cm entre las filas, T₁A₂= franjas de 8 filas (caupí-sorgo en filas de 4 x 4 en la misma franja) con una separación de 45 cm entre las filas, T₁A₃= franjas de 8 filas (caupí-sorgo en filas de 4 x 4 en la misma franja) con una separación de 60 cm entre las filas, T₂A₁= franjas de 12 filas (caupí-sorgo en filas de 6 x 6 en la misma franja) con una separación de 30 cm entre las filas, T₂A₂= franjas de 12 filas (caupí-sorgo en filas de 6 x 6 en la misma franja) con una separación de 45 cm entre las filas, T₂A₃= franjas de 12 filas (caupí-sorgo en filas de 6 x 6 en la misma tira) con una separación de 60 cm entre las filas, T₃A₁= franjas de 16 filas (caupí-sorgo en filas de 8 x 8 en la misma franja) con una separación de 30 cm entre las filas, T₃A₂= franjas de 16 filas (caupí-sorgo en filas de 8 x 8 en la misma franja) con una separación de 45 cm entre las filas, T₃A₃= Franjas de 16 filas (caupí-sorgo en filas de 8 x 8 en la misma franja) con una separación de 60 cm entre las filas.

De este modo, se probaron un total de 9 combinaciones de tratamiento en disposición factorial de diseño de bloques completos aleatorios (DCA) con tres repeticiones. La distancia franja × franja para todos los sistemas de cultivo intercalado se mantuvo en 70 cm. Las filas de caupí eran adyacentes a las filas de sorgo en las franjas siguientes. No se tuvo en cuenta la distancia entre plantas. En total, hubo 27 parcelas experimentales que se mantuvieron en forma homogénea para probar los tratamientos propuestos.

Plan de procedimiento agronómico

Para formular el plan de gestión de la fertilidad del suelo, se realizaron análisis físico-químicos previos a la siembra a partir de muestras de suelo recogidas a 15 y 30 cm de profundidad (Cuadro 2). La preparación del lecho de siembra se inició con un riego de 12 cm previo a la siembra y la tierra se aró con tractor en tres ocasiones y se planchó después de cada una. Se intercaló frijol caupí (cv. P-51840 a kg/ha) y sorgo (cv. Hegari a 80 kg/ha) en filas separadas por una distancia de 30 cm, utilizando un taladro manual. La dosis recomendada de nitrógeno (50 kg/ha) (urea) se aplicó en dos partes (una en el momento de la siembra, y la otra, con el primer riego 12 días después de la siembra) mientras que el fósforo total (superfosfato simple) (40 kg/ha) se aplicó como dosis basal. Se aplicaron tres riegos de inundación, 12, 33 y 50 días después de la siembra. La escarda manual se realizó tres veces (12, 22 y 32 días después de la siembra) para mantener a raya la infestación de malas hierbas. Los cultivos intermedios de frijol caupí se cosecharon con una hoz manual en plena floración.

Cuadro 2: Análisis físico-químico previo a la siembra del suelo experimental en 2013 y 2014

Características del suelo	2013	2014
Análisis mecánico:		
Arena, %	57.0	54.5
Limo, %	17.5	19.3
Arcilla, %	25.5	26.2
Clase de textura	Franco arcilloso arenoso	Franco arcilloso arenoso
Análisis químico:		
pH	7.9	7.6
CE, dS/m	1.68	1.64
Materia orgánica, %	0.75	0.78
Nitrógeno disponible, ppm	6.1	6.4
Fósforo disponible, ppm	0.96	0.91
Potasio disponible, ppm	117	112

Registro de datos

Todos los atributos agronómicos del frijol caupí se registraron en el momento de la cosecha siguiendo los métodos prescritos. Se cosecharon diez plantas de las filas centrales de cada réplica y luego se calculó su promedio. La altura de la planta se registró con la ayuda de una cinta métrica de sastre desde la base de la planta hasta la punta de la hoja más alta. La circunferencia del tallo se midió utilizando un calibre de vernier. Se utilizó una balanza eléctrica para precisar el peso fresco por planta, mientras que una balanza de resorte se utilizó para registrar el rendimiento de forraje verde por parcela, que luego se convirtió a toneladas por hectárea. Los atributos agro-cualitativos del caupí forrajero se determinaron utilizando las metodologías indicadas en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Procedimiento adoptado para medir los rasgos agro-cualitativos del caupí según lo sugerido por la AOAC (2003)

Atributos de calidad	Metodología
Proteína bruta	Método Macro-KJeldahl y, posteriormente, multiplicar el porcentaje de nitrógeno por una constante de 6.25
Fibra bruta	Método de digestión de H ₂ SO ₄ y NaOH
Grasa extraíble con éter	Método de extracción Soxhlet
Total de cenizas	Cenizas calentadas a 600 °C en horno de mufla

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos de los datos registrados se realizaron mediante el empleo del análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el programa estadístico “Statistix 8.1”. Las medias se agruparon para realizar contrastes ortogonales sobre la base de lo siguiente: (a) sistema de intercultivo vs. año, (b) disposición espacial vs. año, (c) sistema de intercultivo vs. disposición espacial y (d) sistema de intercultivo vs. disposición espacial vs. año a un nivel de probabilidad del 5%. Los datos también se sometieron a un análisis de correlación para determinar la relación (lineal o inversa) entre los atributos de rendimiento y el rendimiento forrajero del caupí.

Resultados y discusión

Altura de la planta y diámetro del tallo

Las variables agronómicas del caupí forrajero mejoraron significativamente en 2014, probablemente debido a las mayores precipitaciones y a las temperaturas moderadas en comparación con 2013. El efecto interactivo de los sistemas de cultivo intercalado en franjas y las disposiciones espaciales fue significativo para la altura de la planta de caupí (189** y 203** en 2013 y 2014, respectivamente) y la circunferencia del tallo (88* y 98** en 2013 y 2014, respectivamente) (Cuadro 4). Las plantas de caupí más altas (110.3 ± 0.57 y 117.9 ± 0.83 cm en 2013 y 2014, respectivamente) con mayor circunferencia del tallo (2.87 ± 0.67 y 2.94 ± 0.69 cm en 2013 y 2014, respectivamente) se registraron en el caupí sembrado en franjas de 12 filas espaciadas a 60 cm (T₂A₃), mientras que las franjas de 16 filas espaciadas a 45 cm (T₃A₂) dieron como resultado la menor altura de planta (78.0 ± 0.38 y 83.1 ± 0.82 cm en 2013 y 2014, respectivamente), así como la menor circunferencia del tallo (2.32 ± 0.81 y 2.53 ± 0.41 cm en 2013 y 2014, respectivamente) (Cuadro 5). El análisis de correlación reveló que había una correlación lineal entre la altura de la planta y la circunferencia del tallo del caupí, como se muestra en la Figura 1. Estos resultados coinciden totalmente con los de otro estudio⁽²³⁾ en el que la altura de la planta de leguminosas y el diámetro del tallo se vieron influidos por las geometrías de siembra de los sistemas de cultivo intercalado de cereales y leguminosas. El cultivo simultáneo de los componentes de los sistemas de cultivo intercalado en filas y mixto intensificó la competencia entre especies por los recursos aplicados a la explotación, lo que provocó una reducción de la altura de las plantas y del perímetro del tallo de las leguminosas en comparación con sus monocultivos. Pero cuando el frijol caupí se sembró en franjas de 12 filas (caupí-sorgo en filas de 6 x 6), puede haber disminuido el dominio del sorgo en la adquisición de recursos para el crecimiento. La variación de la longitud de las raíces del caupí y del sorgo podría atribuirse a la reducción de la competencia por los recursos para el crecimiento, que se vio reforzada por un mayor espaciamiento de las franjas⁽²⁴⁾.

Número de hojas y relación hoja/tallo

Los sistemas de cultivo intercalado y las disposiciones espaciales tuvieron un efecto interactivo significativo sobre el número de hojas (93* y 112* en 2013 y 2014, respectivamente) y sobre la relación hoja/tallo (83* y 96* en 2013 y 2014, respectivamente) (Cuadro 4). El cultivo intercalado de sorgo y frijol caupí en franjas de 12 filas espaciadas a 60 cm (T₂A₃) dio lugar a un mayor número de hojas por planta (29.1 ± 0.57 y 29.9 ± 0.31 en 2013 y 2014, respectivamente) y a una mayor relación hoja/tallo (0.59 ± 0.19 y 0.69 ± 0.21 en 2013 y 2014, respectivamente) (Cuadro 5). Estos resultados corroboran los hallazgos de otros estudios^(2,3,25), en los que se concluyó que las filas de leguminosas estrechamente espaciadas registraron el menor número de hojas y la menor relación hoja/tallo a pesar de que se exploraron diversos horizontes del suelo para la absorción de humedad y nutrientes por parte del sorgo y las leguminosas; aun así, la competencia intraespecífica fue lo suficientemente severa como para reducir drásticamente el crecimiento de los cultivos intercalados de leguminosas. Además, el efecto de sombreado producido por el sorgo también resultó ser un factor importante en la reducción de la fotosíntesis de las plantas de leguminosas, particularmente en las filas adyacentes al sorgo, lo que conduce a que haya un menor número de hojas por planta.

Peso fresco y seco de las plantas, rendimiento de forraje verde y biomasa de materia seca

El sistema de cultivo intercalado y las disposiciones espaciales también tuvieron un efecto interactivo significativo en el peso fresco (274** y 297** en 2013 y 2014, respectivamente), el peso seco (187** y 257** en 2013 y 2014, respectivamente) y el rendimiento de forraje verde (266** y 287** en 2013 y 2014, respectivamente), así como en el rendimiento de materia seca (134** y 120** en 2013 y 2014, respectivamente). El mayor peso fresco (188.6 ± 0.67 y 190.5 ± 0.61 g en 2013 y 2014, respectivamente) y el mayor peso seco (59.1 ± 0.67 y 66.3 ± 1.19 g en 2013 y 2014, respectivamente) por planta (Cuadro 5) se obtuvieron con el cultivo en franjas de 12 filas espaciadas a 60 cm (T₂A₃). El análisis de correlación mostró una relación lineal para los pesos fresco y seco por planta con los rendimientos de forraje verde y de materia seca (Figura 1). El mismo sistema de cultivo intercalado (T₂A₃) fue fundamental para obtener el máximo rendimiento de forraje verde (22.2 ± 0.28 y 23.7 ± 0.34 t/ha en 2013 y 2014, respectivamente) y de biomasa de materia seca (6.63 ± 0.26 y 6.94 ± 0.19 t/ha en 2013 y 2014, respectivamente) de caupí forrajero (Cuadro 6), cuando se utilizó seguido de la siembra en franjas de 12 filas con una separación de 45 cm (T₂A₁). En cambio, el cultivo en franjas de 8 filas de sorgo y frijol con una separación de 30 cm entre las filas (T₂A₁) siguió siendo superior en lo que respecta a la biomasa de forraje verde y al rendimiento de materia seca de sorgo. Le siguió el mismo sistema de cultivo intercalado con una separación de 45 cm entre las filas, mientras que el sistema de cultivo intercalado de sorgo y frijol compuesto por franjas de 16 filas con una separación de 60 cm entre las filas (T₃A₃) permaneció inferior al resto de los sistemas

de cultivo intercalado y a las disposiciones espaciales (Cuadro 6). El sistema de cultivo intercalado T₂A₃ dio lugar a atributos agronómicos superiores, como la altura de la planta, la circunferencia del tallo y el peso fresco y seco por planta, por lo que mejoró la biomasa de forraje verde y el rendimiento de materia seca. Esto coincide con los hallazgos de otros autores^(22,26), quienes dedujeron que la productividad del caupí en sistemas de cultivo intercalado de espaciado estrecho (30 y 45 cm) seguía siendo inferior a la del caupí en solitario a pesar de desarrollar una buena nodulación y una fijación biológica del nitrógeno (FBN) plenamente funcional. Otros investigadores también han comunicado resultados similares^(10,27), según los cuales el caupí siguió teniendo una menor captación de nutrientes y humedad que los cereales. Además, los cultivos intercalados de leguminosas sufrieron pérdidas de productividad debido a su dependencia de la solución de suelos para la captación de nitrógeno antes del inicio de la BNF después de 27-35 d de la siembra. Asimismo, en los sistemas de cultivo intercalado en franjas, las filas de frijol caupí adyacentes al sorgo se enfrentaron a una menor competencia por los recursos de crecimiento al explotar diversos horizontes del suelo, pero tuvieron que enfrentarse al efecto de sombreado producido por las plantas de sorgo más altas. Del mismo modo, las filas interiores de caupí se enfrentaron a un menor efecto de sombreado, pero la competencia por los recursos de crecimiento se intensificó debido a que tenían la misma longitud de raíz, lo que condujo a un menor rendimiento de hierba⁽²⁸⁾.

Contenido de proteína bruta y fibra bruta

Todos los rasgos de calidad se vieron influidos significativamente por los sistemas de cultivo intercalado y las disposiciones espaciales, incluyendo la proteína bruta (120** y 135** en 2013 y 2014, respectivamente), la fibra bruta (142* y 169** en 2013 y 2014, respectivamente), la grasa extraíble por éter (200** y 225* en 2013 y 2014, respectivamente) y la ceniza total (101* y 109* en 2013 y 2014, respectivamente) (Cuadro 4).

El contenido de proteínas ocupa una posición vital en la determinación de la calidad nutricional del forraje, mientras que los agrónomos y los nutricionistas de animales recomiendan forrajes ricos en proteínas para aumentar el rendimiento de los animales lecheros. El cultivo intercalado de frijol caupí y sorgo en franjas de 12 filas espaciadas a 60 cm (T₂A₃) mejoró efectivamente la proteína bruta (19.9 ± 0.21 y 19.6 ± 0.37 en 2013 y 2014, respectivamente) del forraje de caupí con el menor contenido de fibra bruta (26.1 ± 0.51 y 26.0 ± 0.90 en 2013 and 2014, respectivamente) (Cuadro 6). Le siguieron las franjas de 12 filas con una separación de 45 cm (T₂A₁), mientras que las franjas de 16 filas tuvieron un rendimiento inferior en todas las disposiciones espaciales. Las investigaciones anteriores^(1,14) coinciden con estos resultados, puesto que informaron que se podía lograr una mejora sustancial de la proteína bruta de los forrajes mixtos mediante el cultivo intercalado de frijol caupí con forrajes de cereales con una disposición espacial optimizada. Se sugirió que el tipo de cultivo intercalado podría influir en el nitrógeno fijado por el caupí; esto se podría atribuir a la mejora del

contenido de proteína bruta y a la reducción de la fibra, ya que existía una correlación lineal entre el nitrógeno absorbido y el contenido de proteína. Los tipos de cultivo intercalado y las geometrías de siembra utilizados en nuestra investigación también han mejorado la eficacia de los nutrientes aplicados, lo que ha influido significativamente en el contenido de proteína y fibra bruta de los forrajes^(14,29).

Contenido de grasa extraíble con éter y contenido total de cenizas

Las grasas son un atributo de calidad esencial de los forrajes, ya que producen mayores cantidades de energía durante el metabolismo que las proteínas. Del mismo modo, los componentes minerales de los forrajes necesarios para realizar diversos procesos metabólicos se miden como cenizas. El sistema de cultivo intercalado (T₂A₃) dio como resultado el máximo contenido de grasa (1.91 ± 0.17 y 1.95 ± 0.29 % en 2013 y 2014, respectivamente) y de cenizas totales (11.78 ± 0.16 y 11.7 ± 0.21 % en 2013 y 2014, respectivamente) (Cuadro 6). Las franjas de 16 filas registraron los contenidos mínimos de grasa y cenizas independientemente de la disposición espacial. Las franjas con 8 filas en todas las geometrías de siembra se comportaron mejor en términos de calidad del forraje que las franjas de 16 filas, pero quedaron por debajo del caupí sembrado con sorgo forrajero en franjas de 12 filas. Estos resultados también coinciden con un estudio realizado anteriormente⁽³⁰⁾, que reveló que se podía obtener un rendimiento de hierba considerablemente mayor con atributos de calidad mejorados optimizando el tipo de cultivo intercalado y la disposición espacial de los cultivos componentes.

Conclusiones e implicaciones

Este estudio informa sobre nuevos sistemas de cultivo intercalado en franjas mixtas para controlar la drástica reducción del rendimiento forrajero del caupí en el cultivo intercalado con el sorgo forrajero. En cuanto al rendimiento de forraje verde y a los rasgos agrocalitativos del caupí, se pudo deducir que las franjas de 12 filas (frijol caupí-sorgo en filas de 6x6) (T₁A₂) resultaron inigualables, sobre todo cuando la distancia entre las filas se mantuvo en 60 cm. Además, se observó un mejor crecimiento del frijol caupí en las filas adyacentes a las de sorgo en las franjas posteriores, en comparación con las filas de caupí adyacentes a las de sorgo en la misma franja. Las franjas de 16 filas, independientemente de la geometría de siembra, no pudieron estar a la altura de las demás franjas, probablemente debido a la mayor competencia intraespecífica por los recursos de crecimiento. Sin embargo, en virtud de estos resultados alentadores se requieren más investigaciones de campo sobre el cultivo mixto en franjas de cereales forrajeros y leguminosas para aumentar el rendimiento de las leguminosas en diversas condiciones agroclimáticas y agroecológicas.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo a la investigación bajo el número de Proyecto de Apoyo a investigadores RSP/2021/390, de la Universidad King Saud, Riad, Arabia Saudita. Además, también se agradece el apoyo de la Comisión de Educación Superior de Pakistán en el marco de la beca indígena (2AV1-215).

Literatura citada:

1. Addo QA, Darkwa A, Ocloo GK. Growth analysis of component crops in a maize-soybean intercropping system as affected by time of planting and spatial arrangement. *ARPN J Agric Biol Sci* 2011;(6):34-44.
2. Iqbal MA, Brandon JB, Asif I, Rana NA, Zubair A, Haroon ZK, Bilal A. Agrobotanical response of forage sorghum-soybean intercropping systems under atypical spatio-temporal pattern. *Pak J Bot* 2017;(49):987-994.
3. Iqbal MA, Iqbal A, Akbar N, Khan HZ, Abbas RN. A study on feed stuffs role in enhancing the productivity of milch animals in Pakistan- Existing scenario and future prospect. *Global Vet* 2015;(14):23-33.
4. Iqbal MA, Iqbal A, Ali K, Khan RD, Ahmad B, Raza A, Nabeel F. Integration of forage sorghum and by-products of sugarcane and sugar beet industries for ruminant nutrition: A Review. *Global Vet* 2015a;(14):752-760.
5. Motha NK, De R. Intercropping maize and soybean. *J Agric Sci* 2009;(95):117-122.
6. Omari RE, Nhiri M. Adaptive response to salt stress in sorghum (*Sorghum bicolor*). *Am-Eur J Agric Environ Sci* 2015;(15):1351-1360.
7. Iqbal MA. Agronomic management strategies elevate forage sorghum yield: A Review. *J Adv Bot Zoo* 2015;(3):1-6.
8. Rudra SG, Shruti S, Jha SK, Rajeev K. Physico-chemical and functional properties of cowpea protein isolates affected by the dehydration technique. *Leg Res* 2016;(39):370-378.
9. Mucheru MM, Pypers P, Mugendi D, Kungu J, Mugwe J, Merckx R, Vanlauwe B. A staggered maize-legume intercrop arrangement robustly increases crop yields and economic returns in the highlands of Central Kenya. *Field Crops Res* 2010;(115):132-139.
10. Crusciol CAC, Mateus GP, Nascente AS, Martins PO, Borghi E, Pariz CM. An innovative crop-forage intercrop system: early cycle soybean cultivars and palisade grass. *Agron J* 2012;(104):1085-1095.

11. Sanchez DGR, Silva JET, Gil AP, Corona JSS, Wong JAC, Mascorro AG. Forage yield and quality of intercropped corn and soybean in narrow strips. *Span J Agric Res* 2010;(8):713-721.
12. Tracy BF, Zhang Y. Soil compaction, corn yield response, and soil nutrient pool dynamics within an integrated crop-livestock system in Illinois. *Crop Sci* 2008;(48):1211-1218.
13. Iqbal MA, Iqbal A, Ali K, Khan RD, Ahmad B, Raza A, Nabeel F. Integration of forage sorghum and by-products of sugarcane and sugar beet industries for ruminant nutrition: A Review. *Global Vet* 2015;(14):752-760.
14. Iqbal MA, Iqbal A, Ayub M, Akhtar J. Comparative study on temporal and spatial complementarity and profitability of forage sorghum-soybean intercropping systems. *Cust Agroneg* 2016;(12):2-18.
15. Singh V, Singh P. Effect of intercropping of guar and cowpea with forage sorghum on yield and nutrient uptake during summer season. *Haryana J Agron* 2004;(20):97-98.
16. Yadav NS, Solanki. Effect of intercropping of forage legumes with pearl millet and sorghum in arid region. *For Res* 2002;28:77-79.
17. Oseni TO, Aliyu IG. Effect of row arrangements on sorghum-cowpea intercrops in the semi-arid savannah of Nigeria. *Int J Agric Biol* 2010;(12):137-140.
18. Singh A, Singh YV, Asheesh S, Amit V, Mithilesh KS, Surendra S. Genetic analysis of quantitative traits in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) walp.] using six parameters genetic model. *Leg Res* 2016;(39):502-509.
19. Keating BA, Carberry PS. Resource capture and use in intercropping: solar radiation. *Field Crops Res* 1993;(34):273-301.
20. Surve VH, Patil PR, Arvadia MK. Performance of fodder sorghum (*Sorghum bicolor* L.); maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) under sole and intercropping systems. *Madras Agric J* 2011;(98):372-374.
21. Ahmad AH, Ahmad R, Mahmood N. Production potential and quality of mixed sorghum forage under different intercropping systems and planting patterns. *Pak J Agric Sci* 2007;(44):87-93.
22. Langat MC, Okiror MA, Ouma JP, Gesimba RM. The effect of intercropping groundnut (*Arachis hypogea* L.) with sorghum (*Sorghum bicolor* L.) on yield and cash income. *Agric Trop Subtrop* 2006;(39):88-96.
23. Zhang FS, Li L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant Soil* 2003;(248):305-312.

24. Dapaah HK, Asafu-Agyei JN, Ennin SA, Yamoah C. Yield stability of cassava; maize; soya bean and cowpea intercrops. *J Agric Sci* 2003;(140):73-82.
25. Ibrahim M, Ayub M, Tanveer A, Yaseen M. Forage quality of maize and legumes as monocultures and mixtures at different seed ratios. *J Anim Plant Sci* 2012;(22):987-992.
26. Akhtar MF, Ahmad AUH, Zamir MSI, Khalid F, Mohsin AU, Afzal M. Agro-qualitative studies on forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) sown alone and in mixture with forage legumes. *Pak J Sci* 2013;(65):179-185.
27. Patel JR, Rajagopal S. Production potential of forage maize (*Zea mays*) with legumes under intercropping system. *Indian J Agron* 2001;(46):211-215.
28. Sharma NK, Misra OR, Khushwaha SS, Pachilanya NK. Response of sorghum based intercropping system to chemical fertilizers; FYM and crop residues. *Res Crops* 2000;(1):289-291.
29. Iqbal MA, Siddiqui MH, Sher A, Zahoor A, Qaiser M, Rana DK. Forage productivity of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] cultivars improve by optimization of spatial arrangements. *Rev Mex Cienc Pecu* 2018;(9):203-219.
30. Hakan G, Avcioglu R, Soya H, Kir B. Intercropping of corn with cowpea and bean: Biomass yield and silage quality. *Afr J Biotechnol* 2008;(22):4100-4104

Cuadro 4: Análisis de varianza (ANOVA) de todas las variables experimentales estudiadas del frijol caupí sembrado junto con sorgo en distintas disposiciones espaciales en 2013 y 2014

OdV	Altura de las plantas (cm)		Circunferencia del tallo (cm)		Hojas por planta		Relación hoja-tallo		Peso fresco por planta (g)		Peso seco por planta (g)		Rendimiento del forraje verde de caupí (t/ha)	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
T	213**	288**	73*	85*	109*	100*	74*	89*	287**	234**	166**	183**	244**	280**
DE	134**	111**	66*	71*	81*	123*	33*	57*	132**	141**	211**	137**	112*	89*
T×DE	189**	203**	88*	98**	93*	112*	83*	96*	274**	297**	187**	257**	266**	287**
OdV	RMS de frijol caupí (t/ha)		RFV de Sorgo (t/ha)		RMS de Sorgo (t/ha)		Proteína bruta (%)		Fibra bruta (%)		Grasa extraíble con éter (%)		Contenido total de cenizas (%)	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
T	123**	116**	97	110**	88*	104**	91**	109**	237**	250**	233**	240*	134*	103*
DE	91*	75*	132	103*	145*	74*	51*	74*	88*	122**	75*	111*	90*	87*
T×DE	134**	120**	114	139*	137*	92*	120***	135**	142*	169**	200**	225*	101*	109*
T×A=NS														
				DE×A=NS										
								T×DE×A=NS						

OdV= origen de la varianza; T= Tipo de cultivo intercalado en franjas, DE= Disposición del espacio, A=Año. *($P<0.05$) ** ($P<0.01$).

Cuadro 5: Altura de la planta (AP), circunferencia del tallo (CT), número de hojas (NH), relación hoja/tallo (RHT), peso fresco (PF) y peso seco (PS) por planta de caupí sembrado con sorgo en diferentes tiempos de siembra y disposiciones espaciales

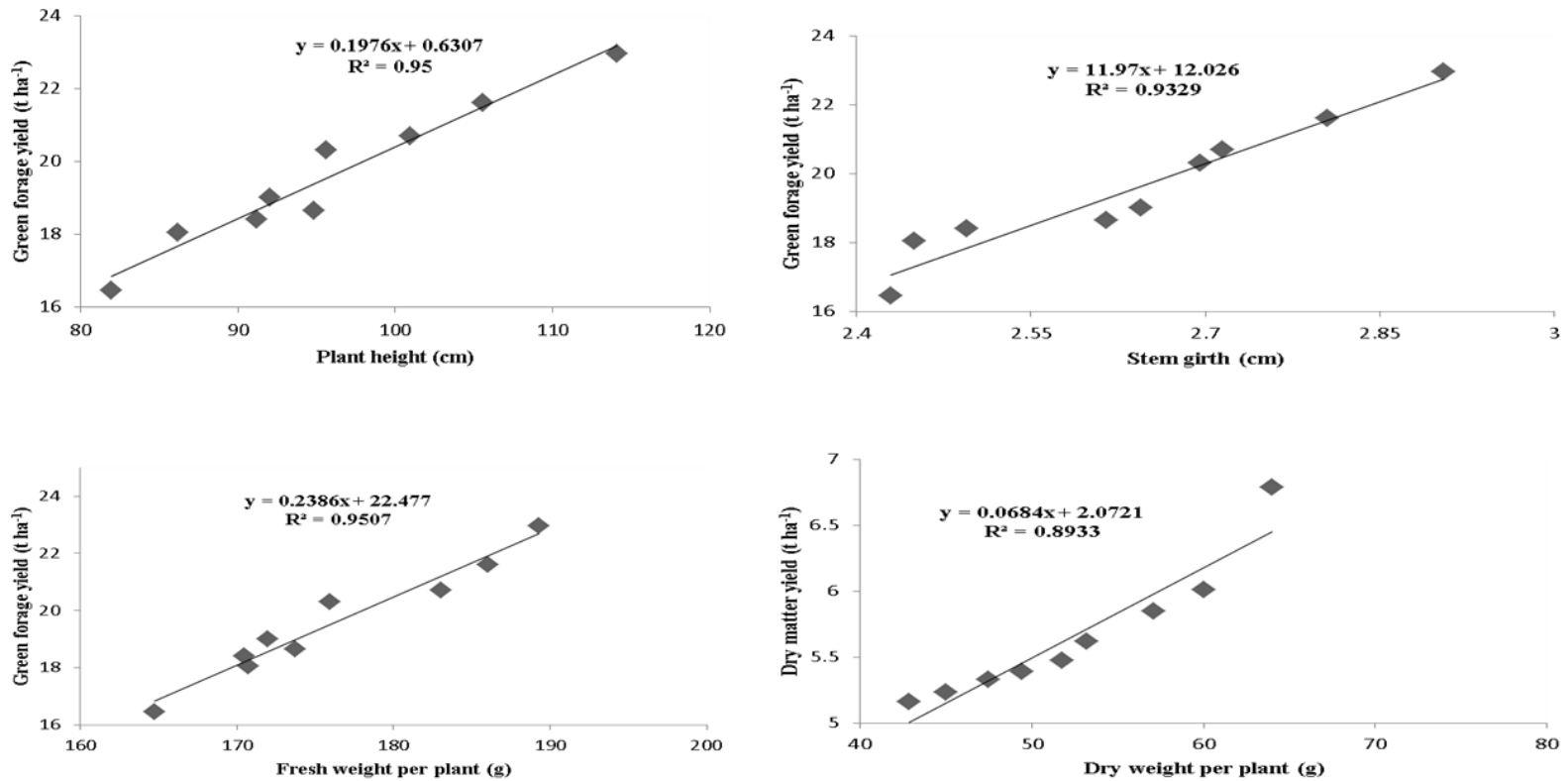
SCI	2013						2014					
	AP (cm)	CT (cm)	NH	RHT	PF (g)	PS (g)	AP (cm)	CT (cm)	NH	RHT	PF (g)	PS (g)
T ₁ A ₁	94.5±0.27 ^c	2.60±1.16 ^d	22.7±0.55 ^c d	0.50±0.18 ^b c	172.5±0.83 ^c d	50.8±0.21 ^c d	96.2±0.67 ^d	2.63±0.33 ^e	24.3±0.27 ^d	0.52±1.19 ^c	173.0±0.65 ^d	52.6±0.66 ^d e
T ₁ A ₂	90.7±0.64 ^{cd}	2.64±0.51 ^c d	21.2±0.67 ^d	0.44±0.27 ^d	170.1±0.67 ^d	48.4±0.37 ^d	94.7±0.51 ^{de}	2.67±0.57 ^d	23.0±0.53 ^d e	0.50±0.35 ^c d	173.9±0.25 ^d	50.8±1.15 ^e
T ₁ A ₃	94.3±0.37 ^c	2.68±0.94 ^c	24.0±0.34 ^c	0.52±0.30 ^b	174.5±0.31 ^c	52.3±0.25 ^c	97.2±0.28 ^d	2.71±1.17 ^c	26.5±0.49 ^c d	0.55±0.82 ^b c	177.0±0.37 ^c	54.1±0.96 ^d
T ₂ A ₁	102.7±0.29 ^b	2.74±0.56 ^b	28.9±0.67 ^a b	0.53±0.28 ^b	185.1±0.44 ^a b	58.5±0.50 ^a	108.4±0.19 ^b	2.87±0.94 ^b	29.0±0.72 ^b	0.57±0.93 ^b	186.2±0.24 ^b	61.4±0.67 ^b
T ₂ A ₂	100.0±0.33 ^b	2.70±0.42 ^b c	26.6±0.90 ^b	0.52±0.64 ^b	181.5±0.58 ^b	55.9±0.41 ^b	101.6±0.43 ^c	2.73±0.35 ^c	27.3±0.60 ^c	0.55±0.24 ^b c	184.6±0.51 ^b	58.3±0.29 ^c
T ₂ A ₃	110.3±0.57 ^a	2.87±0.67 ^a	29.1±0.57 ^a	0.59±0.19 ^a	188.6±0.67 ^a	59.1±0.67 ^a	117.9±0.83 ^a	2.94±0.69 ^a	29.9±0.31 ^a	0.69±0.21 ^a	190.5±0.61 ^a	66.3±1.19 ^a
T ₃ A ₁	83.5±0.41 ^d	2.35±0.31 ^e f	21.5±0.87 ^d	0.45±0.22 ^c d	169.9±0.29 ^d	44.9±0.59 ^e f	89.9±0.67 ^{ef}	2.58±0.52 ^g	22.5±0.29 ^e	0.48±0.17 ^d	171.2±0.20 ^d e	46.0±0.88 ^f g
T ₃ A ₂	78.0±0.38 ^e	2.32±0.81 ^f	18.8±0.66 ^e	0.41±0.37 ^e	164.2±0.21 ^e	41.7±0.32 ^f	83.1±0.82 ^f	2.53±0.41 ^h	21.9±0.40 ^f	0.45±0.29 ^e	165.3±0.19 ^f	43.8±0.60 ^g
T ₃ A ₃	91.1±0.24 ^{cd}	2.39±0.92 ^e	21.4±0.37 ^d	0.48±0.40 ^c	166.0±0.34 ^d e	46.2±0.19 ^e	92.4±0.97 ^e	2.60±0.60 ^g	24.4±0.69 ^d	0.51±0.33 ^c d	170.9±1.11 ^e	48.7±0.37 ^f
LSD _{0.05}	3.80	0.06	2.93	0.04	4.23	3.89	5.29	0.15	0.47	0.03	4.01	3.87

Los datos presentados aquí son la media de 3 réplicas. SCI= Sistema de cultivo intercalado, T₁= franjas de 8 filas (caupí+sorgo en filas de 4 x 4), T₂= franjas de 12 filas (caupí+sorgo en filas de 6 x 6), T₃= Franjas de 16 filas (caupí+sorgo en filas de 8 x 8).

A₁= franjas espaciadas a 30 cm, A₂= franjas espaciadas a 45 cm, A₃= franjas espaciadas a 60 cm.

^{abcdef} Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una misma columna difieren ($P < 0.05$); ± representa el aumento o disminución de la desviación estándar.

Figura 1: Análisis de correlación de los atributos de rendimiento con el rendimiento de forraje verde y el rendimiento de materia seca del frijol caupí (análisis combinado de los datos agrupados de 2013 y 2014)



Cuadro 6: Forraje verde (RVF), materia seca (RMS), proteína bruta (PB), fibra bruta (FC), grasa extraíble por éter (GEE) y contenido total de cenizas (CTC) del caupí sembrado junto con sorgo en diferentes épocas de siembra y disposiciones espaciales en 2013 y 2014

SCI	2013						2014					
	RVF (t/ha)	RMS (t/ha)	PB (%)	FB (%)	GEE (%)	CTC (%)	RVF (t/ha)	RMS (t/ha)	PB (%)	FB (%)	GEE (%)	CTC (%)
T ₁ A ₁	18.4±0.18 ^d	5.36±0.18 ^e	18.8±0.41 ^b _c	26.2±0.72 ^e	1.79±0.24 ^e _d	11.00±0.15 _d	18.8±0.58 ^d	5.59±0.16 _d	18.9±0.33 _c	26.0±0.98 ^d	1.82±0.18 ^c	11.33±0.11 ^c
T ₁ A ₂	17.7±0.53 ^e	5.29±0.37 ^e _f	18.6±0.22 ^c	26.9±0.15 ^c _d	1.76±0.17 ^d	11.07±0.37 _d	17.9±0.28 ^e	5.51±0.34 _d	18.8±0.92 _c	26.6±0.62 ^c	1.79±0.11 ^c _d	11.07±0.24 ^e
T ₁ A ₃	19.9±0.91 ^c	5.52±0.25 ^d	19.0±0.34 ^b	26.6±0.37 ^d	1.81±0.18 ^c	11.13±0.17 _c	20.7±0.67 ^c _d	5.72±0.84 _c	19.3±0.53 _b	25.4±0.37 ^e	1.84±0.23 ^c	11.39±0.15 ^b _c
T ₂ A ₁	21.0±1.23 ^b	5.93±0.53 ^b	19.6±0.55 ^a _b	26.1±0.51 ^e	1.86±0.29 ^b	11.29±0.28 _b	22.2±1.09 ^b	6.09±0.50 _b	19.4±0.20 _b	26.0±0.90 ^d	1.90±0.15 ^b	11.45±0.37 ^b
T ₂ A ₂	20.4±0.44 ^b _c	5.78±0.47 ^c	19.0±0.67 ^b	26.7±0.18 ^d	1.84±0.33 ^b _c	11.08±0.34 _d	21.0±0.77 ^c	5.91±0.77 _b	19.3±.37 ^b	26.7±1.17 ^c	1.87±0.26 ^b _c	11.23±0.38 ^d
T ₂ A ₃	22.2±0.28 ^a	6.63±0.26 ^a	19.9±0.21 ^a	25.9±0.91 ^f	1.91±0.17 ^a	11.78±0.16 _a	23.7±0.34 ^a	6.94±0.19 _a	19.6±0.37 _a	21.5±0.32 ^f	1.95±0.29 ^a	11.78±0.21 ^a
T ₃ A ₁	17.8±0.37 ^e	5.26±0.38 ^e _f	18.2±0.79 ^d	27.6±0.27 ^b	1.73±0.23 ^d _e	10.93±0.28 _e	18.5±0.59 ^d	5.29±0.61 _e	18.5±0.40 _d	27.3±0.67 ^b	1.75±0.20 ^d	11.05±0.16 ^e
T ₃ A ₂	16.1±0.41 ^f	5.16±0.82 ^f	18.1±0.62 ^d	27.9±0.67 ^a	1.70±0.29 ^e	10.55±0.27 _f	16.7±0.44 ^f	5.10±0.94 ^f	18.0±1.11 _e	27.8±0.85 ^a	1.71±0.10 ^e	10.58±0.44 ^f
T ₃ A ₃	17.2±0.30 ^{ef}	5.18±0.21 ^f	18.6±0.63 ^c	27.1±0.41 ^c	1.74±0.37 ^d _e	11.07±0.18 _d	17.8±0.69 ^e	5.48±0.26 _d	18.9±0.91 _c	27.1±0.71 ^b _c	1.79±0.17 ^c _d	11.46±0.27 ^b
LSD _{0.05}	1.38	0.19	0.40	0.33	0.05	0.13	1.08	0.21	0.20	0.36	0.04	0.10

Los datos presentados aquí son la media de 3 réplicas. SCI= Sistema de cultivo intercalado: T₁= franjas de 8 filas (frijol caupí+sorgo en filas de 4x4), T₂= franjas de 12 filas (frijol caupí+sorgo en filas de 6x6), T₃= franjas de 16 filas (frijol caupí+sorgo en filas de 8x8).

A₁= franjas espaciadas a 30 cm, A₂= franjas espaciadas a 45 cm, A₃=franjas espaciadas a 60 cm.

^{abcd} Los valores seguidos de letras diferentes dentro de una misma columna difieren ($P<0.05$); ± representa el aumento o disminución de la desviación estándar.