

Importancia de la asociación de leguminosas con cereales: caso de soya y maíz

Importance of the association of legumes with cereals: case of soybean and maize

Adelfa Yzarra-Aguilar

Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Ayacucho, Perú

E-mail: adelfayaguilar@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6442-6065>

Lizangela Aurelia Hinojosa-Yzarra

Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Ayacucho, Perú

E-mail: lizangelaorcid@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9567-0303>

Marilu Marcela Quispe-Villanueva

Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Ayacucho, Perú

E-mail: mavi77171villa@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7785-4977>

Vanesa Muñoz-Avila

Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Ayacucho, Perú

E-mail: 1912810224@unah.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0005-1445-2985>

Bitinia Cruz-Quispe

Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Ayacucho, Perú

E-mail: 1912810210@unah.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5876-6769>

Recepción: 30/08/2023 Aceptación: 25/09/2023 Publicación: 15/10/2023

Resumen

El cultivo asociado es una práctica muy común entre los agricultores, dentro de un sistema que implica el crecimiento de dos o más plantas en el mismo campo durante la misma temporada para permitir interacciones entre los cultivos componentes. El objetivo es determinar los resultados de la asociación de cereales con leguminosas, especialmente sobre los monocultivos de maíz y soya. Se hizo una revisión bibliográfica del estado del arte desde el punto de vista eurístico y hermenéutico, recurriendo a los artículos científicos publicados entre los años 2018 y 2023, indexados en las bases de datos Scopus y SciELO, utilizando palabras clave como “Leguminosas”, “gramíneas”, “cultivos asociados”, “*Zea mays*”, “*Glycine max*”. Se resalta entre los resultados las evidencias de una utilización más efectiva de los recursos del suelo en los cultivos asociados en comparación con los cultivos de monocultivo, encontrando ventajas obtenidas de los cultivos asociados, especialmente en el sistema de cultivo cereal-leguminosa, con especial atención al sistema de cultivo asociado de maíz y soya. Se destaca entre las conclusiones que, La asociación de cultivos de leguminosas con otros tipos de cultivos proporciona la ventaja adicional de cultivar leguminosas con la necesidad mínima o nula de fertilizantes nitrogenados adicionales, logrando de esta manera una mejor productividad y rentabilidad.

Palabras clave: Leguminosas, gramíneas, cultivos asociados, *Zea mays*, *Glycine max*



Abstract

Intercropping is a very common practice among farmers, within a system that involves growing two or more plants in the same field during the same season to allow interactions between the component crops. The objective is to determine the results of the association of cereals with legumes, especially on maize and soybean monocultures. A literature review of the state of the art was made from the euristic and hermeneutic point of view, resorting to scientific articles published between 2018 and 2023, indexed in the Scopus and SciELO databases, using keywords such as "Legumes", "grasses", "associated crops", "Zea mayz", "Glycine max". The results highlight the evidence of a more effective use of soil resources in associated crops compared to monoculture crops, finding advantages obtained from associated crops, especially in the cereal-legume crop system, with special attention to the associated crop system of maize and soybean. Among the conclusions, the association of leguminous crops with other types of crops provides the additional advantage of growing legumes with minimal or no need for additional nitrogen fertilisers, thus achieving better productivity and profitability.

Keywords: Legumes, grasses, associated crops, *Zea mayz*, *Glycine max*

Sintesi

La consociazione è una pratica molto diffusa tra gli agricoltori, nell'ambito di un sistema che prevede la coltivazione di due o più piante nello stesso campo durante la stessa stagione per consentire le interazioni tra le colture componenti. L'obiettivo è determinare i risultati dell'associazione dei cereali con le leguminose, in particolare sulle monoculture di mais e soia. È stata effettuata una revisione della letteratura sullo stato dell'arte dal punto di vista euristico ed ermeneutico, ricorrendo ad articoli scientifici pubblicati tra il 2018 e il 2023, indicizzati nelle banche dati Scopus e SciELO, utilizzando parole chiave come "Legumi", "graminacee", "colture associate", "Zea mayz", "Glycine max". I risultati evidenziano l'evidenza di un uso più efficace delle risorse del suolo nelle colture associate rispetto alle colture in monocultura, riscontrando i vantaggi ottenuti dalle colture associate, soprattutto nel sistema cerealicolo-leguminoso, con particolare attenzione al sistema di colture associate di mais e soia. Tra le conclusioni, l'associazione di leguminose con altri tipi di colture offre l'ulteriore vantaggio di coltivare le leguminose con una necessità minima o nulla di fertilizzanti azotati aggiuntivi, ottenendo così una migliore produttività e redditività.

Parole chiave: Legumi, erbe, colture associate, *Zea mayz*, *Glycine max*



1. Introducción

La soya que nodula eficazmente con diversos rizobios autóctonos se consideran promiscua, esta nodulación permite introducir la soya en entornos en los que la falta de inoculantes adecuados impediría el cultivo; no obstante, el sistema de cultivos asociados, cereal-leguminosa, resulta ser mayoritariamente complementario y adecuado en asociación (Kyei et al., 2023). La soya promiscua es más importante para los pequeños agricultores por sus múltiples beneficios. Los cultivos de leguminosas ofrecen varios beneficios, como un mayor aporte de proteínas y aceite a la dieta familiar, la generación de ingresos por la venta de los cultivos, la reducción de costos en fertilizantes minerales gracias a la fijación biológica del nitrógeno (FBN) y mejoras en el rendimiento de los cultivos asociados.

Los cultivos asociados tienen impactos positivos en la biodiversidad y la salud del suelo. Las leguminosas que se cultivan en sistemas de cultivos asociados tienen la capacidad de acumular N en el suelo, que puede estar disponible para nutrir al siguiente cultivo, independientemente de si se trata de una rotación de cultivos, un monocultivo o un cultivo asociado en la temporada siguiente (Bouras et al., 2023). El cultivo asociado, práctica que realizan los pequeños agricultores se define como el crecimiento de dos o más cultivos juntos, en el mismo campo durante la temporada de crecimiento para promover la interacción entre los cultivos componentes, en ese sentido Muoni et al. (2022) aseveran que, es frecuente llevar a cabo la práctica de cultivar diferentes tipos de leguminosas junto a cultivos básicos ricos en almidón, como el maíz (*Zea mays* L.) y la yuca (*Manihot esculenta* Crantz).

La combinación de cultivos tiene múltiples ventajas. No solo proporciona un alto rendimiento por unidad de superficie en comparación con el cultivo único, sino que también brinda a los agricultores una protección contra malas cosechas, erosión, malas hierbas y plagas de insectos. Además, los cultivos asociados tienen beneficios biológicos y ecológicos significativos en comparación con los monocultivos.



Las leguminosas tienen un potencial de fijación de 100 a 300kg N ha⁻¹ de la atmósfera. Xiao et al. (2021), reportan que 30-60kg N ha⁻¹ año⁻¹ son fijados por las leguminosas en el suelo, demostrando su capacidad de FBN del 40% en un sistema de cultivo asociado de soya con cereales y el 30% en el monocultivo; estos autores aseveran también que la cantidad de N fijado por las leguminosas en cultivos asociados de cereales y leguminosas varía según varios factores, incluyendo la especie vegetal, la morfología de la planta, la densidad de las plantas en el cultivo, aspectos técnicos y el hábito de crecimiento de las plantas componentes del cultivo; motivo por el cual el objetivo de esta revisión bibliográfica es determinar los resultados de la asociación de cereales con leguminosas, especialmente sobre los monocultivos de maíz y soya.

2. Leguminosas y Gramíneas

El sistema de cultivos dentro de una agricultura sostenible, contempla la asociación de cultivos que desempeña un papel fundamental en la agricultura, ya que ofrece ventajas significativas en términos de uso eficiente de recursos, mayor absorción de luz solar, incremento del rendimiento y mejora de la fertilidad del suelo en comparación con el monocultivo.

Cuando se planifican cuidadosamente, las técnicas de cultivo asociado aprovechan de manera efectiva los recursos naturales, promueven la biodiversidad, controlan las plagas y, en muchas ocasiones, resultan en una producción agrícola de mayor calidad y productividad, contribuyendo al enriquecimiento de la fertilidad del suelo de manera natural, lo que reduce la necesidad de utilizar productos químicos y otros insumos no agrícolas (Glaze et al., 2020). El sistema de cultivo asociado comprende cuatro técnicas que son: Disposición mixta, en la que las plantas se cultivan simultáneamente en asociación; disposición en hileras, en la que los componentes de las plantas se cultivan simultáneamente en diversas hileras; disposición en franjas, en la que las plantas se cultivan simultáneamente en diversas franjas; y disposición en relevo, en la que las plantas se cultivan en relevo de forma que los ciclos de crecimiento se solapan.



La alta eficiencia en el uso de luz y agua, y la reducción de plagas y enfermedades son principales causas de la preferencia por cultivos asociados. Las leguminosas aportan N fijado y los cereales azúcares (Raza et al., 2020). En los cultivos asociados, el nivel de reserva de nutrientes, el rendimiento total y rendimiento intra e interespecíficos pueden verse influenciados por la competencia de recursos del ecosistema, además, una gran cantidad de mecanismos explican cómo los cultivos asociados utilizan el agua, la luz y los nutrientes mejor que los monocultivos; las intervenciones de desarrollo que se den cuenta del potencial económico y medioambiental de los cultivos de leguminosas y cereales contribuirán a la mejora de los medios de subsistencia de las familias; así como también al fortalecimiento de las capacidades de los productores a través de programas de desarrollo agropecuario para garantizar el conocimiento integral, sobre todo en cuanto a la asociación de cultivos, ya que se consigue producciones mayores por unidad de superficie cultivada, se aprovecha mejor el agua, hay más sombra, menos evaporación directa y más transpiración a través de las planta (Hinojosa et al., 2021).

2.1 Beneficios del sistema de cultivos asociados

El sistema de cultivos asociados es valioso para los agricultores debido a la capacidad de los cereales para reducir la erosión del suelo y al aumento de la fertilidad del suelo gracias a las leguminosas, aunado a la flexibilidad, la maximización de los beneficios y la minimización de los riesgos, la conservación del ecosistema, control de las malas hierbas, y nutrición estable. Los cereales producen un rendimiento similar tanto cuando se cultivan en monocultivo como cuando se cultivan en intercultivo en el mismo espacio, por ello los cultivos asociados son mejores para maximización de la tierra para la producción en esta época en que la población aumenta exponencialmente.

2.2 Control de plagas y enfermedades

Las plagas y enfermedades que afectan a los cultivos representan una amenaza significativa para la seguridad alimentaria global. En este contexto, es ampliamente reconocido que un cultivo puede actuar como una barrera para prevenir la propagación de plagas o enfermedades que afectan a otros cultivos (Carvajal et al., 2019). También se ha



informado que es posible controlar las termitas que afectan a las plantas de judía común utilizando cacahuets. Se observó una mayor infestación del barrenador del tallo del maíz en el cultivo en solitario, alcanzando un 70%; para este caso Nur et al.(2021) recomiendan un cultivo trampa para desviar la atención de los barrenadores del tallo del maíz lejos del cultivo principal.

2.3 Control de las malas hierbas

La mayoría de los científicos están de acuerdo en que los cultivos asociados son más efectivos que los monocultivos para el control de las malas hierbas; sin embargo, esta eficacia puede variar según los hábitos competitivos de las malas hierbas y el comportamiento de los diferentes cultivos cuando se cultivan juntos. El cultivo asociado de dos o más cultivos comerciales que tienen funciones diferentes puede disminuir la presencia de malas hierbas al optimizar la utilización total de recursos por parte de la comunidad de cultivos.

2.4 Control de la erosión del suelo

La cubierta vegetal en los cultivos asociados desempeña un papel importante para detener la energía de las precipitaciones y evitar la escorrentía que podría causar la erosión del suelo, demostrándose que los cereales tienen la capacidad de prevenir la erosión del suelo, mientras que las leguminosas pueden enriquecer el suelo al fijar nitrógeno atmosférico (N) de forma biológica; trabajan juntos, cumplen roles complementarios en la mejora del suelo. En un sistema de cultivo que involucra maíz y frejol Castilla (*Vigna unguiculata*), es importante destacar que el frejol Castilla se comporta como una cubierta vegetal efectiva, y reduce la escorrentía de agua.

Sahoo et al. (2023) encontraron que en los cultivos asociados que combinan cereales altos con leguminosas de menor altura, los cereales altos, como el maíz, funcionan como una barrera contra el viento, brindando protección a los cultivos de leguminosas más bajos. En este tipo de cultivos asociados, el maíz se utiliza comúnmente como cultivo principal, y su altura actúa como una especie de cortavientos que resguarda a las leguminosas de menor altura. Sin embargo, el sistema de cultivo sorgo-guisante disminuye la erosión en un



20-30% en comparación con el monocultivo de sorgo en un 45%-55% en comparación con el monocultivo de frejol Castilla.

Bajo diferentes situaciones de suelo, la FBN para leguminosas contribuye al N para el crecimiento y la producción de grano de los componentes; no obstante, tras la desintegración de los residuos de leguminosas, el suelo puede reponer N que puede ser posteriormente aprovechado por los cereales.

La cantidad de N producida a través de la FBN está relacionada con la población de plantas; cuando se utiliza en gran medida la combinación de N, se reduce dicha fijación. A pesar de que la capacidad potencial anual de fijación de N puede alcanzar los 300 kg de N/ha, las mediciones en campos de agricultores pequeños varían significativamente, oscilando entre 6 y 80 kg de N/ha, con excepción de la soya, que puede fijar entre 100 y 260 kg de N/ha en un período que no supera los tres meses; es importante considerar factores como el tipo de cultivo, el genotipo, la densidad de siembra y las especies de plantas, factores que pueden tener un impacto directo o indirecto en el crecimiento de las leguminosas (Morais et al., 2021).

El N se acumula en el suelo a lo largo de varias temporadas de cultivo debido a la descomposición de los nódulos de las raíces y las hojas que caen al suelo, pero este N puede perderse por la desnitrificación, la lixiviación y la volatilización. Kinama et al. (2018) mencionan que la utilización de la FBN por parte de variedades de soya en cultivos asociados con cereales y leguminosas presenta un potencial para disminuir la dependencia de los agricultores en fertilizantes nitrogenados; y en el sistema de agricultura de secano, el N capturado por las leguminosas durante su crecimiento está disponible para su uso por los cultivos de cereales, observándose que, en la asociación de maíz y frejol Castilla, los cultivos de maíz utilizaron aproximadamente el 24,9% del N capturado por el frejol Castilla.

2.5. Efectos residuales del sistema de cultivo cereales

Raza et al. (2019) informaron que la productividad del maíz aumentaba en un 46% cuando se cultivaba después de la soya en comparación con el cultivo posterior a otro maíz; de otra parte, Datta et al. (2022) señalaron que la producción de maíz mejoró de un 25% a



un 88% tras el cultivo asociado de mucuna-maíz. Kinama et al. (2018) mencionan que la producción de maíz era un 28% mayor un año después de la aplicación de soya; sin embargo, también encontraron que, la producción de maíz fue un 85% mayor dos años después de la aplicación de soya y un 62% mayor que la siembra sucesiva de maíz.

2.6 Madurez de los cultivos

Los cultivos asociados, al tener distintos períodos de crecimiento para cada fase, pueden reducir la competencia interplanta, debido a que cada planta requiere nutrientes en momentos específicos, que pueden diferir de los requerimientos de otras plantas en el mismo campo, de tal manera que, el agotamiento de la fertilidad del suelo se minimiza, resultando en una mayor producción en comparación con el cultivo de una sola especie (Raza et al., 2019). Las plantas que alcanzan la madurez en distintos momentos son de gran importancia, ya que pueden gestionar de manera más eficiente sus requerimientos de agua, luz y nutrientes en las diferentes etapas de su desarrollo. El maíz alcanzaba su madurez en aproximadamente 60 días pos-siembra, lo cual coincide con el momento de máxima exposición solar, resultando beneficioso en los campos donde se cultivaba maíz junto con gramíneas verdes intercaladas (Hekmat et al., 2020).

2.7 Densidad de plantación

En el cultivo asociado la densidad total de plantas en cada cultivo puede influir en la producción, ya que un exceso de población puede afectar negativamente en el rendimiento. Kinama et al. (2018) informaron que el rendimiento de la soya disminuye en un 21% cuando la población de plantas de maíz aumenta a 44,440 plantas por hectárea y luego disminuye aún más en un 23% cuando la población de plantas de maíz aumenta a 53,330 plantas/ha; asimismo, el contenido de N en el grano de trigo y toda la biomasa aumenta cuando se incrementa la densidad de población de plantas de judía en un sistema de cultivo asociado de trigo y frijol. Además, este aumento en la densidad de judías también se traduce en un incremento en la cantidad de proteína presente en el grano de trigo cosechado.

Abbas et al. (2021) reportaron que el aumento en la densidad de la soya tiene un impacto positivo en su valor cuando se cultiva en conjunto con el sorgo, de tal manera que



este incremento en el valor oscila entre un rango de 0,76 a 1,15, siendo esta mejora más notable cuando se emplean densidades de plantación más altas para la soya que para el sorgo; mostrándose una tendencia negativa en el coeficiente de eficacia del sorgo, con valores que van de 1,23 a 0,76.

2.8 Cultivos compatibles

Los cultivos compatibles en los cultivos asociados son muy importantes porque pueden reducir fácilmente la competencia en el campo, aprovechando los nutrientes del suelo, por lo que los pequeños agricultores tienden a utilizar cultivos asociados de cereales y leguminosas de manera frecuente, debido a su compatibilidad y a la capacidad de las plantas involucradas para aprovechar el N presente en el suelo, independientemente de su origen (Drinkwater et al., 2021). En asociaciones de cereales y leguminosas hay mayor competencia por los recursos esenciales del suelo, como el agua, la luz y los nutrientes, por parte de los cereales en comparación con las leguminosas (Kinama et al., 2018).

2.9 Época de plantación

La época de plantación es uno de los principales factores que determinan la pérdida o la ganancia de rendimiento en los sistemas; es así que, Da Silva et al. (2022) mencionan que el cultivo de frejol Castilla-maíz de crecimiento rápido resulta en una mayor producción, registrándose el rendimiento más alto en la modalidad de cultivo maíz y frejol Castilla. Nderi (2020) también demostró que la práctica de sembrar frejol Castilla y maíz juntos no solo aumenta la producción por unidad de superficie, sino que también ayuda a controlar las hierbas no deseadas a ciertos niveles, favoreciendo a la vez la producción por área.

Masino et al. (2018) informó de que la falta de uniformidad en la maduración tiene un impacto adverso, especialmente en grupos de cultivos que maduran temprano, cuando se plantan más tarde en la temporada y en plantas de menor altura; mientras que, Habineza (2018) encontró que, el sistema de cultivo asociado maíz-soya afectó negativamente al contenido proteico de la soya mientras que aumentó la biomasa de maíz y el rendimiento de grano.

2.10 Formación de nódulos



La FBN puede ser eficaz con las adecuadas bacterias fijadoras de N del suelo como *Bradyrhizobium japonicum*, del género Rhizobium, que se encuentran disponibles en el suelo o se aplican a los granos de soya para que nodulen sus raíces. El primer paso en la nodulación es la buena penetración de las bacterias en el pelo radicular de la plántula de soya y la formación de un hilo de infección.

Los nódulos de la raíz pueden ser el resultado de muchos hilos de infección o doble infección a partir de un único hilo; alrededor de 10 a 14 días, la fijación de N comienza a ocurrir en los nódulos, disponibles en la etapa de floración. Las bacterias Rhizobium convierten N atmosférico en amonio (NH₄) que es una forma de N disponible para los cultivos, y a su vez los cultivos proporcionan carbohidratos a las bacterias para sobrevivir.

3. Materiales y métodos

Se desarrolló una investigación bibliográfica en bases de datos científicas como Web of Science, Scopus y SciELO, revisando revistas científicas como Revista International Journal of Agronomy and Agricultural Research, utilizando descriptores como “Leguminosas”, “gramíneas”, “cultivos asociados”, “Zea mayz”, “Glycine max”; así como también se consultó repositorios universitarios, para elaborar el estado de arte en sus fases heurística y hermenéutica, mediante la lectura y análisis permanente.

4. Resultados

Los resultados del presente estudio evidencian una utilización más efectiva de los recursos del suelo en los cultivos asociados en comparación con los cultivos de monocultivo, por lo que se destaca entre los resultados encontrados que, uno de los objetivos primordiales de los principales sistemas de cultivos asociados, es aumentar la productividad de las plantas componentes por unidad de superficie, a fin de obtener una productividad del sistema de cultivo asociado, lo que se refleja en un incremento de rendimiento; de tal manera que, en esta asociación cereales-leguminosas, debido a su compatibilidad, se



produce una emanación de exudados favorables de la leguminosa componente al cereal asociado y se sospecha que esto tiene efectos sobre la calidad proteica del cereal.

La FBN se puede ver reducida debido a campos con suelos pobres en Rhizobium, inoculantes de baja calidad debido a mal almacenamiento y/o condiciones inadecuadas, también varía en función del espaciamiento empleado; mientras que la capacidad de formación de nódulos puede variar según las diferentes cepas de Rhizobia y las condiciones ambientales; esto contribuye a mejorar la eficiencia en la utilización del N mineral por parte de las plantas, coincidiendo con Kebede (2021) quien asevera que, es fundamental maximizar la transferencia de N de las leguminosas a la planta siguiente para aprovechar al máximo el N total presente en las leguminosas, incluyendo la cantidad de N fijado de forma natural; de otra parte, la FBN en un sistema de cultivo que combina cereales y leguminosas ofrece a las leguminosas la capacidad de aprovechar el N, lo que resulta especialmente beneficioso cuando la cantidad de N proveniente de los fertilizantes es insuficiente; en atención a lo mencionado por (Swoboda et al., 2022) en el sentido que el fertilizante mineral N, en ocasiones, no está disponible para los agricultores, y los fertilizantes solubles convencionales suelen ser costosos. En muchos sistemas de cultivo asociado de cereales y leguminosas, en términos de rendimiento proteínico.

5. Discusión

Los cultivos plantados cerca unos de otros, corren el riesgo de que sus raíces puedan competir por recursos importantes para su crecimiento, como nutrientes, luz y agua; corroborando lo vertido por (Nassary et al., 2020) que señalaron que las leguminosas pueden convertirse en un problema en un sistema de cultivo asociado debido a que proporcionan sombra a los cultivos circundantes, lo que reduce su rendimiento, pero el principal problema de los cultivos asociados es que, el componente de ese sistema de cultivo no puede cosecharse a máquina porque ésta no puede separar los cultivos asociados, es así que, los agricultores deben separar esos cultivos componentes a mano y organizarlos a mano.



De otro lado, algunos sistemas de cultivo permiten la cosecha en diferentes épocas, lo que contribuye a la preservación de variedades de plantas cultivadas que se han dividido; aunque si hablamos de la asociación maíz-soya, la competencia por luz, aire, precipitaciones y nutrientes es significativa en comparación a la soya, lo que podría explicar Seo et al. (2019) quienes aseveran que la disminución en el rendimiento de materia seca de las mazorcas de maíz se relaciona directamente con la fijación de N y la densidad de plantas, llegando incluso a alcanzar niveles nulos, debido a la capacidad de cada tipo de leguminosa para capturar la luz solar. El cultivo asociado puede contribuir a la reducción de hierbas no deseables, en concordancia con Semahegn (2022) quien también observó que la práctica de cultivar frijol y maíz en asociación resultó en una reducción significativa de la biomasa de malezas, específicamente entre un 50% y un 66%.

6. Conclusiones

El cultivo asociado de cereales y leguminosas ha mostrado ventajas entre los cultivos componentes, en beneficio de la seguridad alimentaria y nutricional de los hogares; incluso, los cultivos asociados de maíz y soya muestran una mínima infestación de malezas.

La asociación de cultivos de leguminosas con otros tipos de cultivos proporciona la ventaja adicional de cultivar leguminosas con la necesidad mínima o nula de fertilizantes nitrogenados adicionales, logrando de esta manera una mejor productividad y rentabilidad para alcanzar la seguridad alimentaria y nutricional de manera sostenible.

La asociación de cereales y leguminosas permite la seguridad contra pérdidas totales de cosecha, mejora del rendimiento, control de malas hierbas y plagas, y un aumento en la productividad; de tal manera que, en asociaciones de maíz con soya, se dan valores más altos de índice de área foliar, tasa de crecimiento del cultivo y tasa de asimilación neta en el maíz, si es que este se siembra antes que la soya, en comparación a si se siembra más tarde.



7. Declaración de contribución de autoría: CREdiT

Adelfa Yzarra Aguilar: Conceptualización, metodología, investigación, curación de datos. Lizangela Aurelia Hinojosa Yzarra: Metodología, investigación, redacción, revisión, edición y visualización. Marilu Marcela Quispe Villanueva: Supervisión, Administración del proyecto. Vanesa Muñoz Avila: Recopilación de datos, análisis formal. Bitinia Cruz Quispe: Recursos, adquisición de fondos.

8. Agradecimientos

Expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestra familia, su amor, paciencia y aliento han sido fundamentales para lograr este resultado. También extendemos nuestro agradecimiento a los revisores, quienes generosamente dedicaron el tiempo y el esfuerzo para revisar minuciosamente este documento y brindarnos sus valiosos comentarios, los cuales han fortalecido enormemente este proyecto y nos han motivado a mejorar constantemente.

9. Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia conocidos ni relaciones personales que pudieran haber parecido influir en el trabajo reportado en este artículo.

10. Disponibilidad de los datos

Los datos estarán disponibles previa solicitud.



Referencias

1. Abbas, R., Arshad, M., Iqbal, A., Iqbal, M., Imran, M., Raza, A., Chen, J., Alyemeni, M. y Hefft, D. (2021). Weeds spectrum, productivity and land-use efficiency in maize-gram intercropping systems under semi-arid environment. *Agronomy*, 11(8), 1615.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11081615>
2. Bouras, F., Hadjout, S., Haddad, B., Malek, A., Aitmoumene, S., Gueboub, F., Metrah, L., Zemmouri, B., Kherif, O., Rebouth, N. y Latati, M. (2023). The Effect of Nitrogen Supply on Water and Nitrogen Use Efficiency by Wheat–Chickpea Intercropping System under Rain-Fed Mediterranean Conditions. *Agriculture*, 13(2), 338.
<https://doi.org/10.3390/agriculture13020338>
3. Carvajal, M., Cardwell, K., Nelson, A., Garrett, K., Giovani, B., Saunders, D., kamoun, S., Legg, J., Verdier, V., Lessel, J., Neher, R., Día, R., Pardey, P., Gullino, M., Registros, A, Bextina, B., Leach, J., Staigery, S. y Tohme, J. (2019). A global surveillance system for crop diseases. *Science*, 364(6447), 1237-1239. <https://doi.org/10.1126/ciencia.aaw1572>
4. Da Silva, A., Seidel, E., Pan, R., Brito, T. y Vasconcelos, E. (2022). Corn yield for ensilage in consortium with green manure and bean in succession. *Research, Society and Development*, 11(12), e4391112346. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.34661>
5. Datta, D., Ghosh, S., Saha, R., y Nath, C. (2022). *Cover Crops: Potential and Prospects in Conservation Agriculture. Conservation Agriculture and Climate Change: Impacts and Adaptations*, 167, <https://n9.cl/dj1qay>
6. Drinkwater, LE, Midega, CA, Awuor, R., Nyagol, D. y Khan, ZR (2021). Perennial legume intercrops provide multiple belowground ecosystem services in smallholder farming systems. *Agriculture Ecosystems & Environment* 320(51):107566 320.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107566>
7. Elsalahy, H., Döring, T., Bellingrath-Kimura, S. y Arends, D. (2019). Weed Suppression in Only-Legume Cover Crop Mixtures. *Agronomy*, 9(10), 648;
<https://doi.org/10.3390/agronomy9100648>
8. Glaze, S., Hashemi, M., Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Afshar, RK, Liu, X. y Herbert, SJ (2020). Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. *Advances in Agronomy*, 162, 199-256.
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.004>



9. Hekmat, AW, Zafari, JK y Abraham, T. (2020). Production potential of greengram (*Vigna radiata* L.) as influenced by intercropping and manurial management under certified organic production system. *International Journal of Applied Research*, 6(2): 18-24.
<https://www.allresearchjournal.com/archives/2020/vol6issue3/PartA/6-2-28-714.pdf>
10. Hinojosa, R., Yzarra, A., De la Cruz, R. y Quispe. J. (2021). Estrategias de mejora según el análisis FODA de un sistema provincial de extensión agrícola. *ALFA*, 5(15), 469-288
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i15.130>
11. Kebede, E. (2021). Contribution, Utilization, and Improvement of Legumes-Driven Biological Nitrogen Fixation in Agricultural Systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 767998.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.767998>
12. Kinama, J. M. y Habineza, J. (2018). A review on advantages of cereals-legumes intercropping system: case of promiscuous soybeans varieties and maize. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 12(6), 155-165. <https://n9.cl/qzel9>
13. Kyei, S., Savala, C., Muananamuale, C., Malita, C., Wiredu, A., Chibeba, A., Elía, P., Chikoye, D. (2023). Symbiotic effectiveness of Bradyrhizobium strains on soybean growth and productivity in Northern Mozambique. *Front. Sustain. Food Syst.*, 6, 1084745
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1084745>
14. Masino, A., Rugeroni, P., Borrás, L. y Rotundo, JL (2018). Spatial and temporal plant-to-plant variability effects on soybean yield. *European Journal of Agronomy*, 98, 14-24.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.02.006>
15. Morais, TG, Teixeira, RFM, Lauk, C., Theurl, MC, Winiwarter, W., Mayer, A., Kaufmann, L., Haberl, H., Domingos, T. y Erb, K. (2021). Agroecological measures and circular economy strategies to ensure sufficient nitrogen for sustainable farming. *Cambio ambiental global*, 69, 102313. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102313>
16. Muoni, T., Jonsson, M., Duncan, AJ, Watson, CA, Bergkvist, G., Barnes, AP y Öborn, I. (2022). Effects of management practices on legume productivity in smallholder farming systems in sub-Saharan Africa. *Food and Energy Security*, 11 (2), e366.
<https://doi.org/10.1002/fes3.366>
17. Nassary, EK, Baijukya, FP y Ndakidemi, PA (2020). Sustainable Intensification of Grain Legumes Optimizes Food Security on Smallholder Farms in Sub-Saharan Africa—A Review. *Revista Internacional de Agricultura y Biología. Intl J Agric Biol*, 23(1),25-41



<https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1254>

18. Nderi, LM (2020). Effect of different spacing intervals on growth and yield of cowpea varieties in Kilifi County, Kenya [Doctoral dissertation, Kenya]. <https://n9.cl/tjvp0>
19. Nur Arina, I., Martini, M., Surdiana, S., Mohd Fauzi, R. y Zulkefly, S. (2021). Radiation dynamics on crop productivity in different cropping systems. *International Journal of Agronomy*, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2021/4570616>
20. Raza, A., Zahra, N., Hafeez, MB, Ahmad, M., Iqbal, S., Shaukat, K. y Ahmad, G. (2020). Nitrogen Fixation of Legumes: Biology and Physiology. The Plant Family Fabaceae, 43-74. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-4752-2_3
21. Raza, M. A., Bin Khalid, M. H., Zhang, X., Feng, L. Y., Khan, I., Hassan, M. J., Mukhtar, A., Muhammad A., Yuan, Ch., Yuan, F., Yang, F. y Yang, W. (2019). Effect of planting patterns on yield, nutrient accumulation and distribution in maize and soybean under relay intercropping systems. *Scientific reports*, 9(1), 4947. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-41364-1>
22. Sahoo, U., Maitra, S., Dey, S., Vishnupriya, K., Sairam, M. y Sagar, L. (2023). Unveiling the potential of maize-legume intercropping system for agricultural sustainability: A review. *Farming and Management*, 8(1), 1-13. <https://doi.org/10.31830/2456-8724.2023.FM-124>
23. Seo, J, Jo, H., Kim, M., Song, JT y Lee, J. (2019). Agronomic traits and forage production in a mixed-planting with corn for forage soybean cultivars, Chookdu 1 and Chookdu 2. *Plant breeding and biotechnology*, 7(2), 123-131. <https://doi.org/10.9787/PBB.2019.7.2.123>
24. Semahegn, Z. (2022). Intercropping of cereal with legume Crops. *Revista Internacional de Investigación en Agronomía*, 5 (1), 26-31. <https://n9.cl/ebc4kr>
25. Swoboda, P., Döring, TF y Hamer, M. (2022). Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 807, 150976. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.15097>
26. Xiao, JX, ZHU, YA, BAI, WL, LIU, ZY, Li, TANG y ZHENG, Y. (2021). Yield performance and optimal nitrogen and phosphorus application rates in wheat and faba bean intercropping. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(11), 3012-3025. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63489](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63489)

