

Estudio sobre el impacto de la asociación de cultivos entre brócoli y haba en la fertilidad del suelo y la producción

The effects of intercropping broccoli and fava bean on soil fertility and crop production

M. Marcos-Pérez*, V. Sánchez-Navarro, R. Zornoza

Sustainable Use, Management and Reclamation of Soil and Water Research Group. ETSIA, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII 52, 30203, Cartagena, Murcia España.

*mariano.marcos@upct.es

Resumen

Este estudio tuvo como objetivos evaluar si diferentes patrones de cultivo asociado entre brócoli (*Brassica oleracea var italica*) y haba (*Vicia faba*), bajo manejo orgánico, y una reducción en un 30% de fertilización, pueden mejorar la producción y la fertilidad del suelo comparado con sus respectivos monocultivos. Tras tres ciclos de cultivo desarrollados en el campo de Cartagena, los sistemas asociados incrementaron significativamente el N total, P disponible y K intercambiable (0,13%, 39 mg·kg⁻¹ y 364 mg·kg⁻¹) comparado con el monocultivo de brócoli (0,11%, 11 mg·kg⁻¹ y 277 mg·kg⁻¹). La producción total fue significativamente mayor en los cultivos asociados, con un *Land Equivalent Ratio* (LER) > 1. Por tanto, la introducción de haba asociada al brócoli es una estrategia viable de agricultura más sostenible, con beneficios ambientales y ahorro económico en fertilizantes y agua.

Palabras clave: Agricultura sostenible; asociación cultivos; fertilidad del suelo; hortalizas; leguminosas.

Abstract

The aim of this study was to evaluate whether different broccoli (*Brassica oleracea var italica*) and fava bean (*Vicia faba*) intercropping patterns can improve crop yield and soil physicochemical properties under organic management in Murcia (Spain). After three crop cycles, intercropped systems significantly increased total N, available P, and exchangeable K (0.13%, 39 mg·kg⁻¹ and 364 mg·kg⁻¹) compared to the broccoli monoculture (0.11%, 11 mg·kg⁻¹ and 277 mg·kg⁻¹). Total production was significantly higher under the diversified systems, with land equivalent ratio (LER) > 1. Thus, introducing fava bean intercropped with broccoli is a viable strategy for more sustainable agriculture, offering environmental benefits and economic savings on fertilizers and water.

Keywords: Sustainable agriculture; intercropping; soil fertility; vegetables; legumes.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura convencional, basada en monocultivos, ha generado problemas ambientales, como la disminución de biodiversidad, contaminación del suelo y del agua, erosión y aumento de plagas y enfermedades. La agricultura moderna busca mantener rendimientos sin impactar negativamente el medio ambiente (1). La asociación de cultivos puede mantener la producción actual y mejorar la resistencia del agroecosistema a sequías y enfermedades. Las leguminosas, como el haba, son adecuadas para la asociación de cultivos, ya que fijan nitrógeno y aumentan el rendimiento de cultivos. El objetivo de este estudio fue evaluar si la asociación de cultivos entre

brócoli y haba, en comparación con monocultivos, y con una reducción del uso de fertilizantes en un 30%, puede mejorar la producción y la calidad del suelo.

2. MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en Cartagena (Murcia), con un clima mediterráneo semiárido. Se compararon monocultivos de brócoli y haba con diferentes asociaciones de ambos a lo largo de tres ciclos de cultivo de invierno. Se estudiaron tres tipos de asociaciones: filas alternas 1:1, filas alternas 2:1 y asociación mixta. Cada sistema de cultivo tuvo tres repeticiones, distribuidas aleatoriamente en parcelas de 120 m². Se redujo un 30% la fertilización en los cultivos asociados. El muestreo del suelo se realizó a una profundidad de 0-10 cm y 10-30 cm al final del período de cosecha (marzo). Se recogieron tres muestras compuestas de cada parcela. Las muestras se secaron al aire durante 7 días, se tamizaron a <2 mm y se almacenaron a temperatura ambiente.

El C orgánico del suelo (SOC) y el N total (Nt) se determinaron utilizando un analizador elemental CHNS(O) (CHN 628, Leco). El P disponible se calculó utilizando el método de Burriel-Hernando (2) y se midió con un ICP-MS (Agilent7500CE). El NO₃⁻ se extrajo con agua desionizada en una proporción de suelo:extractante de 1:10 y se midió por cromatografía de iones (Metrohm 861).

Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la distribución normal de los datos a $P < 0.05$ y se transformaron logarítmicamente cuando fue necesario para garantizar una distribución normal. La homocedasticidad se comprobó mediante la prueba de Levene. Los datos se sometieron a un ANOVA de medidas repetidas de tres vías, con el año (2019, 2020 y 2021) como factor intrasujeto, y el tratamiento (monocultivos y cultivos asociados) y la profundidad (0-10 y 10-30 cm) como factores intersujetos. Los análisis estadísticos se realizaron en R versión 4.1.2.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El SOC no se vio afectado por la diversificación de cultivos, sin diferencias significativas entre tratamientos en la evolución a lo largo del período de tres años (Fig 1.A). Se pudo apreciar que los sistemas asociados pueden mantener los niveles de SOC, deteniendo la tendencia de disminución del contenido de SOC que se da en el monocultivo de brócoli, ya observado en otros estudios (3). El Nt mostró diferencias entre tratamientos, con valores significativamente más altos en el monocultivo de haba y en todos los sistemas de cultivo asociado, como consecuencia de la introducción de la leguminosa (Fig. 1.B). En los sistemas asociados se incrementó la disponibilidad de P, independientemente del patrón de asociación (Fig 1.C), corroborando resultados de estudios anteriores (4). La interacción entre ambas especies pudo haber activado microorganismos beneficiosos asociados a la solubilización de P. En ese sentido, Cuartero et al. (2022) estudiaron la comunidad bacteriana de las muestras de este estudio y confirmaron que los sistemas asociados aumentaron la abundancia de bacterias solubilizadoras de fosfato. El nitrato fue significativamente mayor en las parcelas con monocultivo de haba, lo que sugiere un enriquecimiento en N mineral del suelo a través de la fijación biológica de N (Fig 1.D). La falta de dicho aumento en los sistemas asociados puede indicar que algunos nitratos pueden haber sido absorbidos por las plantas de brócoli, y así, el haba contribuye a complementar parte de los requerimientos de N para el brócoli. La producción de brócoli en el cultivo mixto fue similar al monocultivo, mientras que en el intercalado en hileras fue menor debido a la menor densidad de plantas de brócoli (tabla 1). La producción de habas disminuyó en el cultivo mixto, pero no varió en intercalado en hileras en comparación con monocultivos. La producción total (brócoli+haba) fue mayor en los sistemas asociados, casi el doble en algunos casos, a pesar del uso reducido de fertilizantes y sin efectos negativos en la calidad o características nutricionales (tabla 1). Los tres patrones de asociación mostraron valores de LER (*Land Equivalent Ratio*) >1, confirmando la alta eficiencia del sistema propuesto.

4. CONCLUSIONES

La producción total, Nt y P aumentaron en el sistema asociado en comparación con el monocultivo de brócoli, independientemente del patrón de asociación. Esto demuestra la eficacia de introducir una especie de leguminosa, como el haba, en sistemas de cultivo asociados con hortalizas para mejorar la calidad del suelo y disminuir el uso de insumos externos como fertilizantes y agua.

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Proyecto AsociaHortus otorgado por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España (AGL2017-83975-R). Mariano Marcos agradece el apoyo financiero del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España a través del Programa "Ayudas para contratos predoctorales para la formación de doctores 2018" [PRE2018-085702].

6. REFERENCIAS

- Duhamel M, Vandenkoornhuysen P. Sustainable agriculture: Possible trajectories from mutualistic symbiosis and plant neodomestication. *Trends Plant Sci.* 2013;18(11):597–600.
- Almendo Candel M, Navarro Pedreño J, Jordán Vidal M, Gómez Lucas I. Movilidad y biodisponibilidad del fósforo en un antrosol del sureste español (Alicante) enmendado con lodo de depuradora. *Edafología.* 2003;10(1):7–14.
- Sánchez-Navarro V, Zornoza R, Faz Á, Fernández JA. Comparing legumes for use in multiple cropping to enhance soil organic carbon, soil fertility, aggregates stability and vegetables yields under semi-arid conditions. *Sci Hortic (Amsterdam) [Internet].* 2019;246(November 2018):835–41. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.065>
- Tang X, Zhang C, Yu Y, Shen J, van der Werf W, Zhang F. Intercropping legumes and cereals increases phosphorus use efficiency; a meta-analysis. *Plant Soil.* 2021;460(1-2):89–104.
- Cuartero J, Pascual JA, Vivo JM, Özbolat O, Sánchez-Navarro V, Egea-Cortines M, et al. A first-year melon/cowpea intercropping system improves soil nutrients and changes the soil microbial community. *Agric Ecosyst Environ.* 2022;328(June 2021).

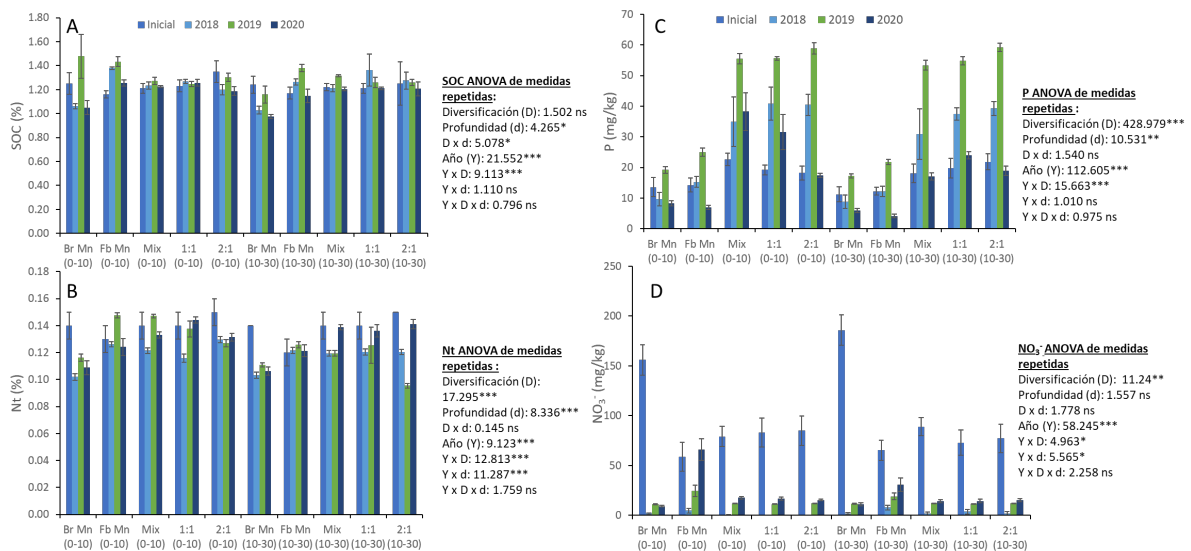


Figura 1: A) carbono orgánico del suelo (SOC), B) nitrógeno total (Nt), C) fósforo disponible (P) y D) nitrato (NO₃⁻) para las condiciones iniciales del suelo (2018) y después de tres ciclos de cultivo (2019, 2020 y 2021) en sistemas de monocultivo y asociado para dos profundidades del suelo. Br Mn: monocultivo de brócoli; Fb Mn: monocultivo de haba; Mix: asociado mixto; 1:1: asociado en filas 1:1; 2:1: asociado en filas 2:1; 0-10 y 10-30 indican la profundidad del

muestreo del suelo en cm. Las barras de error representan el error estándar (n = 5). Significativo en *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05; ns: no significativo (p > 0,05).

Tabla 1. Producción de brócoli, producción de haba, producción total y land equivalent ratio (LER) para tres ciclos de cultivo consecutivos. Los valores son la media ± el error estándar (n = 3).

	Producción de brócoli (kg·ha⁻¹)	Producción de haba (kg·ha⁻¹)	Producción total (kg·ha⁻¹)	LER
2018/2019				
Monocultivo de brócoli	19196 ± 192		19196 ± 192	
Monocultivo de haba		17857 ± 2062	17857 ± 2062	
Asociado mixto	18998 ± 645	8138 ± 347	27136 ± 795	1.44 ± 0.04
Asociado en filas 1:1	11973 ± 331	21130 ± 2041	33103 ± 1778	1.21 ± 0.04
Asociado en filas 2:1	14497 ± 850	22925 ± 2195	37422 ± 1366	1.13 ± 0.01
2019/2020				
Monocultivo de brócoli	14634 ± 1132		14634 ± 1132	
Monocultivo de haba		14643 ± 1691	14643 ± 1691	
Asociado mixto	15785 ± 683	10482 ± 690	26267 ± 598	1.67 ± 0.04
Asociado en filas 1:1	8772 ± 1330	16988 ± 1615	25760 ± 2773	1.11 ± 0.13
Asociado en filas 2:1	11187 ± 631	19056 ± 209	30242 ± 422	1.07 ± 0.03
2020/2021				
Monocultivo de brócoli	16680 ± 500		16680 ± 500	
Monocultivo de haba		10871 ± 1255	10871 ± 1255	
Asociado mixto	15228 ± 417	4865 ± 1117	20093 ± 1495	1.32 ± 0.12
Asociado en filas 1:1	11295 ± 449	13777 ± 515	25072 ± 910	1.28 ± 0.05
Asociado en filas 2:1	12270 ± 1172	16344 ± 2439	28614 ± 2319	1.15 ± 0.08
F-Valor^a				
	Factores intersujetos			
Diversificación (D)	4.494 ns	0.207 ns	60.329***	6.597*
	Factor intrasujeto			
Año (Y)	19.861***	14.470***	21.256***	0.039 ns
Y x D	0.619 ns	0.861 ns	4.302 ns	0.039 ns

^a Significativo en *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05; ns: no significativo (p > 0,05).