



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFFECTOS DE SISTEMAS DE POLICULTIVOS DE LEGUMINOSAS
CON CULTIVOS HORTÍCOLAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA**

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniera Agrónoma y al Grado de
Magíster en Ciencias Agropecuarias

PALOMA ANDREA REYES NAVARRO

Guía de Tesis
Ricardo Pertuzé Concha

Profesores/as consejeros/as
Cecilia Baginsky
Oscar Seguel

SANTIAGO - CHILE
2023



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFFECTS OF POLY CULTURE SYSTEMS OF LEGUMES WITH
VEGETABLE CROPS: A SYSTEMATIC REVIEW**

Thesis to apply for the Professional Title of Agricultural Engineer and the
Master's Degree in Agricultural Sciences

PALOMA ANDREA REYES NAVARRO

Thesis Guide
Ricardo Pertuzé Concha

Advisory Professors
Cecilia Baginsky
Oscar Seguel

SANTIAGO - CHILE
2023

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**EFFECTOS DE SISTEMAS DE POLICULTIVOS DE LEGUMINOSAS CON
CULTIVOS HORTÍCOLAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA**

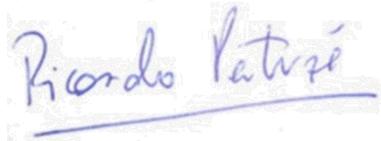
Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Título Profesional de
Ingeniera Agrónoma y al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias

PALOMA ANDREA REYES NAVARRO

Calificaciones

GUIA DE TESIS/AFE

Ricardo Pertuzé Concha

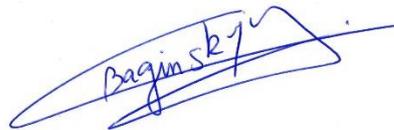


7,0

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.

PROFESORES/AS CONSEJEROS/AS

Cecilia Baginsky



6,7

Ingeniera Agrónoma, Dra.

Oscar Seguel



7,0

Ingeniero Agrónomo, Dr.

SANTIAGO, CHILE
2023

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, gracias a mi familia por apoyarme e impulsarme a lograr esta tesis. A mi padre, Mauricio Reyes por creer en mí, por siempre estar ahí cuando lo necesité, por escucharme y comprenderme sin cuestionarme, sin él no estaría aquí ahora. A María Victoria por empujarme a alcanzar mis metas y siempre ayudarme a mirar hacia adelante. A mi hermano Cristián por darme una mano siempre, sin pedir nada a cambio. Les agradezco infinitamente por todos los momentos vividos que me hacen ser quien soy hoy.

A los profesores que me formaron durante todos estos años, quienes gracias a su vocación lograron transmitir el amor por esta carrera y las ganas de seguir aprendiendo. Especialmente agradezco a mi profesor guía Ricardo Pertuzé, por la paciencia, motivación, y todo el conocimiento entregado. Gracias por guiarme durante este camino, por confiar y apoyar mis ideas, por su disponibilidad y preocupación, ayudándome a sacar adelante este proyecto.

A mis amigos de agro, que me acompañaron durante este largo trayecto, de altos y bajos, con quienes nos motivamos mutuamente, e hicieron más ameno este arduo proceso que pensamos que nunca llegaría a su final. Sin ellos no tendrían sentido todas las horas de estudio y estrés vivido. Gracias por todo el apoyo siempre.

A mis amigos de la vida, quienes han estado a mi lado en cada etapa, quienes me vieron batallar con la tesis, pero siempre creyeron en mí más de lo que yo misma creí. Gracias por preocuparse siempre y estar presentes en mis mejores y peores momentos.

A todos aquellos que de alguna forma me ayudaron a llegar hasta aquí, no hay palabras suficientes para agradecer el apoyo incondicional, las experiencias compartidas, y el cariño entregado, solo poder retribuirles siempre de la mejor manera posible, acompañándonos en el trayecto.

Por último, quiero agradecer el haber podido finalizar este proceso con el que tuve grandes aprendizajes, comprendiendo que con constancia y perseverancia puedo lograr mis objetivos y lo que me proponga. Gracias a todos estos años me llevo herramientas para construir mi futuro como profesional, y aún más importante, para la vida misma.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Pregunta de investigación.....	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos.....	5
METODOLOGÍA	6
Estrategia de búsqueda	6
Selección de artículos y criterios de inclusión.....	6
Extracción de datos.....	7
Cálculo del Coeficiente de Tierra Equivalente (LER).....	7
Cálculo Densidad Relativa Total (RDT)	8
RESULTADOS	9
Análisis de la estrategia de búsqueda	9
Distribución temporal y geográfica de los artículos seleccionados.....	11
Información general de los artículos seleccionados	12
Coeficiente de Tierra Equivalente (LER).....	13
DISCUSIÓN.....	19
Estrategia de búsqueda	19
Distribución temporal y geográfica	19
Información general de los artículos seleccionados	20
Coeficiente de Tierra Equivalente (LER).....	21
Interacciones de complementariedad y facilitación.....	22
Factores específicos que afectan al LER entre hortalizas	24
Variación del LER entre leguminosas	31
Relación del LER y la fertilización de nitrógeno.....	32
Relación del LER y el RDT	32
Efectos adicionales al rendimiento	33
Consideraciones adicionales.....	35
CONCLUSIONES	38
LITERATURA CITADA.....	39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Artículos incluidos en la revisión sistemática	10
Cuadro 2. Estudios de asociación de repollo y leguminosas, sus respectivas densidades de plantas en Monocultivo (M) y en Policultivo (P), Densidad Relativa Total (RDT) y Coeficiente de Tierra Equivalente promedio (LER promedio)	28
Cuadro 3. Estudios de asociación de tomate y leguminosas, sus respectivas densidades de plantas en Monocultivo (M) y en Policultivo (P), Densidad Relativa Total (RDT) y Coeficiente de Tierra Equivalente promedio (LER promedio)	29
Cuadro 4. Artículos en los cuales se hallaron efectos adicionales al rendimiento	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama PRISMA con resultados de búsqueda y selección de artículos	9
Figura 2. Número de artículos y estudios incluidos en la revisión sistemática por año de publicación	11
Figura 3. Distribución geográfica de los artículos incluidos en la revisión sistemática	12
Figura 4. Cantidad de estudios por tipo de asociación de cultivos utilizada	13
Figura 5. Distribución de los valores de Coeficiente de Tierra Equivalente (LER) de las distintas asociaciones de hortaliza y leguminosa, para el total de casos de los estudios incluidos	14
Figura 6. Distribución de valores de Coeficiente de Tierra Equivalente (LER) según las distintas asociaciones de hortalizas, papa, tomate y repollo, con leguminosas	15
Figura 7. Valores promedio de Coeficiente de Tierra Equivalente (LER) según las distintas especies de leguminosas utilizadas en asociación con los cultivos hortícolas	16
Figura 8. Valores promedio de Coeficiente de Tierra equivalente (LER) según las distintas variedades de poroto utilizadas en asociación con cultivos hortícolas	16
Figura 9. Relación entre los valores de Coeficiente de Tierra Equivalente (LER) y la fertilización de nitrógeno (kg/ha) utilizada en los distintos estudios	17
Figura 10. Valores de Coeficiente de Tierra Equivalente en función de la Densidad Relativa Total (RDT) de los distintos cultivos hortícolas, papa, tomate y repollo, asociados con leguminosas	18
Figura 11. Relación entre el Coeficiente de Tierra Equivalente (LER) y la Diferenciación de Nicho Temporal (TND) de cultivos hortícolas en asociación con leguminosas	23

RESUMEN

Los sistemas de policultivos o asociaciones de cultivos son sistemas de producción que se basan en el cultivo de dos o más especies en un mismo sitio. Su principal ventaja es el incremento del rendimiento en una superficie determinada de policultivo respecto de esa misma superficie en monocultivo, estimado mediante el Coeficiente de Tierra Equivalente o “Land Equivalent Ratio” (LER). Existe escaso conocimiento de los efectos producidos en sistemas de policultivos, específicamente entre hortalizas y leguminosas, de manera que se requiere mayor investigación en este ámbito. El objetivo del presente estudio fue identificar y analizar los efectos de policultivos de leguminosas con hortalizas sobre el rendimiento mediante una revisión sistemática de artículos científicos. El resultado de la búsqueda bibliográfica permitió identificar 15 artículos con información de policultivos, los que abarcaron tres especies de hortalizas y seis especies de leguminosas, que presentaban información suficiente para calcular el LER. Esto permitió comparar y analizar valores de Coeficiente de Tierra Equivalente entre los distintos estudios. Los cuales permitieron concluir que, las asociaciones de leguminosas con cultivos hortícolas, como tomate, papa y repollo, producen un aumento en el rendimiento por superficie, en comparación con los monocultivos. El policultivo de repollo con leguminosa destaca por sobre el resto de las asociaciones, teniendo un uso más eficiente del suelo.

Palabras clave: Cultivos asociados; horticultura; Fabaceae; rendimiento.

ABSTRACT

Polyculture systems are production systems based on the simultaneous growing of two or more crops. The main advantage of polycultures is due to the increase in yield that can be achieved in a unit area of polyculture relative to the same area in monoculture. This is estimated by calculating the Land Equivalent Ratio (LER). There is still little knowledge of the effects produced in polyculture systems, specifically between vegetables and legumes, so more research is required in this area. The objective of this study was to identify and analyze the effects of polycultures of legumes and vegetables on yield through a systematic review of scientific articles. The study identified 15 articles of relevance that included 3 species of vegetables and 6 species of legumes. The literature review made it possible to compare and analyze Equivalent Land Coefficient values between the different studies. Which allowed to conclude that association of legumes with vegetable crops, such as tomato, potato and cabbage, produces an increase in yield per area, compared to monocultures. The polyculture of cabbage with legumes stands out above the rest of the associations, having a more efficient use of the land.

Key words: Associated crops; vegetable crops; Fabaceae; yield.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas actuales de producción agrícola en su mayoría son monocultivos en los cuales se cultivan grandes áreas con una misma especie (Han-ming *et al.*, 2019). Estos sistemas impactan negativamente en los ecosistemas debido a la reducción de la biodiversidad, provocando un aumento de plagas y enfermedades que afectan a los cultivos. Adicionalmente, provocan erosión y disminución de la fertilidad de los suelos, siendo necesario el uso recurrente de agroquímicos que contaminan el entorno y por tanto siendo más dependientes de insumos externos como fertilizantes y pesticidas (Sánchez *et al.*, 2021; Torres *et al.*, 2018). Los agroecosistemas requieren de una alta biodiversidad para tener una mayor capacidad de adaptación, tolerar los efectos del cambio climático, ser más resilientes a diferentes tipos de estrés tanto biótico como abiótico, proveer de servicios ambientales, y mantener el ecosistema en equilibrio y funcional (Nicholls *et al.*, 2015). Sin embargo, los efectos producidos por una mayor diversificación pueden variar dependiendo de los cultivos, del manejo y de las características de los agroecosistemas (Sánchez *et al.*, 2021).

Los sistemas de policultivos, también llamados asociaciones de cultivos, son sistemas de producción basados en cultivar dos o más especies en un mismo tiempo y lugar, en un orden variable (Wenda-Piesik y Synowiec, 2021). Estos permiten incrementar la biodiversidad en los agroecosistemas e intentan imitar los procesos ecológicos en sistemas naturales, siendo sistemas más sustentables que conservan mejor los recursos (Alvez y Alayón, 2020). Son sistemas capaces de mejorar la eficiencia del uso de nutrientes, radiación y agua, aumentando así el rendimiento y ganancias de los cultivos. (Khanal *et al.*, 2021). A pesar de esto, los policultivos son sistemas escasamente utilizados en países desarrollados, en cambio, en países en desarrollo son relevantes para la seguridad alimentaria (Adamczewska-Sowińska y Sowiński, 2020).

Uno de los principales factores del uso de policultivos en el mundo es que se ha demostrado que se logran obtener mayores rendimientos en una superficie determinada de policultivo en comparación con una superficie equivalente de monocultivo (Gómez *et al.*, 2018). Estudios demuestran que la diversidad de cultivos tiene efectos positivos en el rendimiento mediante la diferenciación, facilitación y complementariedad de nichos (Juventia *et al.*, 2020). Además, estabilizan la productividad en períodos de variabilidad económica, climática y/o biológica (Labeyrie *et al.*, 2021). Una manera de medir la ventaja en los rendimientos de los policultivos en comparación con monocultivos es media el Coeficiente de Tierra Equivalente o “Land Equivalent Ratio” (LER) (López-Ridaura *et al.*, 2021). El LER sería el área relativa requerida de monocultivo para producir el mismo rendimiento que se logra en una unidad de policultivo (Yu, 2016). Si el LER es mayor a 1, significa que es una asociación ventajosa en cuanto a productividad por unidad de superficie, si el LER es igual a 1, no hay diferencias entre el sistema de monocultivo y el policultivo, y si el LER es menor a 1, el sistema de monocultivo sería mejor en términos de productividad (Raigón *et al.*, 2006). Existe una gran variación del LER en diferentes estudios, desde valores de 0,77 para policultivo de trigo y arveja, a valores de 1,83 en policultivos de sorgo y maní (Yu *et al.*, 2015).

Basándose en el porcentaje de población de plantas, los sistemas de policultivo se pueden dividir en dos tipos, la serie aditiva y la serie de reemplazo. En la serie aditiva uno de los

cultivos, o ambos, en el caso de series completamente aditivas, se siembra con el 100% de su población recomendada en monocultivo, siendo este el cultivo base. El otro cultivo, en el caso de series parcialmente aditivas, es introducido en el cultivo base al ajustar su distancia entre hileras, siendo su población menor a la recomendada en monocultivo. En cuanto a la serie de reemplazo, ambos cultivos son llamados cultivos componentes y, al reducir cierta proporción de la población de un cultivo componente, se introduce el otro (Maitra *et al.*, 2019). La Densidad Relativa Total o “Relative Density Total” (RDT) es un índice que tiene relación con estos tipos de series y es calculada como la suma de las densidades relativas de las especies en policultivo comparadas con monocultivo. Un valor de RDT=1 indica serie de reemplazo, un valor igual a 2 indica serie completamente aditiva y, en cuanto a valores de RDT entre 1 y 2 indica series parcialmente aditivas (Yu, 2016).

Las leguminosas son plantas que incrementan la fertilidad del suelo, debido a que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico, gracias a la simbiosis que establecen con bacterias del género *Rhizobium*, formando nódulos en sus raíces (Acosta *et al.*, 2019; Espinoza *et al.*, 2018). Asimismo, son capaces de mejorar las cualidades tanto físicas como químicas del suelo (Alcántara y Riera, 2010). Por tanto, el uso de leguminosas en policultivos sería una buena alternativa, pudiendo lograr un mejor uso de los nutrientes, potenciando el desempeño en el crecimiento de ambos cultivos (Chamkhi *et al.*, 2022).

En el mundo, los principales cultivos utilizados en sistemas de policultivos son cereales con leguminosas, existiendo pocos estudios de sistemas de leguminosas en conjunto con otro tipo de cultivos, tales como las hortalizas. Particularmente, las hortalizas son muy relevantes en varios aspectos, por una parte, el consumo de hortalizas es de gran importancia para la dieta humana. Por otro lado, en Chile las hortalizas son mayoritariamente producidas por pequeños agricultores, siendo ellos los principales proveedores de hortalizas para el consumo por medio de ferias libres. Sin embargo, la pequeña agricultura en Chile posee un escaso uso de tecnologías y bajo acceso a programas de financiamiento (Boza *et al.*, 2019).

La utilización de sistemas de policultivos se asocia con varios desafíos (Bonke *et al.*, 2021). Algunos de estos son una mayor planificación al seleccionar los cultivos adecuados, la densidad de plantas y la disposición espacial de los cultivos, ya que estos pueden afectar bastante al rendimiento, adicionalmente, se dificultan ciertos manejos, como la mecanización, o el uso de agroquímicos, específicamente cuando cada cultivo posee distintos requerimientos de fertilización, herbicidas y pesticidas (Lithourgidis *et al.*, 2011). Aún existen muchos vacíos en esta práctica, y es necesaria una mayor investigación sobre las especies hortícolas que serían beneficiosas de utilizar en conjunto con leguminosas. Se requiere de una mayor disposición y acceso a este conocimiento para la incorporación de los policultivos en la agricultura de Chile y el mundo, de manera que los agroecosistemas estén en sintonía con la sustentabilidad y la conservación de la biodiversidad.

Pregunta de investigación

¿La asociación de cultivos de leguminosas con cultivos hortícolas produciría un aumento en el rendimiento por superficie en comparación con monocultivos?

Objetivo general

Identificar y analizar los efectos de cultivos asociados de hortalizas y leguminosas sobre el rendimiento.

Objetivos específicos

- Realizar y analizar una búsqueda sistemática de artículos científicos que contengan información de asociaciones de hortalizas y leguminosas, específicamente de sus efectos sobre el rendimiento.
- Comparar el rendimiento de cultivos hortícolas y leguminosas en monocultivo y cultivos asociados utilizando el Coeficiente de Tierra Equivalente (LER).
- Identificar las variaciones en el rendimiento que se producen entre distintas especies de hortalizas al intercalarse con leguminosas.
- Identificar los factores que determinan las variaciones en el Coeficiente de Tierra Equivalente (LER).

METODOLOGÍA

Estrategia de búsqueda

Durante 2022 y 2023 se realizó una revisión sistemática siguiendo la guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Moher, 2009). Esta guía se utilizó con el fin de lograr identificar y seleccionar, idealmente, todos aquellos artículos que tuvieran información referente a sistemas de policultivos de hortalizas y leguminosas y sobre los efectos producidos en el rendimiento por superficie de estos cultivos.

Primeramente, se realizó una selección de especies de hortalizas que podrían aparecer en artículos relacionados con policultivos de hortalizas y leguminosas. Luego de la selección inicial, se realizaron diferentes búsquedas para cada especie de hortaliza en dos bases de datos electrónicas: Web of Science y Scopus. El motor de búsqueda se restringió a los siguientes elementos; título, resumen y palabras clave. Las palabras claves se seleccionaron en base a la pregunta de investigación y, adicionalmente, se utilizaron métodos de automatización, tales como operadores booleanos y métodos de truncado de palabras. Para todas las búsquedas se excluyeron aquellos artículos que habían sido publicados antes del 2003.

Se realizaron búsquedas para: tomate, papa, cebolla, ajo, repollo, coliflor y zapallo. Sin embargo, solo se incluyeron las tres hortalizas que lograron tener suficientes artículos científicos para desarrollar el análisis (tomate, repollo y papa¹).

Las búsquedas se llevaron a cabo entre septiembre y octubre del año 2022 y se utilizaron las siguientes palabras claves, en donde solo varió el nombre de la hortaliza en cuestión: (legume OR bean OR lentil OR faba bean OR chickpea OR pea OR vetch) AND (tomato* OR *Solanum lycopersicum*) AND yield AND (intercrop* OR mixed crop*).

Por último, se revisaron las referencias bibliográficas de cada uno de los artículos seleccionados, con el objetivo de detectar posibles artículos que no se encontraron en la búsqueda con palabras claves.

Selección de artículos y criterios de inclusión

Los resultados de las búsquedas se compilaron en una planilla de cálculos, lo que permitió someterlos a diversos criterios de inclusión, inicialmente en base a la lectura del título y resumen de cada artículo. Esta primera revisión permitió excluir aquellos artículos que no cumplían con los primeros dos criterios de inclusión. En una segunda etapa, los artículos incluidos se sometieron a una etapa de revisión sobre la base de la lectura completa de los artículos, donde se evaluaron los criterios 3 y 4, y, además, se aseguró que se adecuaban completamente a todos los criterios de elegibilidad.

¹ La papa (*Solanum tuberosum*) fue considerada como una hortaliza para efectos de este trabajo.

Los artículos debían cumplir con la totalidad de los siguientes criterios de inclusión:

1. Artículo debe ser un estudio original, de carácter experimental, es decir, se excluyeron revisiones, y debía estar disponible en inglés o español.
2. Artículo debe incluir, como sujetos de estudio, el cultivo de la hortaliza específica a cada búsqueda y leguminosa asociada, esta última pudiendo ser tanto de grano seco como hortícola.
3. Debe realizar una comparación de la hortaliza y leguminosa como monocultivo y como policultivo.
4. Artículo debe tener, en sus resultados, el rendimiento en monocultivo y policultivo, tanto de la hortaliza como de la leguminosa, o tener como resultado el Coeficiente de Tierra Equivalente o Land Equivalent Ratio (LER).

Extracción de datos

Se creó una planilla de extracción de datos, de manera de compilar la información de los diferentes artículos. Esta incluía los siguientes campos: nombre del artículo, autor/es, año de publicación, país en que se realizó el estudio, especie y variedad de hortaliza, especie y variedad de leguminosa, tipo de asociación utilizada, fertilización de nitrógeno (kg/ha), densidad de plantas en monocultivo y en policultivo (plantas/ha).

Adicionalmente se generó una segunda planilla, la cual comprendía los siguientes campos: nombre del artículo, tratamiento, rendimiento (kg/ha), LER hortaliza, LER leguminosa, LER policultivo, LER promedio por año, relación de plantas (hortaliza: leguminosa), Densidad Relativa Total (RDT). Algunos de estos datos fueron calculados en este estudio.

En los casos en que un artículo haya analizado a más de una especie de leguminosa u hortaliza, estos análisis se consideraron como estudios distintos.

Cálculo del Coeficiente de Tierra Equivalente (LER)

En aquellos artículos en que se presentaba el cálculo del LER, se utilizó el valor presentado por dicho artículo. En tanto en los artículos que no presentaban el cálculo del LER, éste se obtuvo en base a los resultados de rendimiento presentados para cada cultivo como monocultivo y como policultivo.

El Coeficiente de Tierra Equivalente (LER) se calculó según la siguiente fórmula (Mead y Willey, 1980):

$$LER = La + Lb = \frac{Ya}{Sa} + \frac{Yb}{Sb}$$

donde L_a y L_b son los LER para los cultivos individuales, Y_a e Y_b son los rendimientos de cultivos individuales en policultivo, y S_a y S_b son los rendimientos como monocultivos.

Cálculo Densidad Relativa Total (RDT)

Se realizó el cálculo de la Densidad Relativa Total (RDT) en todos aquellos artículos en los que se tenían los datos necesarios, sin embargo, hubo artículos en los cuales no fue posible ese cálculo, por tanto, esos artículos no fueron incluidos en los análisis del RDT.

Para realizar el cálculo del RDT se utilizó la siguiente fórmula (Yu, 2016):

$$RDT = \frac{D_{1,ic}}{D_{1,sc}} + \frac{D_{2,ic}}{D_{2,sc}}$$

donde $D_{1,ic}$ y $D_{2,ic}$ son las densidades de las especies 1 y 2 respectivamente, en policultivo, y $D_{1,sc}$ y $D_{2,sc}$ son las densidades de las especies 1 y 2 respectivamente, en monocultivo.

RESULTADOS

Análisis de la estrategia de búsqueda

Se realizaron búsquedas para siete hortalizas (tomate, papa, cebolla, ajo, repollo, coliflor y zapallo), de las cuales, solo tres se utilizaron finalmente en la revisión sistemática: tomate (*Solanum lycopersicum*), papa (*Solanum tuberosum*) y repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*). Al realizar las búsquedas de cebolla, ajo, coliflor y zapallo, no se logró obtener un número suficiente de artículos para realizar la revisión sistemática. Esto fue debido a que los artículos que pasaron la primera fase de selección luego no lograron pasar la segunda fase, quedando un nulo o muy bajo número de artículos que podían ser incluidos en la revisión, teniendo que excluir de la revisión estas especies.

Para las búsquedas realizadas en Web of Science y Scopus se obtuvo como resultado un total de 87 artículos para tomate, 119 para papa y 45 para repollo, dando un total general de 251 artículos científicos (Figura 1).

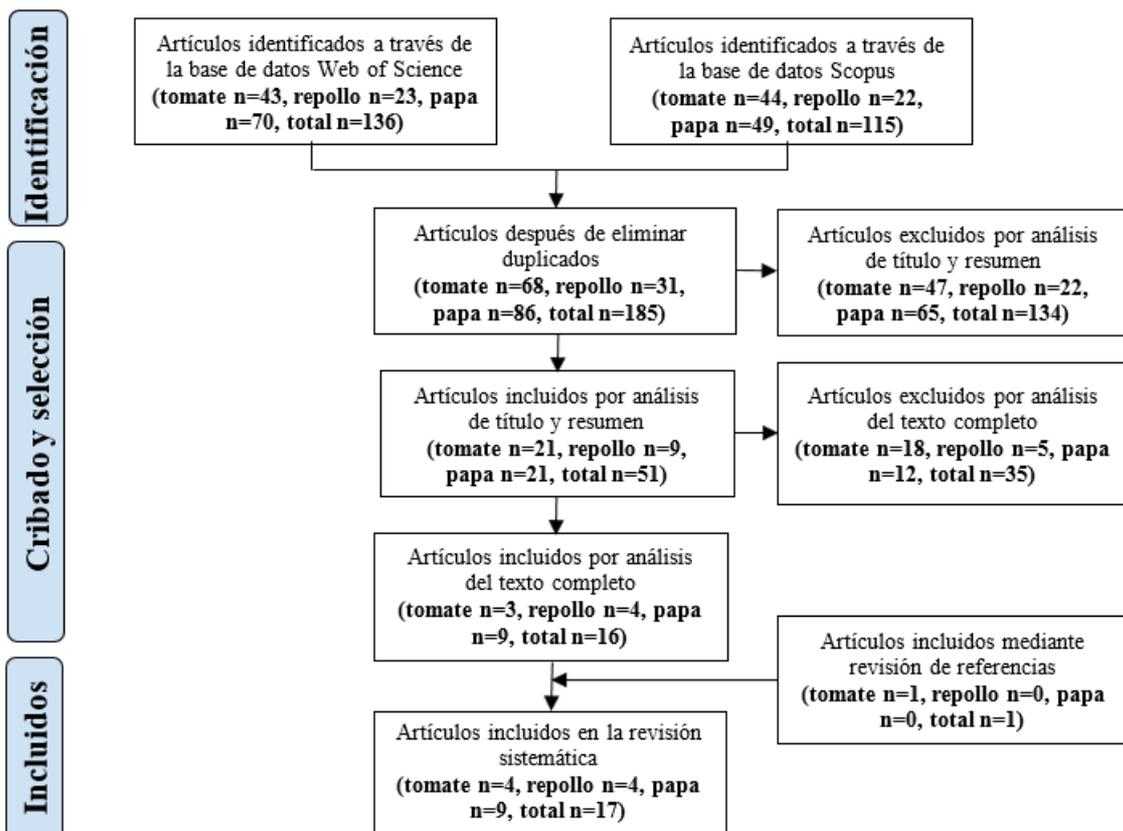


Figura 1. Diagrama PRISMA con resultados de búsqueda y selección de artículos.

En la Figura 1 se puede observar que luego de eliminar los duplicados, permanecieron 68 artículos para tomate, 86 para papa y 31 para repollo, dando un total de 185 artículos, los

cuales se sometieron a una primera revisión del título y resumen. De esta primera revisión pasaron 21, 21 y 9 artículos para tomate, papa y repollo, respectivamente, quedando un total de 51 artículos. Posterior a una segunda revisión del texto completo, se mantuvieron 3 artículos para tomate, 9 para papa y 4 para repollo. Adicionalmente, se agregó un artículo para tomate a partir de las referencias de los artículos ya incluidos, resultando finalmente en cuatro artículos para tomate, cuatro para repollo y nueve para papa, lo que daría un total de 17 artículos científicos. Sin embargo, el total de artículos incluidos en la revisión sistemática fue de 15, esto debido a que hubo un artículo que se repitió para las 3 hortalizas.

En el Cuadro 1 se puede apreciar la lista de los 15 artículos incluidos en la revisión sistemática, con sus autores respectivos, el año de publicación y el título del artículo.

Cuadro 1. Artículos incluidos en la revisión sistemática.

Autor (es)	Año	Título artículo
Adeniyi	2021	- Economic aspects of intercropping systems of vegetables (okra, tomato and cowpea)
Asl <i>et al.</i>	2009	- Potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) and pinto bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L. var. Pinto) intercropping based on replacement method
Bavec <i>et al.</i>	2012	- White cabbage productivity in intercropping production systems
Bindra y Thakur	2005	- Legume intercropping with potato (<i>Solanum tuberosum</i>)-based cropping system at varied fertility levels under high hills dry temperate conditions of Himachal Pradesh
Dua <i>et al.</i>	2005	- Production potential and competition indices in potato (<i>Solanum tuberosum</i>) plus French bean (<i>Phaseolus vulgaris</i>) intercropping system in Shimla hills
Dua <i>et al.</i>	2017	- Effect of nitrogen application to intercrops on yield, competition, nutrient use efficiency and economics in potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) plus French bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) system in north-western hills of India
El-Gaid <i>et al.</i>	2014	- Effects of intercropping system of tomato and common bean on growth, yield components and land equivalent ratio in new valley governorate
Gitari <i>et al.</i>	2020	- Revisiting intercropping indices with respect to potato-legume intercropping systems
Guvenc y Yildirim	2006	- Increasing productivity with intercropping systems in cabbage production
Manorama y Lal	2010	- Potato (<i>Solanum tuberosum</i>) based intercropping systems for southern hills
Nyawade <i>et al.</i>	2020	- Enhancing Climate Resilience of Rain-Fed Potato Through Legume Intercropping and Silicon Application
Ren <i>et al.</i>	2019	- Intercropping potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) with hairy vetch (<i>Vicia villosa</i>) increases water use efficiency in dry conditions
Reynafarje <i>et al.</i>	2014	- Mixed cropping of vegetables to improve organic tomato (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) production in small farmer systems
Shanmugam <i>et al.</i>	2022	- Complementary resource use in intercropped faba bean and cabbage by increased root growth and nitrogen use in organic production
Sharma <i>et al.</i>	2006	- Evaluation of <i>Phaseolus vulgaris</i> as intercrop with vegetables for enhancing productivity system and profitability under high hill dry temperate conditions of north-western Himalayas

Distribución temporal y geográfica de los artículos seleccionados

A partir de los artículos seleccionados, se procedió a disgregar todos los estudios realizados en cada artículo, esto debido a que en algunos artículos se evaluó más de una especie de leguminosa y/o de hortaliza, por consiguiente, se identificó un total de 24 estudios provenientes de los 15 artículos incluidos en la revisión sistemática.

En la Figura 2 se puede observar cómo en los años 2005, 2006 y 2020 hubo un mayor número de estudios que de artículos, siendo el año 2006, con siete estudios, el año con mayor cantidad. Por otra parte, en los años 2009, 2010, 2012, 2014, 2016, 2017, 2019 y 2021, la cantidad de estudios no superó la cantidad de artículos y se mantuvo igual.

A partir de la búsqueda realizada entre los años 2003 y 2022, del total de artículos seleccionados, un 53,3% fue publicado dentro de los últimos 10 años. Por otra parte, desde el año 2003 hasta el año 2012, se encontró un 46,7% de los artículos publicados (Figura 2). Los años con mayor cantidad de artículos publicados fueron 2005, 2006, 2020 y 2021, con 2 artículos cada uno.

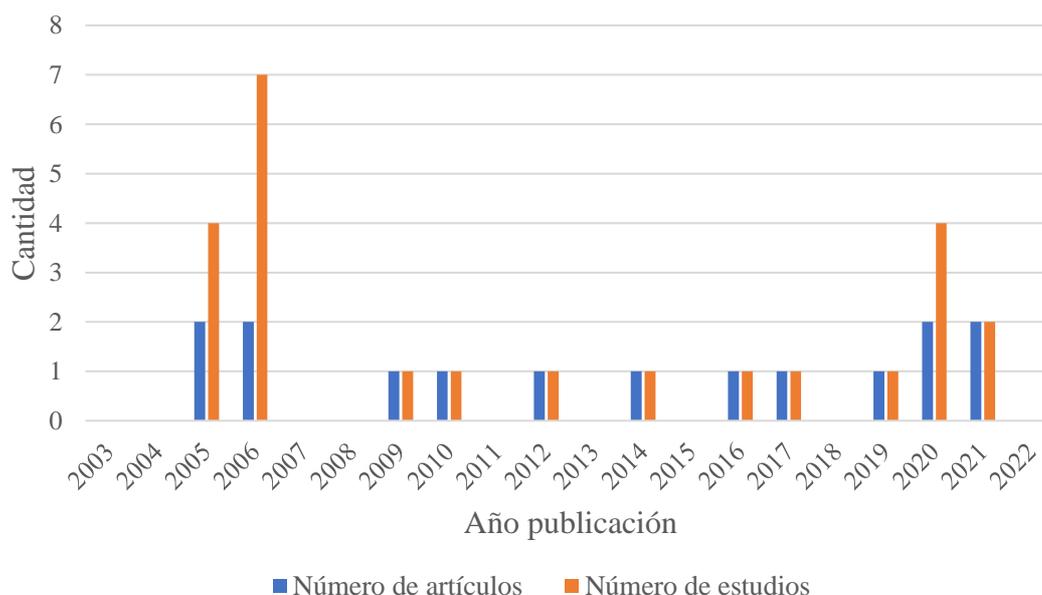


Figura 2. Número de artículos y estudios incluidos en la revisión sistemática por año de publicación.

En cuanto a la distribución geográfica de los artículos (Figura 3), un 53,3% tienen su origen en Asia, específicamente en India (5 artículos), China (1), Irán (1) y Turquía² (1). A este le sigue el continente africano, con un 26,7% de los artículos, específicamente Kenia (2), Egipto (1) y Nigeria (1). Por su parte, un 13,3% de los artículos tienen origen en Europa, con solo 2 países, Dinamarca (1) y Eslovenia (1). Por último, América del sur solo presentó un 6,7% de los artículos, específicamente en Perú (1).

²Turquía para estos efectos se consideró parte de Asia y no parte de Europa, debido a que aproximadamente un 97% de la superficie del país es parte del continente asiático (Oficina de Información Diplomática, 2023).

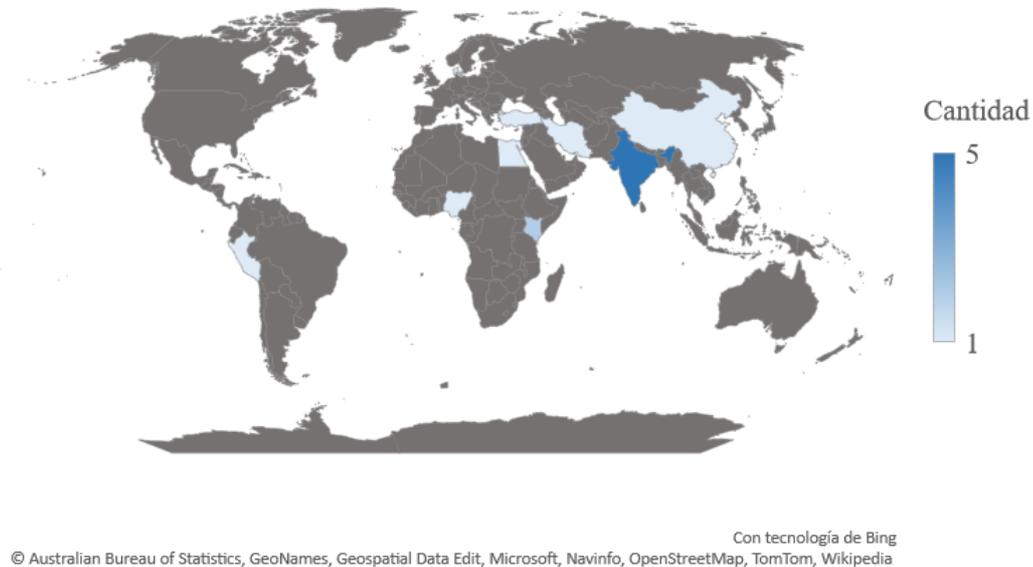


Figura 3. Distribución geográfica de los artículos incluidos en la revisión sistemática.

Información general de los artículos seleccionados

En los distintos artículos incluidos en la revisión sistemática, se utilizaron seis especies de leguminosas: poroto (*Phaseolus vulgaris*), arvejilla vellosa (*Vicia villosa*), zarandaja (*Lablab purpureus*) caupí (*Vigna unguiculata*), haba (*Vicia faba*) y arveja (*Pisum sativum*).

En relación con la recurrencia de las especies de leguminosas en los diferentes estudios, *Phaseolus vulgaris* se utilizó como leguminosa asociada en un 70,8% de estos. Por otra parte, *Vicia villosa* y *Lablab purpureus* fueron utilizadas cada una en un 8,3% de los estudios, y, por último, *Vigna unguiculata*, *Vicia faba* y *Pisum sativum* fueron las con menor recurrencia en los estudios, con solo un 4,2% cada una. Al centrarse sólo en *Phaseolus vulgaris* y en las distintas variedades utilizadas, poroto verde fue la leguminosa más utilizada (9 estudios), seguida por poroto rajmash o rojo (4 estudios), poroto común (3 estudios), y por último poroto pinto (1 estudio).

En relación con los tipos de asociaciones utilizados en los diferentes estudios, se identificaron tres, los cuales son: cultivo en hileras, cultivo intercalado y cultivo en franjas (Figura 4). El tipo de asociación de cultivo en hileras fue el predominante, con un 79,16% del total de estudios. Hubo un porcentaje de estudios que no incluyó información sobre el tipo de asociación, siendo un 8,3% del total. El tipo de asociación de cultivo intercalado se utilizó en un 8,3% de los estudios, y el cultivo en franjas solo en un 4,16%. Por otra parte, el tipo de asociación de cultivo en hileras fue el único tipo de asociación que estuvo presente en estudios de las tres hortalizas. El tipo de asociación de cultivo intercalado solo estuvo presente en estudios de tomate y el cultivo en franjas solo en estudios de papa.

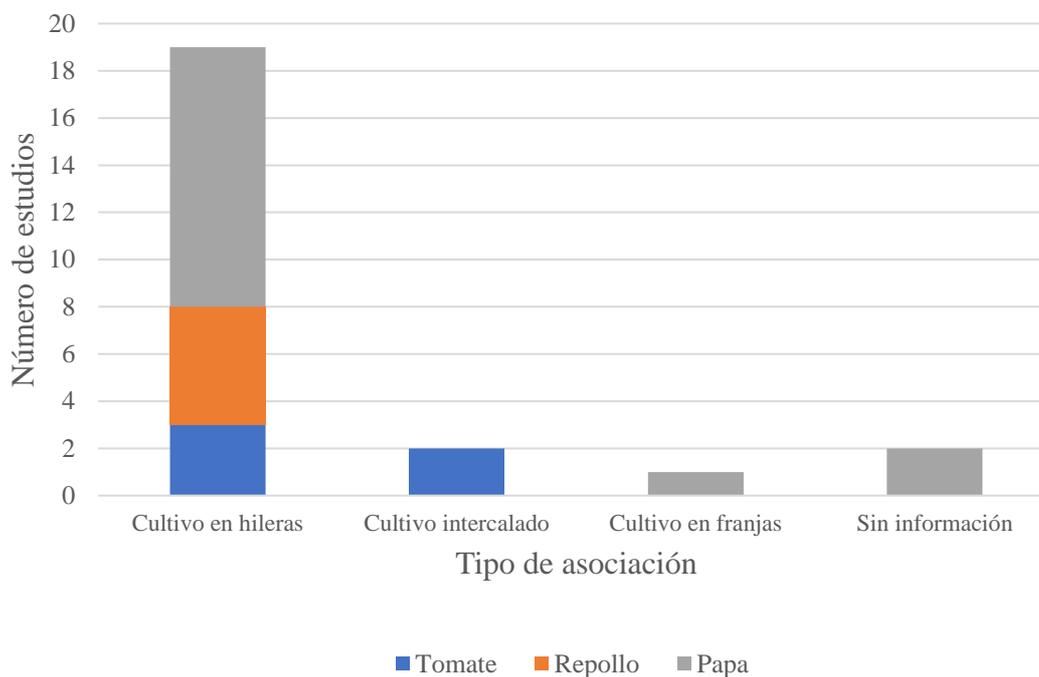


Figura 4. Cantidad de estudios por tipo de asociación de cultivos utilizada.

Coeficiente de Tierra Equivalente (LER)

Al comparar los rendimientos de hortalizas y leguminosas en monocultivo y en policultivo de los diferentes estudios seleccionados, utilizando el Coeficiente de Tierra Equivalente, se observó que un 97,33% de los casos tuvieron como resultado un LER igual o superior a la unidad, y en un 94,66% de los casos un LER superior a 1. Para el total de datos (n=75) el promedio de LER fue de 1,25. En cuanto a la mediana del total de datos esta fue de 1,21 (Figura 5). En la Figura 5 se puede ver que el 50% del total de los datos de LER se encontró entre 1,17 y 1,35. En cuanto a los valores más altos, estos fueron de 1,76 y 1,70, ambos valores atípicos. Hubo solo dos valores de LER menores a 1,0, de 0,8 ambos, los cuales fueron valores atípicos, y fue en la asociación de tomate con caupí (Figura 5 y 6).

Si se analizan los datos de LER por cada especie de hortaliza asociada con leguminosa, para papa, el valor más bajo de LER fue de 1, en asociación con arveja peluda, y para repollo fue de 1,06, en asociación con haba (Fig. 6). En cuanto a los valores máximos, para papa con poroto, se obtuvo un LER de 1,76 (valor atípico), para tomate con caupí fue de 1,60 (valor atípico) y para repollo con poroto de 1,59. Se puede decir que los casos de asociación de tomate tuvieron una mayor distribución de datos de LER. En cuanto a papa, la distribución de datos fue muy similar a la de tomate, aunque un poco menor, y, por último, repollo tuvo la menor distribución de datos.

En la Figura 6, se observa que, en la asociación de papa con leguminosas, un 50% de los datos de LER se concentra entre 1,17 y 1,35. En tanto, en tomate asociado con

leguminosas, un 50% de los datos de LER estaban entre 1,05 y 1,20; por último, para repollo asociado con leguminosas, el 50% de los datos de LER se distribuyen entre 1,24 y 1,52. El promedio de LER para repollo fue de 1,35, seguido de papa con un LER de 1,26 y por último tomate con LER de 1,15. La mediana para tomate fue de 1,20, para papa 1,22 y para repollo 1,28.

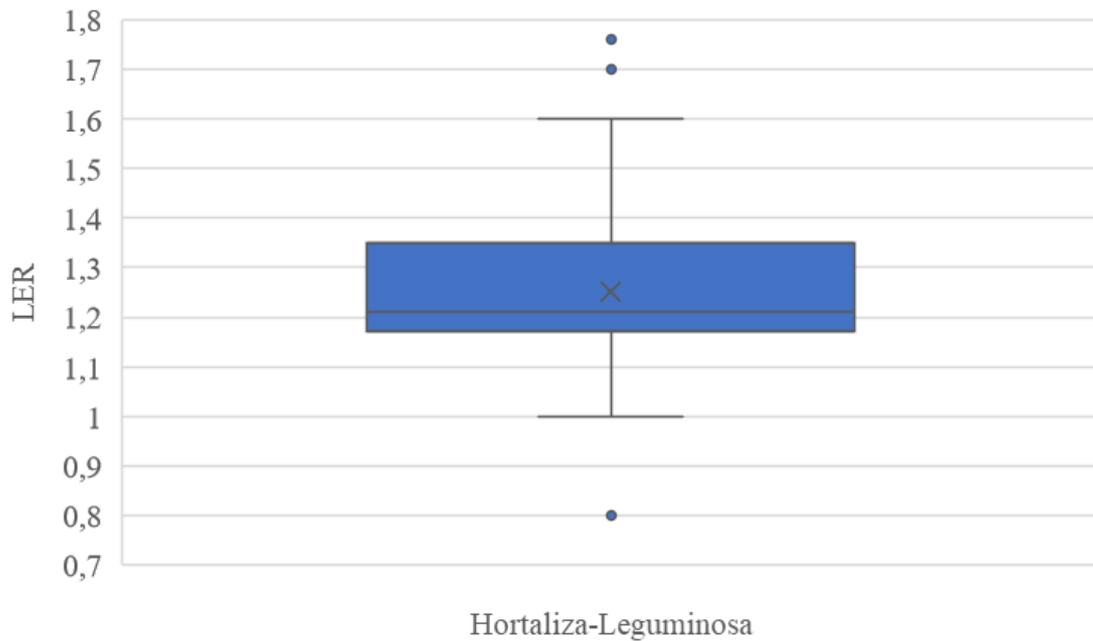


Figura 5. Distribución de los valores de Coeficiente de Tierra Equivalente (LER) de las distintas asociaciones de hortaliza y leguminosa, para el total de casos de los estudios incluidos (n=75). El recuadro azul corresponde al 50% de los datos. La línea horizontal dentro del recuadro corresponde a la mediana, los extremos de abajo y arriba de la caja corresponden a los percentiles 25 y 75 respectivamente. Las líneas verticales de abajo y arriba del recuadro, corresponden a los rangos del 25% de valores de datos de la parte inferior y el 25% de la parte superior, respectivamente, excluyendo los valores atípicos. Los puntos corresponden a valores atípicos, y la X al promedio del total de los datos.

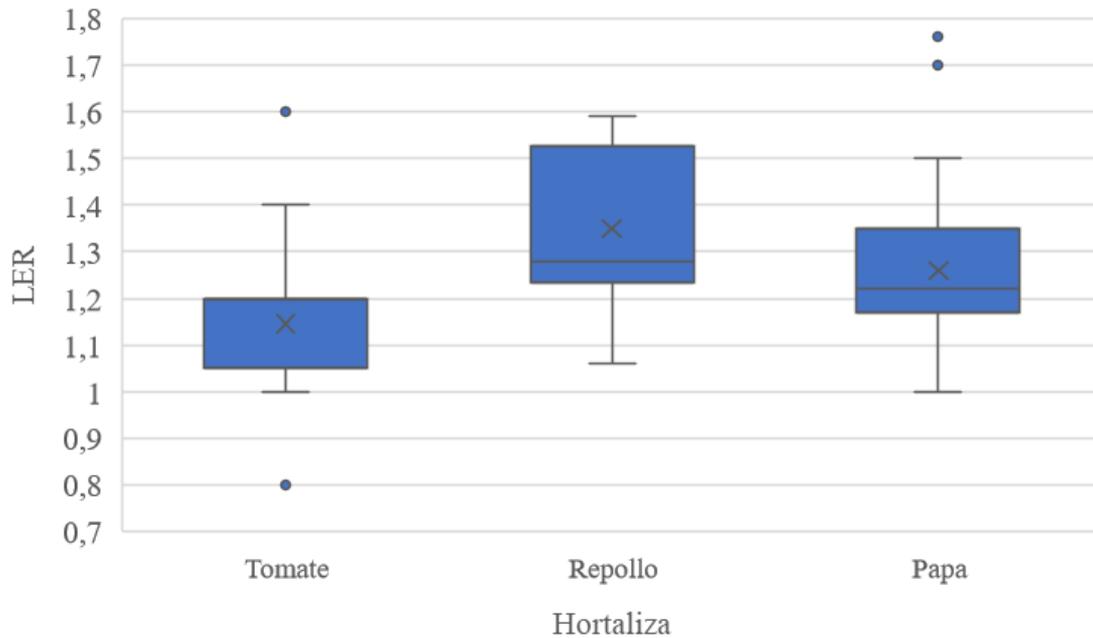


Figura 6. Distribución de valores de Coeficiente de Tierra Equivalente (LER) según las distintas asociaciones de hortalizas, papa (n=53), tomate (n=13) y repollo (n=9), con leguminosas. El recuadro azul corresponde al 50% de los datos, las líneas horizontales dentro del recuadro corresponden a las medianas, los extremos de abajo y arriba de la caja corresponden a los percentiles 25 y 75 respectivamente. Las líneas verticales de abajo y arriba del recuadro, corresponden a los rangos del 25% de valores de datos de la parte inferior y el 25% de la parte superior, respectivamente, excluyendo los valores atípicos. Los puntos corresponden a valores atípicos y las X al promedio de cada hortaliza.

La Figura 7 muestra una comparación de los valores promedio de LER según las distintas especies de leguminosas asociadas con hortalizas, donde se puede observar que el poroto fue la única leguminosa que se repitió para las tres hortalizas. La leguminosa con valor promedio de LER más alto fue el poroto, en asociación con repollo, con un valor de 1,39. La asociación de arveja con papa obtuvieron el segundo LER más alto, con un valor de 1,31. En tanto las leguminosas con LER más bajo fueron el haba en asociación con repollo, con un valor de 1,06 y el caupí en asociación con tomate, con un valor de 1,12. Al analizar exclusivamente resultados de poroto (Figura 7), se puede observar que en asociación con repollo se obtuvo el mayor valor promedio de LER, seguido por la asociación con papa y tomate, con valores de 1,26 y 1,25 respectivamente. Adicionalmente, se observa que todos los valores promedios de LER para las diferentes especies de leguminosas fueron mayores a 1,0.

La leguminosa más utilizada en asociación con hortalizas fue el poroto, y, adicionalmente al poroto común se pudieron distinguir variedades como el poroto rajmash o rojo, poroto verde y poroto pinto, por lo que se procedió a realizar una comparación entre estos distintos tipos de poroto en asociación con hortalizas y sus valores promedio de LER, de manera de ver si existió un efecto varietal (Figura 8). En este caso se puede distinguir que tanto el poroto común, rajmash y verde se utilizaron como asociación para las tres hortalizas estudiadas. En el caso de poroto pinto, solo se estudió en asociación con papa.

Adicionalmente, en la Figura 8 se observó que la leguminosa con valores promedio de LER más alto, para las tres asociaciones de hortalizas, fue el poroto rajmash, teniendo la asociación con repollo el mayor valor (1,57), seguido de la asociación con tomate (1,45) y luego la asociación con papa (1,4). Los valores de LER promedios más bajos se obtuvieron con poroto común en asociación con tomate (1,17), seguido de poroto pinto en asociación con papa (1,21) y poroto común en asociación con repollo (1,21).

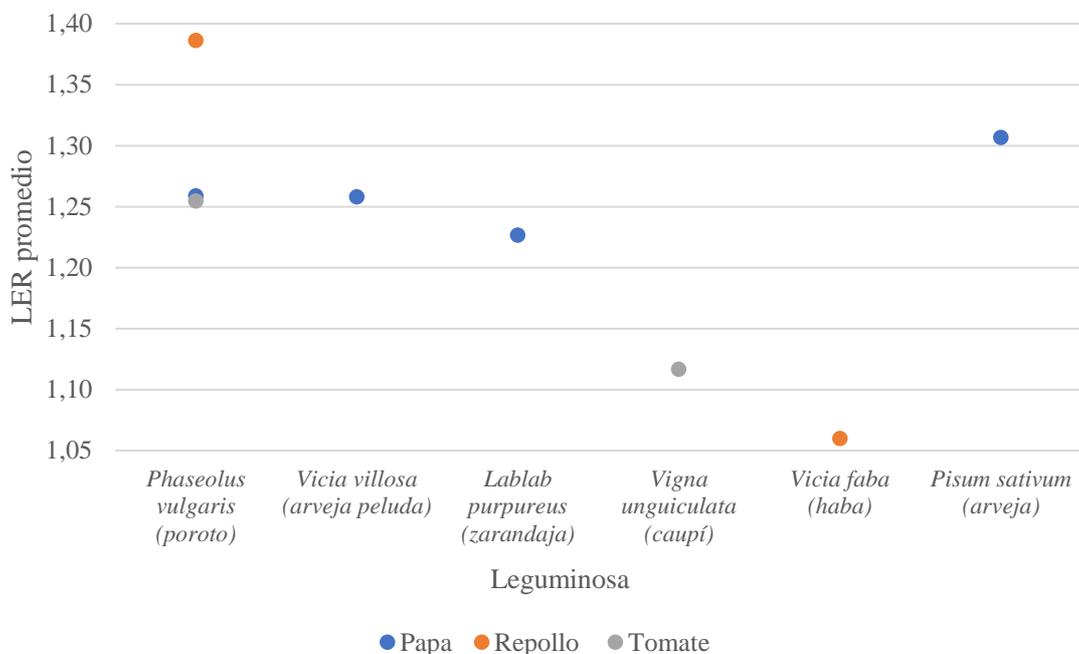


Figura 7. Valores promedio de Coeficiente de Tierra Equivalente (LER) según las distintas especies de leguminosas utilizadas en asociación con los cultivos hortícolas.

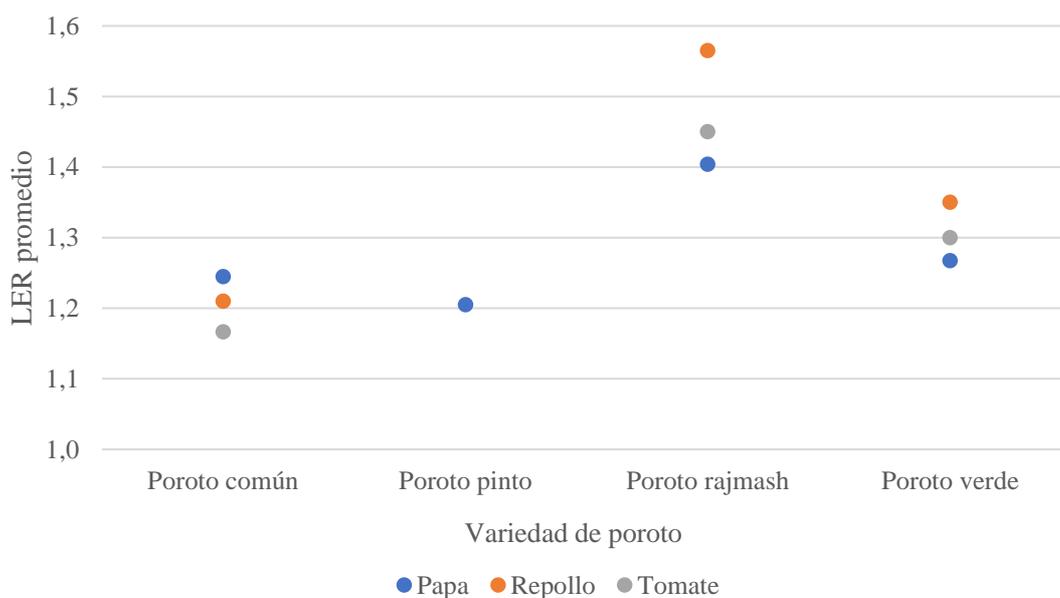


Figura 8. Valores promedio de Coeficiente de Tierra Equivalente (LER) según las distintas variedades de poroto utilizadas en asociación con cultivos hortícolas.

Se realizó un análisis del factor fertilización de nitrógeno en el policultivo y su relación con el LER, el que se puede observar en la Figura 9, sin embargo, no en todos los estudios estaba disponible esta información, por lo que solo se analizaron aquellos estudios que sí tenían información de la fertilización nitrogenada. Se puede ver que la línea de tendencia tiene una pendiente bastante baja y es más bien horizontal. También se puede observar que, en los casos en que no se realizó fertilización de nitrógeno, hubo una gran variación en el LER, desde el LER más bajo de 0,8 hasta un valor de LER de 1,6. La mayor fertilización de N fue de 240 kg/ha de nitrógeno, teniendo un LER de 1,21.

Por otro lado, se pretendió analizar la relación del LER y la Densidad Relativa Total (RDT), en las distintas asociaciones de hortalizas y leguminosas. En la Figura 10 se puede observar que para las tres hortalizas existe una relación lineal entre el LER y el RDT, al incrementar el RDT aumentaría el LER. Es decir, al aumentar la Densidad Relativa Total por sobre 1 (serie de reemplazo) aumentaría el LER. Aun así, existen algunas excepciones, es decir, datos que no siguen esta tendencia. Algunos de estos valores se dieron para papa, con un valor de LER de 1,7 al tener un RDT de 1; para tomate, con un LER de 1,6 al tener un RDT de 1 y también para tomate, con un LER de 1,2 al tener un RDT de 2. Adicionalmente, se pudo observar que las tres líneas de tendencia, para las distintas hortalizas, tuvieron distintas pendientes. La línea de tendencia de repollo posee una mayor pendiente, seguida de la línea de tendencia de tomate y, por último, la papa tuvo la línea de tendencia con menor pendiente. El valor más bajo de LER (0,8) fue para tomate, y se dio con un RDT de 1. Por otra parte, el valor más alto de LER (1,76) fue para papa, con un RDT de 1,5.

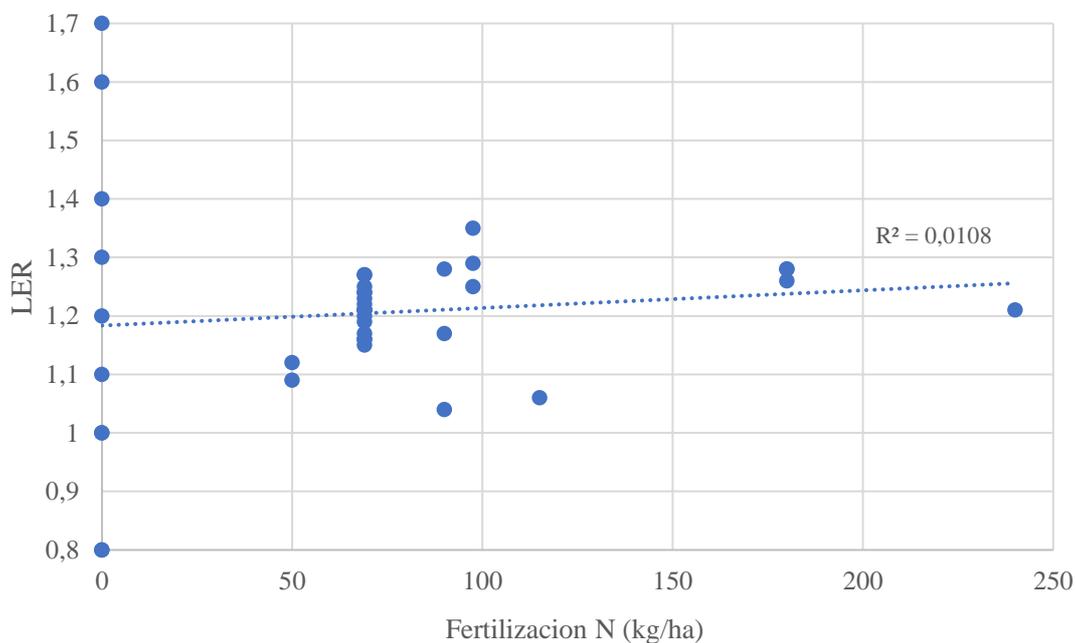


Figura 9. Relación entre los valores de Coeficiente de Tierra Equivalente (LER) y la fertilización de nitrógeno (kg/ha) aplicada al policultivo, en los distintos estudios (n=39).

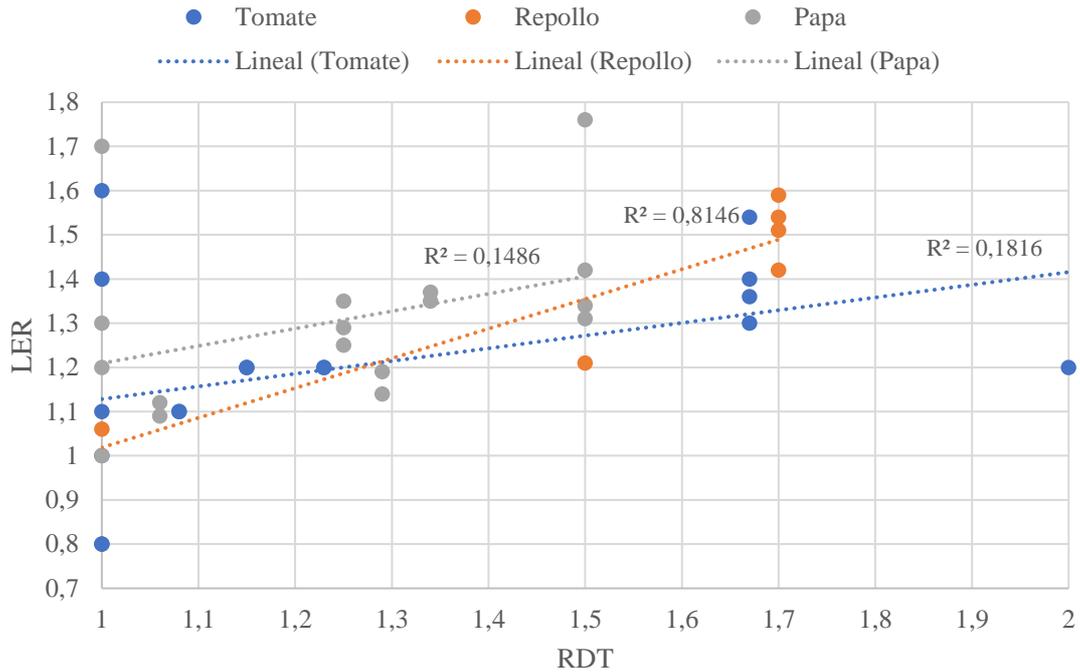


Figura 10. Valores de Coeficiente de Tierra Equivalente en función de la Densidad Relativa Total (RDT) de los distintos cultivos hortícolas, papa (n=17), tomate (n=17) y repollo (n=6), asociados con leguminosas.

Por último, se compararon las distintas relaciones de plantas hortaliza:leguminosa (H:L) y los valores promedio de LER para cada una (datos no mostrados). En este caso solo se pudieron incluir algunos estudios, ya que no en todos se tenía información sobre la relación de plantas de hortaliza y leguminosa. Se pudo notar que, para cada hortaliza en asociación con leguminosa, se utilizaron distintas relaciones de plantas. Aun así, algunas se repitieron, como la relación H:L 2:1, 1:1, 1:2 y 1:3 presentes en tomate y papa. Sin embargo, no existió ninguna tendencia al aumentar o disminuir la proporción de hortaliza o leguminosa y el valor del LER.

DISCUSIÓN

Estrategia de búsqueda

La presente revisión sistemática logró incluir en el análisis un total de 15 artículos científicos, que contemplan tres especies de hortalizas y seis especies de leguminosas. Para evaluar la estrategia de búsqueda utilizada, se calculó la sensibilidad de esta, definida como el número de informes relevantes identificados dividido por el número total de informes relevantes existentes, y también se calculó la precisión, definida como el número de informes relevantes identificados dividido por el número total de informes identificados (The Cochrane Collaboration, 2011). Lo que se busca generalmente es maximizar la sensibilidad, logrando al mismo tiempo mantener una precisión razonable (Higgins *et al.* 2023). En este caso, la sensibilidad de la estrategia de búsqueda fue de 93,3% (14 de 15) y la precisión fue de 8,1% (15 de 185). La estrategia de búsqueda utilizada recuperó un gran número de artículos, en relación con el tema tratado, logrando así obtener la mayoría de los artículos relevantes. Solo un artículo relevante se encontró por otros métodos (alta sensibilidad), sin embargo, hubo muchos que no fueron relevantes y no fueron utilizados (baja precisión), lo que indica una baja capacidad de la estrategia de búsqueda de excluir artículos que no fueran relevantes (The Cochrane Collaboration, 2011).

Una posible razón de que el valor de precisión fuera bajo es que muchos de los artículos que pasaban la primera fase de revisión de título y resumen, luego no pasaron la segunda fase de texto completo, ya que la mayoría no tenía datos de rendimiento de la leguminosa en monocultivo, de manera que no era posible calcular el LER. Aun así, es bastante normal tener un bajo valor de precisión al tener un alto valor de sensibilidad, y viceversa, puesto que estos índices tienen una relación inversa (Gehanno *et al.*, 2009).

Distribución temporal y geográfica

Respecto a los años de publicación de los artículos seleccionados, se puede notar que la cantidad de artículos se mantuvo bastante constante a lo largo de los últimos 20 años (Figura 2). El artículo más reciente fue publicado el 2021, lo que indica que el tema de investigación sigue siendo vigente y estudiado.

En cuanto a la distribución geográfica de los artículos (Figura 3), el origen de la mayoría de los artículos se encuentra en el continente asiático, seguido del continente africano, siendo India el país predominante. Esto se debe a que este tipo de sistemas de policultivos son altamente utilizados en países en desarrollo (Vlahova, 2022). Sin embargo, hubo un porcentaje no menor de artículos cuyo origen fue en Europa. Yang *et al.* (2021) señalan que en Europa este tipo de sistemas es menos utilizado, sin embargo, tanto agrónomos como científicos los utilizan de manera de dar con una solución a los problemas que conlleva el uso de la agricultura intensiva. Por otro lado, en 2019 la Comisión Europea presentó el Pacto Verde o Green Deal, el cual establece ciertas medidas y líneas de acción para convertir a la Unión Europea en una zona climáticamente neutra para el 2050, donde

una de sus metas es aumentar la superficie dedicada a la agricultura ecológica (Fundación Triptolemos, 2021). Esto reflejaría que los países más desarrollados han mostrado un interés creciente en sistemas agrícolas más sustentables y agroecológicos, como lo son los policultivos.

Información general de los artículos seleccionados

La hortaliza con mayor cantidad de artículos fue la papa, lo cual se explica debido a que es el cuarto cultivo más importante a nivel mundial, con 370 millones de toneladas producidas y una superficie cultivada de 17,3 millones de hectáreas (Acuña y Martínez, 2023). Referente a las leguminosas utilizadas en asociación con las distintas hortalizas, la principal especie utilizada fue el poroto (*Phaseolus vulgaris*), lo que puede justificarse considerando que es la leguminosa más importante para el consumo humano en todo el mundo (Suárez-Martínez *et al.*, 2016). Esto explicaría el hecho de que exista un mayor número de estudios de sistemas de policultivo que utilizan al poroto como la principal leguminosa.

Por otro lado, en los sistemas de policultivos existen diversos tipos de patrones de distribución de los cultivos o tipos de asociaciones. Entre estos están los cultivos mixtos, donde no existe una secuencia específica y la distribución de los cultivos es aleatoria, que es el que más se asemeja a los sistemas naturales. También están los cultivos intercalados, en los cuales en una misma hilera se intercalan los diferentes cultivos. Por otro lado, los cultivos en hilera se basan en intercalar una hilera de un cultivo con una hilera de otro cultivo y los cultivos en bandas o franjas, en donde se intercalan franjas constituidas por más de una hilera de los distintos cultivos (Adamczewska-Sowińska y Sowiński, 2020). En esta revisión, el tipo de asociación más utilizada en los estudios fue el cultivo en hileras (Figura 4), la cual es una práctica común que está enfocada en maximizar el uso de los recursos y la productividad (Maitra *et al.*, 2021).

En otras revisiones de policultivos se encontró que, para cereales de grano pequeño y leguminosas, el tipo de asociación más utilizada fue el de cultivos mixtos, para policultivos de maíz y leguminosas fue cultivo en hileras y para otros policultivos fue cultivos mixtos, esto en base a un metaanálisis donde se incluyeron 39 artículos (Gu *et al.*, 2021). También, Yu *et al.* (2015) encontraron que el tipo de asociación más utilizada fue cultivo en franjas, seguido por cultivos mixtos y por último cultivo en hileras el menos utilizado, esto basado en el análisis de un set de datos de 100 publicaciones de policultivos, en su mayoría de leguminosas en conjunto con no leguminosas. En esta revisión en cambio, no hubo estudios con el tipo de asociación de cultivos mixtos, siendo que en las otras revisiones fue una de las más utilizadas. Esto puede deberse a que los cultivos mixtos son más adecuados para utilizar con gramíneas y leguminosas en pastizales (Vlahova, 2022).

Se podría suponer que el tipo de asociación en hileras fue la más utilizada en los estudios seleccionados, ya que, al utilizarse especies de hortalizas, se realiza una cosecha manual, la cual se adapta bien a este tipo de asociación. Aunque, en ese caso, la asociación en franjas también funciona bien para ese tipo de cosecha, sin embargo, debido a que las franjas pueden ser bastante anchas y llegar a tener una gran cantidad de hileras del mismo cultivo esto permite cosechar de manera independiente cada cultivo, pudiendo usarse

maquinaria de ser necesario, por lo que esta asociación puede ser más usada para otros tipos de cultivos como cereales o leguminosas forrajeras (Vlahova, 2022). Esta podría ser una razón de por qué el tipo de asociación de cultivo en franjas no fue tan utilizado en los estudios seleccionados.

Coeficiente de Tierra Equivalente (LER)

Respecto a los resultados obtenidos de LER, del total de casos analizados en esta revisión (n=75), se observó que un 94,66% tuvo un LER mayor a 1, es decir, el general de los casos analizados de sistemas de policultivos tuvo una ventaja en el uso del suelo con respecto al sistema de monocultivo. Si se compara con otras revisiones, Yu *et al.* (2015) obtuvieron un 81% de los valores de LER superiores a 1, Yu *et al.* (2016) obtuvieron un 79% de los valores de LER superiores a 1, esto basado en metaanálisis de 100 y 77 publicaciones de policultivos de cereales y leguminosas, respectivamente; por último, Tang *et al.* (2021) obtuvieron que un 88% de los valores de LER fueron mayores a 1, gracias a un metaanálisis de 17 artículos de policultivos de cereales y leguminosas. Por ende, se puede decir que esta revisión superó al resto de los metaanálisis en el porcentaje de casos con un LER superior a 1, sin embargo, dos de estos metaanálisis, el de Yu *et al.* (2015) y de Yu *et al.* (2016), se basaron en un mayor número de artículos (100 y 77 respectivamente), lo que pudo afectar a que el porcentaje fuera menor. En cambio, en el metaanálisis de Tang *et al.* (2021) se utilizó el mismo número de estudios respecto del presente estudio y se obtuvo un menor porcentaje que el obtenido en esta revisión, lo que puede deberse a la diferencia en las especies utilizadas, demostrando que las hortalizas en conjunto con leguminosas tienen mayor probabilidad de tener LER superiores a 1 en comparación a los cereales en conjunto con leguminosas, siendo policultivos más beneficiosos. No obstante, el porcentaje de valores de LER superiores a 1 de este último metaanálisis se basó en 81 datos, lo cual es superior al total de datos de esta revisión (52), por tanto, esta diferencia en el número de datos pudo influir en los resultados.

En cuanto al valor promedio de LER, del total de datos (n=75), este fue de 1,25 (Figura 5), en otras palabras, se requiere de 1,25 ha, de monocultivo para igualar el rendimiento de 1 ha de policultivo. Teniendo que, en promedio, los policultivos de las hortalizas papa, repollo y tomate, con leguminosas son un 25% más eficientes en el uso del suelo en comparación con monocultivos, puesto que generan mayores rendimientos por superficie que en el caso de monocultivos. Al revisar otros autores, se encontraron los siguientes valores de LER promedio: 1,22 (Yu *et al.*, 2015); 1,3 (Martin-Guay *et al.*, 2018); 1,49 (Zhu *et al.*, 2023); 1,32 (Gu *et al.*, 2021); y 1,27 (Tang *et al.*, 2021). Estos datos fueron obtenidos gracias a metaanálisis a escala global en base a 100, 126, 21, 39 y 17 publicaciones, respectivamente. A pesar de que la mayoría de los valores de LER promedio superaron el valor obtenido en esta revisión, salvo el valor obtenido por Yu *et al.* (2015), la mayoría son valores muy similares al obtenido en esta revisión, a excepción del valor promedio obtenido por Zhu *et al.* (2023) que supera bastante al resto. Esto quiere decir que, la elección de hortalizas y leguminosas en policultivos constituyen una alternativa viable y competitiva frente a otros tipos de policultivos más utilizados como lo son cereales con leguminosas.

Por tanto, en la mayoría los casos, al asociar estas tres hortalizas con leguminosas, se produjeron efectos positivos en el rendimiento, midiéndose a través del Coeficiente de

Tierra Equivalente. Esto puede deberse a que al realizar policultivos ocurren interacciones de complementariedad y facilitación.

Interacciones de complementariedad y facilitación

Respecto de la complementariedad interespecífica, este es un mecanismo que tiene relación con un uso más eficiente de los recursos por parte de los policultivos, gracias a la partición de nichos, teniendo así una mayor productividad y disminuyendo la competencia interespecífica (MacLaren *et al.*, 2023; Yin *et al.*, 2020). Esta se puede dividir en tres tipos de complementariedad: temporal, espacial y química.

La complementariedad temporal ocurre cuando existe un desfase temporal considerable entre un cultivo y otro, es decir, las fechas de siembra y cosecha no coinciden y, por tanto, los cultivos presentan un menor traslape temporal. De esta manera, los cultivos se ven menos afectados por el crecimiento del otro cultivo. En la mayoría de los casos estudiados hubo un desfase temporal entre un cultivo y el otro, por tanto, se procedió a analizarlos.

Una manera de calcular este desfase temporal es a través de un índice de Diferenciación de Nicho Temporal (TND). Este índice mide la proporción del total del periodo de crecimiento del policultivo en el cual cada especie crece de manera independiente (Yu *et al.* 2016). Un TND de 0 indica que los dos cultivos son sembrados y cosechados al mismo tiempo, es decir no existe desfase temporal, y un TND de 1 estaría indicando que un cultivo es sembrado después de que es cosechado el otro, es decir nunca hay un traslape temporal entre los dos cultivos (Yu *et al.* 2015).

Teniendo las fechas de siembra y cosecha de ambos cultivos fue posible realizar el cálculo de TND³. Con esos valores se procedió a analizar la relación entre el TND y el LER, lo que se puede observar en la Figura 11, en donde los puntos no muestran una tendencia clara, lo que se ve reflejado en el valor del Coeficiente de determinación o R^2 de 0,03, indicando la no representatividad del modelo lineal. En un metaanálisis realizado por Yu *et al.* (2015) se analizó esta misma relación y se obtuvo como resultado una relación positiva entre el TND y el LER, es decir, al haber un mayor desfase temporal entre un cultivo y otro, existió un mayor LER. Sin embargo, en este caso no es posible establecer una relación entre la Diferenciación de Nicho Temporal y el LER, esto significaría que si hubo o no desfase temporal entre los distintos cultivos esto no se relacionó significativamente con el LER, por lo que no estaría ocurriendo una complementariedad temporal. Cabe señalar que hay una posibilidad de que hayan influido en mayor medida otros factores sobre el LER, resultando en que no haya una tendencia clara entre el TND y el LER.

³ Formula Diferenciación de Nicho Temporal: $TND = (P \text{ sistema} - P \text{ traslape}) / P \text{ sistema}$, donde P sistema es la duración de todo el policultivo en días y P traslape es el periodo en que se traslapa el crecimiento de ambos cultivos en días.

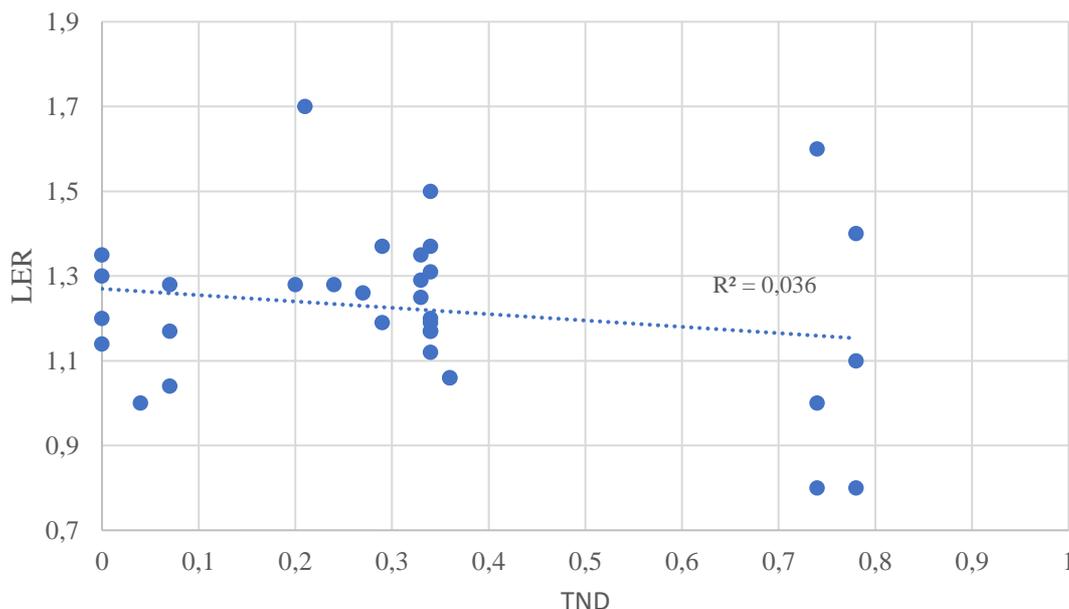


Figura 11. Relación entre el Coeficiente de Tierra Equivalente (LER) y la Diferenciación de Nicho Temporal (TND) de cultivos hortícolas en asociación con leguminosas (n=33).

Por otro lado, la complementariedad espacial puede ocurrir tanto a nivel de raíces como aéreo. En cuanto a nivel de raíces, hace referencia a que la absorción de nutrientes y agua ocurra en diferentes lugares, lo que va a depender de la arquitectura y profundidades de las raíces de los cultivos utilizados. Por otro lado, al ocurrir complementariedad espacial aérea, se generaría un mejor uso de la luz por parte de las plantas. Esta complementariedad puede ocurrir en mayor o menor medida dependiendo de que especies estén siendo utilizadas en conjunto, ya que va a depender de la estructura y profundidad de raíces específica de cada especie y también de la estructura y altura de la canopia y como se complementa una especie con la otra. En el caso de este estudio, los policultivos se realizaron con especies de distintas familias, lo que ya implicaría una diferenciación en cuanto a raíces y a nivel aéreo, lo que será analizado con profundidad más adelante.

Por último, la complementariedad química está relacionada con la capacidad que poseen algunas especies de movilizar ciertas formas químicas de nutrientes, siendo la más conocida la capacidad de las leguminosas de fijar nitrógeno atmosférico (Duchene *et al.*, 2017).

En cuanto a la facilitación, esta se basa en interacciones positivas entre plantas independientes, que ocurren por medio de cambios en el ambiente abiótico, de manera de beneficiar el crecimiento de las plantas (Brooker *et al.*, 2016; Li *et al.*, 2006). Existe la facilitación directa e indirecta. La directa hace referencia a la mejora en la nutrición de una planta a través de la transferencia de nutrientes desde una planta hacia otra. La indirecta tiene relación con cambios químicos, físicos o biológicos, como, por ejemplo, introducción de organismos benéficos, eliminación de competidores potenciales, cambios de luz y temperatura, aumento de la disponibilidad de nutrientes, entre otros (Duchene *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2014).

Se intuye que los principales mecanismos que estarían actuando, al realizar policultivos de hortalizas y leguminosas, son la complementariedad química y la facilitación, dado que estos tienen relación con la capacidad que poseen las leguminosas de fijar nitrógeno atmosférico gracias a su simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* (Liu *et al.*, 2011). En el caso de complementariedad química, la fijación de nitrógeno por parte de las leguminosas actuaría disminuyendo la competencia interespecífica por la adquisición de nitrógeno entre el cultivo, en este caso la hortaliza, y la leguminosa, lo cual resulta beneficioso para ambas especies (Vlahova, 2022). De esta manera se pueden llegar a generar rendimientos superiores al de monocultivo, causando valores de LER superiores a 1.

En cuanto a la facilitación, esta puede ocurrir por la rizodeposición de N y por la transferencia de nitrógeno entre plantas, las cuales van de la mano. Primero, la rizodeposición consiste en que las raíces de las leguminosas liberan una cantidad significativa de nitrógeno a la rizosfera, que puede ocurrir por la senescencia de raíces y nódulos, exudación de compuestos solubles, desprendimiento de las células del borde de la raíz y/o por secreción de mucílago (Fustec *et al.*, 2010). En relación con la transferencia de nitrógeno entre plantas, ésta involucra a la rizodeposición, y es definido como el movimiento de nitrógeno de una planta viva, la cual sería nitrógeno donante, a otra planta, nitrógeno receptor. Este proceso puede ser bidireccional, pero generalmente tiende a ser desde plantas con alto contenido de nitrógeno, como las leguminosas, hacia plantas con alta demanda de nitrógeno (Thilakarathna *et al.*, 2016). Por tanto, gracias a estos procesos las hortalizas asociadas con leguminosas podrían verse beneficiadas, generándose mayores rendimientos que en el caso de monocultivo y, por ende, teniendo como resultado valores de LER superiores a 1.

Factores específicos que afectan al LER entre hortalizas

Al enfocarse en los valores promedio de LER de cada especie de hortaliza asociada con leguminosas (Figura 6), las tres hortalizas analizadas obtuvieron valores promedio de LER superiores a 1, siendo el promedio de repollo el más alto, con un valor de 1,35, seguido por el valor promedio de LER de papa de 1,26 y por último el valor promedio de LER de tomate de 1,15. Estos valores no son tan cercanos entre sí y queda claro que el repollo asociado con leguminosas, en promedio, tuvo una mayor ventaja de uso del suelo comparado con las otras asociaciones de hortalizas.

El repollo en asociación con leguminosas obtuvo el mayor LER promedio, lo cual puede deberse a diferentes factores, tales como:

Estructura y tamaño de la canopia. Según lo mencionado anteriormente la complementariedad espacial aérea tiene relación con la arquitectura de la canopia y altura de cada especie y como estas se complementan de manera de tener un mejor uso de la luz. En el caso del repollo, se tiene un tallo que no presenta ramificaciones, bastante corto y grueso, con nudos muy cercanos unos a otros, alcanzando no más de 30 cm de altura (Vinicio, 2021; Zeledón, 2014).

Por otra parte, las leguminosas tienen un tamaño y estructura bastante distinta, por ejemplo, el haba, posee tallos erguidos y vigorosos que van desde los 0,5 a 1,8 m de altura. Adicionalmente, produce ramas en la base de los tallos, variando su cantidad

dependiendo de la variedad (INIA, 2004). El poroto tiene diversos hábitos de crecimiento, los que difieren en tamaño. El tipo I es determinado arbustivo, el tipo II es indeterminado arbustivo, el tipo III es indeterminado postrado y, por último, el tipo IV es indeterminado trepador. El hábito de crecimiento tipo I puede alcanzar un tamaño de entre 25 a 50 cm y el tipo II entre 30 a 80 cm, por lo que la altura de plantas puede ser muy variable entre variedades (Espeche *et al.*, 2021). Por tanto, estas diferencias de altura y hábito de crecimiento entre el repollo y las leguminosas podrían estar dando como resultado este mayor LER promedio, puesto que en cultivos intercalados se busca que existan diferencias a nivel morfológico y de hábito de crecimiento, de manera de utilizar más eficientemente los recursos disponibles para las plantas, traduciéndose en una ganancia final en el rendimiento (Maitra *et al.*, 2021). Si embargo, en el caso de la asociación de repollo con haba, al ser mucha la diferencia de alturas, se podría producir una mayor competencia por la luz, pudiendo el haba sombrear al repollo.

Al observar los resultados de LER de la asociación de repollo y haba, se obtuvo un LER bajo, de 1,06, lo cual indica que en este caso se pudo haber producido una mayor competencia al tener mucha diferencia de alturas, o que otros factores influyeron de manera negativa en este caso, disminuyendo el LER. Por otra parte, los resultados de LER de las asociaciones de repollo y poroto sí obtuvieron LER más altos, con un LER promedio de 1,38, lo que puede significar que este mayor valor de LER se dio como resultado de las diferencias de tamaño y estructura de la canopia, aunque también pueden estar implicados otros factores. Específicamente, en el estudio de Sharma *et al.* (2006), se vio una menor competencia en repollo en asociación con poroto rajmash, debido probablemente, según los autores, al hábito de crecimiento compacto del repollo, resultando en una menor competencia con el poroto por luz y espacio. En este estudio se obtuvo un LER promedio de 1,27, por lo que sí podría estar influyendo en el LER ésta mayor complementariedad espacial.

Con respecto al tomate, este puede ser de hábito de crecimiento determinado o indeterminado. Los de crecimiento determinado se realizan a baja altura y son conocidos como tomate botado, en cambio los de crecimiento indeterminado utilizan tutores o guías (INIA, 2017). La altura de plantas puede alcanzar desde los 50 cm hasta más de 2 metros cuando es conducido o entutorado (Fornaris, 2007). Para los estudios de tomate asociado con leguminosas, se utilizaron 2 especies de leguminosas, poroto y caupí. Por su parte, el caupí posee diferentes hábitos de crecimiento, los que pueden ser erecto, semi erecto o rastrero, pudiendo alcanzar hasta 80 cm de altura (CIAT, 2006). Mencionado lo anterior, entre el tomate y las leguminosas asociadas existe menor diferencia en cuanto a altura y estructura, a diferencia del caso de repollo y leguminosas. Por tanto, estaría ocurriendo en menor medida, o no estaría ocurriendo una complementariedad espacial aérea y, con esto los recursos no son utilizados de la manera más eficiente, como en el caso del repollo asociado con poroto.

En el caso de la papa, esta especie puede ser de hábito de crecimiento erecto, semi erecto o decumbente; en cuanto a su altura, esta varía desde menos de 75 cm a más de 1 metro (Huamán, 2008; Inostroza, 2009). Las especies de leguminosas asociadas a papa en los distintos estudios fueron tres: poroto, arveja y arveja peluda. La arveja puede variar en su altura, con lo que va a determinar tres tipos de variedades, la arbustiva, con un tallo corto menor de 70 cm y entrenudos cortos, la semiarbustiva, con un tallo de entre 70 a 130 cm de altura con abundantes entrenudos cortos y, por último, la voluble, con un tallo mayor de 130 cm con entrenudos largos (Checa *et al.*, 2021). Por otro lado, la arveja peluda

posee tallos trepadores que, al no poseer algún tutor o soporte, no pueden mantenerse erguidos y caen al suelo, formando un forraje denso, en cambio, si encuentran algún soporte, pueden alcanzar 1,5 m de largo (Roque, 2021). Por tanto, en cuanto a altura, la papa puede llegar a ser similar a las leguminosas asociadas, como también, puede diferenciarse bastante, puesto que va a depender de la variedad y habito de crecimiento que tengan. Y en relación con la estructura de la planta, la papa se diferencia en su estructura a las leguminosas asociadas. En consecuencia, en algunos casos podría ocurrir una mayor complementariedad espacial, teniendo un uso más eficiente de los recursos, aunque no en todos los casos.

Estructura del sistema radical. La complementariedad espacial también puede ocurrir a nivel de raíces y va a depender de su arquitectura y profundidad, y sería otro posible factor que estaría determinando una ventaja en el uso d. Lo que generalmente se busca es asociar especies que posean raíces más profundas con especies de raíces más superficiales, de manera que puedan utilizar mejor los recursos del suelo, generando así una mayor complementariedad (Maitra *et al.*, 2021).

Al analizar el caso del repollo, este posee una raíz pivotante, con abundantes ramificaciones radicales bastante delgadas (Zeledón, 2024). La mayor parte de estas (aproximadamente un 90%) se encuentran a una profundidad de entre 20 a 30 cm, aunque pueden alcanzar los 45 a 60 cm de profundidad (Vinicio, 2021). En el caso de las leguminosas asociadas con el repollo, las cuales fueron dos especies (poroto y haba), el sistema radical del poroto se basa en una raíz pivotante y numerosas raíces laterales, encontrándose un 95% de las raíces activas en los primeros 20 cm del suelo (Cornelio, 2015; Ortega *et al.*, 2008). En cuanto al sistema de raíces del haba, posee una raíz pivotante con numerosas y largas raíces laterales, alcanzando los 50 a 60 cm de profundidad (Quispe *et al.*, 2015).

Al analizar las diferencias de profundidades de las raíces del repollo y de las leguminosas asociadas, entre el repollo y el poroto no existe mucha diferencia, sin embargo, entre el repollo y el haba sí existe una mayor diferencia en profundidad de raíces, por lo que solo en ese caso el sistema de raíces podría ser un factor por el cual se esté debiendo esta ventaja en el uso del suelo. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la asociación de repollo con haba no obtuvo muy buenos resultados, por tanto, a pesar de esta diferencia en los sistemas de raíces de repollo y haba, el sistema de raíces no sería un factor que influya de manera positiva en este caso, o pueden existir otros factores que estén afectando en mayor medida, y por tanto perjudicando el resultado de LER.

Acerca del sistema de raíces del tomate, este posee una raíz principal pivotante, la cual puede llegar a 60 cm de profundidad. Igualmente presenta numerosas raíces adventicias y ramificaciones, encontrándose aproximadamente un 75% de las raíces en los primeros 45 cm de suelo (Saavedra *et al.*, 2019). Las especies de leguminosas asociadas al tomate fueron dos, poroto y caupí, y si se comparan los sistemas de raíces del tomate y del poroto, estos se diferencian en su profundidad. Por otro lado, según Triviño (2017) el sistema de raíces del caupí es bastante desarrollado, posee una raíz principal que puede alcanzar 1,20 m de profundidad y también presenta gran cantidad de raíces secundarias, lo cual es bastante diferente en comparación con el sistema radical del tomate. Es decir, en ambos casos la diferencia en profundidad de raíces sí podría estar afectando positivamente en los resultados del LER, dando valores de LER superiores a 1,0, sin embargo, esto no se reflejó en un promedio de LER superior al de las otras especies de hortalizas.

Con respecto al sistema radical de la papa, cuando las plantas se desarrollan a partir de tubérculo, desarrollan raíces adventicias (Inostroza, 2009). El sistema subterráneo se conforma de raíces, tubérculos y estolones, y este presenta la mayor densidad de raíces en los primeros 40 cm del suelo (Huarte y Capezio, 2013). Si se compara este sistema con el de las leguminosas asociadas, como el poroto, tienen una profundidad de raíces bastante cercana, aunque las raíces de la papa son levemente más profundas, por otro lado, se diferencian en cuanto al tipo de raíz, en el caso del poroto pivotante y en el caso de la papa adventicias. En lo que respecta a la arveja, esta presenta una raíz pivotante con numerosas raíces laterales que normalmente pueden alcanzar una profundidad de 50 cm (Checa *et al.*, 2021). Por ende, sus raíces se asemejan bastante a las de la papa en cuanto a profundidad, no así en el tipo de raíz. En cuanto a la zarandaja, esta presenta raíces profundas que pueden llegar a los 100 cm, lo que contrasta con las raíces más superficiales de la papa (Gitari *et al.*, 2020). Muy similar a la zarandaja, la arveja peluda posee raíces que pueden alcanzar 1 m de profundidad (Ren *et al.*, 2019). Por tanto, en el caso de la papa asociada con leguminosas, sí ocurriría una complementariedad espacial a nivel de raíces, principalmente en las asociaciones de papa con zarandaja y arveja peluda, aunque también en menor medida en la asociación con poroto y arveja. Los valores de LER promedio de los policultivos de papa con zarandaja y papa con arveja peluda fueron de 1,23 y 1,26 respectivamente. En cambio, la asociación de papa con arveja tuvo un LER promedio superior de 1,31, y la asociación de papa con poroto igualó el LER promedio alcanzado por papa y arveja.

Aunque en algunas asociaciones mencionadas no se da una gran diferencia en la profundidad de raíces, en algunos casos se ha reportado que se puede dar una plasticidad de raíces, de manera de evitar la competencia por recursos y como una forma para explorar otras áreas del suelo (Duchene *et al.*, 2017). Por consiguiente, aunque la profundidad de raíces usual de los cultivos sea bastante similar, esta capacidad de las plantas podría generar que de igual manera se genere una complementariedad espacial a nivel de raíces.

A pesar de que las diferencias en los sistemas de raíces no expliquen por qué las asociaciones de repollo con leguminosas obtuvieron un LER promedio más alto que las otras hortalizas, debido a que tanto en papa como en tomate se da esta complementariedad espacial de raíces, este factor sí sería determinante del efecto positivo general producido en el LER, al realizar policultivos de hortalizas y leguminosas.

Densidad de plantas. Otro factor que podría explicar este mayor valor promedio de LER en el caso de asociación de repollo y leguminosas es la densidad de plantas, puesto que la densidad es un factor clave para mantener el máximo rendimiento del cultivo (Maitra *et al.*, 2021).

Según Zamora (2016) la densidad de plantas óptima del repollo es de entre 55.000 a 60.000 plantas/ha. De los estudios evaluados con repollo, tres cumplieron con una densidad de plantas óptima en el monocultivo del repollo, en cambio en los otros dos estudios la densidad de plantas del monocultivo de repollo fue bastante menor a la óptima (Cuadro 2). Con respecto a la densidad de las leguminosas asociadas, en el caso del haba, la densidad de plantas varía entre 50.000 a 60.000 plantas/ha (Saavedra *et al.*, 2022). En el estudio en que se asoció repollo con haba, la densidad del haba en monocultivo fue cuatro veces superior a la óptima, con 200.000 plantas/ha. Para el caso de poroto, la

densidad de plantas, dependiendo de la variedad utilizada, puede ir desde las 180.000 a 260.000 plantas/ha (Tay *et al.*, 2000). La búsqueda de información arrojó cuatro estudios en los que se asoció repollo con poroto; uno de ellos no tenía información de la densidad de plantas del poroto en monocultivo, en otro sí se cumplió la densidad de plantas óptima, y en los otros dos estudios la densidad de plantas fue superior a la óptima. De los tres estudios que cumplieron con la densidad de plantas óptima del repollo, se puede observar una gran variación en el LER promedio, teniendo valores de 1,06, 1,47 y 1,57. En el estudio que tuvo como resultado un LER de 1,06, la leguminosa asociada fue haba, y se utilizó una densidad de plantas muy alta, pudiendo explicarse el valor de LER más bajo, debido a que al tener una densidad tan de haba se pudo haber generado una alta competencia disminuyendo así el rendimiento. En los otros dos estudios, las densidades de plantas de las leguminosas asociadas, que fueron poroto verde y poroto rajmash, también fueron mayores a la óptima, aunque no por mucho. En cuanto a los estudios con una densidad de plantas de repollo por debajo de la óptima, se obtuvo un LER promedio de 1,21 y 1,28, teniendo un valor superior a uno de los estudios en el que la densidad de plantas del repollo fue la óptima. El estudio que obtuvo un valor de LER de 1,21, la leguminosa asociada, que fue poroto también cumplió con la densidad de plantas óptima.

Por tanto, en ninguno de los estudios de asociación de repollo y leguminosas se cumplió para ambos cultivos la densidad óptima en monocultivo, aunque en los dos estudios de Sharma *et al.*, 2006 sí se cumplió la densidad óptima del repollo, y la densidad de plantas de las leguminosas fue cercana pero superior, lo que pudo reflejarse en altos resultados de LER. En cambio, en el estudio de Shanmugam *et al.*, 2022 la densidad de plantas de la leguminosa se alejó mucho de la óptima, pudiéndose reflejar esto en el bajo valor de LER. Es decir, es preferible mantener densidades de plantas lo más cercano posible a la óptima, de manera que no se vea afectado el rendimiento. Aun así, existe un factor que estaría incidiendo en mayor medida sobre el LER, este sería la Densidad Relativa Total (RDT).

Cuadro 2. Estudios de asociación de repollo y leguminosas, sus respectivas densidades de plantas en Monocultivo (M) y en Policultivo (P), Densidad Relativa Total (RDT) y Coeficiente de Tierra Equivalente promedio (LER promedio).

Autor/es y año	Leguminosa	Densidad hortaliza M (pl/ha)	Densidad leguminosa M (pl/ha)	Densidad hortaliza P (pl/ha)	Densidad leguminosa P (pl/ha)	RDT	LER promedio
Bavec <i>et al.</i> , 2010.	Poroto	21.600	197.400	21.600	98.700	1,5	1,21
Guvenc y Yildirim, 2006.	Poroto verde	17.777	-	17.777	66.666	-	1,28
Shanmugam <i>et al.</i> , 2022.	Haba	57.142	200.000	28.571	100.000	1,0	1,06
Sharma <i>et al.</i> , 2006.	Poroto verde	55.555	333.333	55.555	22.222	1,7	1,47
Sharma <i>et al.</i> , 2006	Poroto rajmash	55.555	333.333	55.555	22.222	1,7	1,57

Cuadro 3. Estudios de asociación de tomate y leguminosas, sus respectivas densidades de plantas en Monocultivo (M) y en Policultivo (P), Densidad Relativa Total (RDT) y Coeficiente de Tierra Equivalente promedio (LER promedio).

Autor/es y año	Leguminosa	Densidad hortaliza M (pl/ha)	Densidad hortaliza P (pl/ha)	Densidad leguminosa M (pl/ha)	Densidad leguminosa P (pl/ha)	RDT	LER promedio
Adeniyi, 2011.	Caupí	56.000	28.000	56.000	28.000	1,00	1,10
Adeniyi, 2011.	Caupí	56.000	18.666	56.000	37.333	1,00	0,80
Adeniyi, 2011.	Caupí	56.000	37.333	56.000	18.666	1,00	1,51
El-Gaid <i>et al.</i> , 2014.	Poroto	20.000	20.000	266.666	20.000	1,08	1,10
El-Gaid <i>et al.</i> , 2014.	Poroto	20.000	20.000	266.666	40.000	1,15	1,20
El-Gaid <i>et al.</i> , 2014.	Poroto	20.000	20.000	266.666	60.000	1,23	1,20
Reinafarje <i>et al.</i> , 2014.	Poroto verde	12.600	12.600	20.600	20.600	2,00	1,20
Sharma <i>et al.</i> , 2006.	Poroto verde	37.037	37.037	333.333	222.222	1,67	1,40
Sharma <i>et al.</i> , 2006.	Poroto rajmash	37.037	37.037	333.333	222.222	1,67	1,45

Al fijarse en los valores de Densidad Relativa Total (RDT) de los estudios de repollo asociado con leguminosas, se tiene que, en la asociación de repollo con haba, el RDT fue de 1 (Cuadro 2), es decir, se utilizó un diseño o serie de reemplazo. En otras palabras, la densidad de plantas de cada cultivo en el policultivo fue la mitad de la densidad de plantas utilizada en monocultivo, o más bien, uno de los cultivos fue introducido reemplazando parte del otro (Maitra *et al.*, 2021). En este caso se tuvo como resultado un LER promedio de 1,06, siendo el valor más bajo de los distintos estudios de repollo asociado con leguminosa. Este valor más bajo de LER promedio se debe a que existe una relación lineal entre el valor del RDT y el LER, que se puede observar en la Figura 8, mientras menor el RDT (más cercano a 1), menor será el valor de LER, y mientras mayor el RDT (más cercano a 2), mayor el valor de LER, aunque puede haber algunos casos excepcionales que no sigan esta relación.

En cuanto a los otros estudios de repollo, asociados con poroto, uno utilizó un RDT de 1,5, dos usaron un RDT de 1,7 y el otro estudio no tenía la información suficiente para calcular el RDT. En el estudio con un RDT de 1,5 el LER promedio fue de 1,21. En cuanto a los estudios con RDT de 1,7 uno obtuvo un LER promedio de 1,47 y el otro un LER promedio de 1,57, siendo este último el valor más alto de LER promedio de los estudios de repollo y leguminosas asociadas. Del total de cuatro estudios se puede observar que un 75% de estos tuvieron un RDT igual o mayor a 1,5, dando como resultado valores de LER más altos. Es en este sentido que se puede percibir la importancia de una elección adecuada de la densidad de plantas en el policultivo, mientras más cercana se mantenga la densidad de plantas del policultivo a la utilizada en monocultivo, los rendimientos por superficie serán mayores en el policultivo. Por el contrario, si se disminuye la densidad de plantas utilizada en monocultivo, al realizar el policultivo, los rendimientos por superficie de cada cultivo serán menores.

Escalona *et al.* (2009) mencionan que la densidad de plantas del tomate puede variar desde las 26.000 a 40.000 plantas/ha, dependiendo del sistema de manejo, variedad y propósito del cultivo. De los estudios de tomate en asociación con leguminosas solo dos tuvieron densidades de plantas dentro del rango, y un estudio tuvo una densidad bastante menor, tanto en monocultivo como en policultivo, de 12.600 plantas/ha (Cuadro 3). El LER promedio en este estudio fue de 1,2, lo cual es bastante bajo en relación con el valor de RDT de 2, que debería haber obtenido un LER más alto. Esto podría deberse a la baja densidad de plantas. Por otro lado, el artículo con la densidad de plantas de tomate más alta en monocultivo utilizó 56.000 pl/ha, a pesar de superar la densidad óptima, es bastante cercana. Este constó de tres estudios, en los cuales el LER promedio varió bastante, de 0,8 a 1,51. En este caso se utilizó un RDT de 1, no obstante, la gran variación del LER promedio pudo deberse a que en los tres estudios hubo variación en las densidades del tomate y de la leguminosa en el policultivo. Así en el estudio con menor LER promedio, la densidad del tomate fue la más baja y la leguminosa tuvo la densidad más alta de los tres estudios. En cambio, en el estudio con mayor LER promedio, la densidad del tomate fue la más alta y la densidad de la leguminosa fue la más baja, dando a entender que el cultivo que aportó en mayor medida al rendimiento fue el tomate. Estos resultados indican la importancia que tiene la densidad de plantas de cada especie, tanto en el policultivo como en el monocultivo. Aun así, el estudio con un RDT de 1 y un LER de 1,51 no sigue la relación mencionada anteriormente que relaciona el RDT y el LER, lo que pudo deberse a otros factores.

Se puede observar en el Cuadro 3 que hubo otros dos artículos con RDT iguales o superiores a 1,5. Ambos fueron de 1,67 con valores de LER promedio bastante altos, de 1,40 y 1,45. En este caso se tiene que, del total de nueve estudios de tomate asociado con leguminosas, solo un 33,3% de estos tuvo un RDT igual o superior a 1,5, por consiguiente, se tienen en general valores de LER más bajos. Para el caso de la papa, de 10 estudios, en que fue posible calcular el valor de RDT, solo un 20% tuvo valores de RDT iguales o superiores a 1,5, por tanto, también se tuvieron valores de LER más bajos que en repollo (datos no mostrados).

Al comparar el porcentaje de valores de RDT superiores a 1,5 de los artículos de repollo versus los de tomate y papa, en el caso del repollo el porcentaje es bastante superior, por lo que los valores de LER serían más altos en general. En este sentido, la Densidad Relativa Total sería otro factor el cual explicaría el mayor valor promedio de LER en el caso de los estudios de repollo asociado con leguminosas.

Adicionalmente, en algunos casos se vio la importancia de la utilización de densidades cercanas a la óptima, puesto que alejarse mucho de esta perjudica el LER en algunos casos.

Número de estudios incluidos en cada especie. Un factor que podría influir en el resultado de LER promedio de los estudios es el número de estudios. Esto se debe a que este varía bastante entre las distintas hortalizas, siendo repollo el que posee la menor cantidad de estudios, lo que podría ser una posible explicación de por qué el LER promedio de los estudios de repollo es mayor. Debido a este bajo número de estudios, existe una menor variabilidad de datos con respecto a los estudios de tomate y papa, donde el número de estudios es mayor, pudiendo explicar en parte el motivo por el cual el LER promedio de estos estudios es menor.

En definitiva, el mayor valor de LER promedio del repollo en conjunto con leguminosas, en comparación con las otras hortalizas, se puede explicar principalmente por la Densidad Relativa Total, la cual, al tener mayores valores de RDT, conlleva a que en general se traduzcan en mayores valores de LER, y, por otro lado, por la complementariedad espacial aérea producida por diferencias en la estructura y altura de la canopia entre el repollo y las leguminosas.

Variación del LER entre leguminosas

La Figura 7, mostró las distintas especies de leguminosas asociadas con las tres hortalizas y sus LER promedio, donde se observó que hubo diferencias de LER promedio entre las distintas especies de leguminosas. El poroto fue la única especie que se utilizó en asociación con las tres hortalizas estudiadas, debido a esto no es posible comparar de correcta manera los valores de LER entre las distintas leguminosas. Sin embargo, se pudo identificar que la leguminosa con valor más alto de LER promedio fue el poroto en asociación con repollo, y la leguminosa con valor más bajo de LER promedio fue el haba en asociación con repollo, revelando que, dentro de los estudios de repollo, entre una leguminosa y otra hubo una gran diferencia de LER promedio (diferencia de 0,33). Esta gran diferencia se puede deber principalmente a que, en el caso del haba en asociación con repollo, se utilizó un RDT de 1 (Cuadro 2), dando como resultado un LER más bajo; en cambio, los valores de RDT utilizados en las asociaciones de repollo y poroto fueron más altos, de 1,7, 1,7 y 1,5, lo que resultó en valores de LER superiores. Algo similar ocurrió en el estudio realizado por Yu *et al.* (2015), donde se vio que los policultivos con mayores valores de RDT tuvieron mayores valores de LER que policultivos, con valores de RDT de 1.

A diferencia del repollo, en los estudios de papa, las diferentes leguminosas tuvieron valores bastante cercanos unos a otros, teniendo una diferencia entre el valor más alto y el más bajo de 0,08. Por último, en los estudios de tomate también hubo una baja diferencia de LER promedio entre leguminosas (diferencia de 0,14), aunque levemente superior que en papa.

Al observar cada hortaliza (Figura 8), hubo diferencias de LER promedio entre las distintas variedades de poroto. Adicionalmente, dentro de cada variedad de poroto también hubo diferencias de LER promedio entre las distintas hortalizas. La variedad de poroto pinto solo se utilizó en asociación con la hortaliza papa. Las demás variedades fueron utilizadas en asociación con las tres hortalizas. Se puede observar que la variedad de poroto rajmash en asociación con repollo fue la que alcanzó un valor más alto de LER y, por otro lado, poroto común en asociación con tomate fue la variedad con el menor valor de LER. Esto puede ser a causa de que, en el caso de poroto rajmash con asociación con repollo, hubo solo un estudio en el que se utilizó poroto rajmash por lo que el valor de LER no se promedió con otros valores, y adicionalmente el RDT utilizado fue bastante alto, lo que produjo un LER alto (Cuadro 2). En cuanto al caso de poroto común en conjunto con tomate, este tuvo valores de RDT bastante bajos, por tanto, generando valores de LER más bajos (Cuadro 3).

Relación del LER y la fertilización de nitrógeno

Los resultados mostraron que el Coeficiente de Determinación o R^2 tuvo un valor de 0,01 (Figura 9), por lo tanto, en este caso, la variabilidad del Coeficiente de Tierra Equivalente no se estaría explicando por la fertilización de nitrógeno, es decir, no es dependiente de ésta. Es por esto que, en los casos en que no se realizó aplicación de N, hubo una gran variabilidad en el LER, ya que no existe relación entre la aplicación de N y el LER. Más aun, si no se aplicara nitrógeno en policultivos de hortalizas y leguminosas, no debiera afectar en gran medida al LER, dado que gracias a la fijación de nitrógeno por parte de la leguminosa se podría llegar a suplir los requerimientos de nitrógeno de la hortaliza, a través de los mecanismos mencionados previamente, como la transferencia de nitrógeno o la menor competencia interespecífica por el nitrógeno.

Al revisar otros estudios, Yu *et al.* (2015) encontraron que se produjo un efecto negativo en el LER con la aplicación de nitrógeno en cereales en conjunto con leguminosas, lo cual pudo deberse a que hubo un aumento en la competencia interespecífica por la aplicación de nitrógeno y/o también por la pérdida de la ventaja de la fijación de nitrógeno por parte de la leguminosa. Por otro lado, semejante a lo ocurrido en este estudio, Pelzer *et al.* (2014) obtuvieron como resultado que el LER no fue significativamente influenciado por la dosis de fertilización de nitrógeno.

Relación del LER y el RDT

La relación entre el RDT y el LER se puede visibilizar en la Figura 10, en donde, para las tres hortalizas, se da una relación lineal positiva entre ambos. Similar a lo ocurrido en esta revisión, Yu *et al.* (2015) reportaron que hubo una relación positiva significativa entre el RDT y el LER, es decir, al incrementar el RDT por sobre la serie de reemplazo, el LER aumentaba, esto en base a un metaanálisis de policultivos. Por tanto, para los tres casos de hortaliza leguminosa, el factor RDT influyó en el LER de manera positiva, aunque con distintos porcentajes, siendo esta relación más fuerte en el caso del repollo. Con esto, al aumentar la densidad de policultivo por sobre la serie de reemplazo ($RDT=1$), va a aumentar el LER, y mientras más cerca se esté de la serie completamente aditiva ($RDT=2$) más alto será el LER, exceptuando algunos casos. En otras palabras, al utilizar policultivos de hortalizas y leguminosas, es preferible utilizar las densidades de plantas de cada cultivo lo más similares a las utilizadas en monocultivo, disminuyendo lo menos posible, con el objetivo de lograr obtener rendimientos más altos por superficie.

Al enfocarse en los valores del Coeficiente de Determinación o R^2 para cada una de las hortalizas, se tiene que la asociación de repollo con leguminosas obtuvo un R^2 de 0,81, siendo el con mejor desempeño, ya que la asociación de tomate con leguminosas obtuvo un R^2 de 0,18 y la asociación de papa con leguminosa tuvo un R^2 de 0,14 (Figura 10). Por ende, esto significaría que, en el caso de repollo en asociación con leguminosa, un 81% de la variabilidad del LER se explicaría por el RDT. En el caso de tomate y papa en asociación con leguminosa, ambos valores de R^2 son bastante cercanos a 0, por lo que un bajo % de la variabilidad del LER se explicaría por el RDT.

Hubo casos en los cuales, con un RDT de 1 se dieron valores de LER superiores a 1, desde valores de LER de 1,06 hasta valores de 1,7. Con casos más extremos, como fue el caso de tomate en conjunto con caupí, donde se obtuvo un LER de 1,6 y también el caso

de papa en asociación con arveja peluda, con un LER de 1,7. En el caso de tomate en conjunto con caupí, el valor de LER tan alto, pudo deberse a que la densidad de plantas del tomate fue bastante alta (Cuadro 3), y se utilizó una proporción de hortaliza-leguminosa 2:1, aumentando la proporción de plantas de tomate por sobre la del caupí, lo que pudo generar mayores rendimientos. En el caso de papa con arveja peluda, pudo deberse a la diferencia en la profundidad de raíces de cada especie, generándose una mayor complementariedad espacial de las raíces, teniendo una mayor eficiencia de los recursos como nutrientes y agua. A pesar de todo esto, aun así, son datos bastante anormales. En el resto de los casos que no fueron tan extremos, los valores de LER superiores a 1 pueden deberse principalmente a las interacciones de complementariedad y facilitación, tanto espacial aéreo y a nivel de raíces, como químicas, gracias a la fijación de nitrógeno por las leguminosas, generándose así rendimientos superiores en policultivo en comparación con monocultivo.

Efectos adicionales al rendimiento

Está bastante documentado que los sistemas de policultivos pueden producir efectos positivos en el rendimiento, pero también pueden llegar a producirse otros efectos distintos al rendimiento. Algunos de estos efectos pueden ser un aumento de la eficiencia del uso del agua y de nutrientes, incrementar la fertilidad del suelo y mejorar su estructura, disminuir la incidencia de enfermedades y plagas, generar menor erosión de suelo, mejor control de malezas, disminución en el uso de fertilizantes y pesticidas, menor evaporación del agua del suelo, entre otros (Adamczewska-Sowińska y Sowiński, 2020; Ebel *et al.*, 2017; Lampking *et al.*, 2015).

En el caso de los artículos seleccionados en esta revisión, se detectaron otros efectos, los cuales se mencionan en el Cuadro 4. En seis artículos se mencionaron resultados diferentes al rendimiento y estos fueron para las hortalizas papa y repollo. Se puede ver que, en 3 artículos, tanto para papa y repollo, se produjo un aumento en la ganancia económica al usar policultivos, en comparación con monocultivos, siendo este un factor bastante relevante para los agricultores al momento de pensar en adoptar este tipo de sistemas.

Un efecto que se produjo en papa en asociación con leguminosa fue una menor erosión del suelo al usar policultivos, en comparación con el monocultivo de papa. Esto ocurrió debido a que la leguminosa tuvo una rápida emergencia y cobertura del suelo, protegiendo así el suelo descubierto entre la hilera de papa. Este efecto es bastante relevante, puesto que, en el caso de policultivos de papa y leguminosas, esto va a propiciar la conservación del suelo, manteniendo así sus propiedades, sus nutrientes, la capacidad de almacenamiento de agua, la materia orgánica del suelo, los microorganismos presentes en este, entre otros, siendo una práctica sustentable y con efectos positivos en el medio ambiente (Zuazo y Pleguezuelo, 2009).

En dos artículos se produjeron efectos relacionados con el agua, ambos en papa en asociación con leguminosa. En el de Nyawade *et al.* (2020) se produjo un mayor contenido de agua en el suelo, esto fue debido a que al haber una mayor cobertura del suelo gracias a la leguminosa se redujo considerablemente la evaporación de agua.

Además, se vio que la papa tuvo un mejor sistema de raíces en el policultivo, esto en conjunto de diferencias de profundidades en las raíces de la papa y leguminosa, generó una mayor capacidad de extraer agua del suelo.

En el artículo de Ren *et al.* (2019) se produjo una mayor eficiencia en el uso del agua (EUA) en el policultivo. Según los autores esto pudo deberse a una reducción de la evaporación del agua del suelo en etapas iniciales gracias a una mayor cobertura del suelo por la leguminosa, también por causa de una distribución complementaria de las raíces de ambos cultivos, ocupando de manera eficiente el volumen del suelo disponible y, por último, por una diferenciación el requerimiento temporal y espacial de agua de cada cultivo. Esta mayor eficiencia del uso del agua implicaría mayor conservación de esta, teniendo un manejo más sustentable y amigable con el medio ambiente; además, disminuir el consumo de agua significa un beneficio económico para los agricultores (Callejas *et al.*, 2021). Una mayor eficiencia del uso del agua es de vital importancia hoy en día, dado las constantes sequías, cada vez más graves y con mayor frecuencia, a causa del cambio climático que afecta a nivel mundial, siendo un gran problema para la agricultura (Davarpanah *et al.*, 2021).

Cuadro 4. Artículos en los cuales se hallaron efectos adicionales al rendimiento.

Autor/es y año	Hortaliza	Leguminosa	Efectos adicionales al rendimiento
Dua <i>et al.</i> 2005.	Papa	Poroto verde	- Mayor retorno neto en policultivos.
Gitari <i>et al.</i> 2020.	Papa	Poroto común	- Mayor ganancia económica al usar policultivos.
Guvenc y Yildirim, 2006.	Repollo	Poroto verde	- Aumento del ingreso económico al usar policultivos, en comparación con monocultivo de repollo.
Nyawade <i>et al.</i> , 2020.	Papa	Arveja peluda y zarandaja	- Menor erosión al usar policultivos en comparación con monocultivo de papa. - Mayor contenido de agua en el suelo al utilizar policultivos. - Aumento de la densidad de longitud de raíces en policultivos, comparado con monocultivo de papa. - Mayor Índice de Área Foliar (IAF) en policultivo, comparado con monocultivo de papa.
Ren <i>et al.</i> , 2019.	Papa	Arveja peluda	- Mayor eficiencia del uso del agua (EUA) en policultivos en comparación a monocultivos.
Shanmugam <i>et al.</i> , 2022.	Repollo	Haba	- Mayor eficiencia del uso del nitrógeno (NUE) en policultivos, en comparación con monocultivo.

Otro efecto fue el encontrado en el artículo de Nyawade *et al.* (2020) donde se observó un mayor índice de área foliar (IAF) en policultivo comparado con monocultivo, esto gracias a la diferencia en la arquitectura de la canopia de ambos cultivos, y, por otro lado, también hubo un aumento en la densidad de longitud de raíces (DLR) en papa, en el policultivo, comparado con monocultivo de papa. La densidad de longitud de raíces es un factor esencial en el consumo de agua y nutrientes por la planta (Dusserre *et al.*, 2009), por lo que el aumento de este índice sería relevante para el cultivo a nivel de una mejora en la absorción de nutrientes y agua del suelo.

Por último, en policultivos de repollo con leguminosa hubo una mejora en la eficiencia del uso del nitrógeno (NUE), asociada a una mayor absorción y a una mayor eficiencia de utilización. La eficiencia del uso del nitrógeno implica dos procesos, eficiencia de absorción, que es la capacidad de la planta de extraer nitrógeno del suelo, y la eficiencia de utilización, que es la capacidad de la planta de transferir el nitrógeno a los sumideros (Lea y Azevedo, 2006). Por tanto, un aumento en la eficiencia del uso del nitrógeno significaría en una reducción de la necesidad de aplicación de nitrógeno, teniendo así un menor costo de fertilizantes, además de disminuir el impacto medioambiental por el excesivo uso de fertilizantes y sin perjudicar el rendimiento de los cultivos (Anbessa y Juskiw, 2012). Asimismo, en un metaanálisis realizado por Xu *et al.* (2020), donde se analizaron 88 publicaciones de policultivos de maíz y soya, se obtuvo como resultado importantes aumentos en la eficiencia del uso del nitrógeno.

A pesar de que en el resto de los estudios no se mencionaron otros efectos distintos del rendimiento, esto no quiere decir que no hayan ocurrido, puesto que no en todos los estudios se midieron otros parámetros diferentes al rendimiento.

Consideraciones adicionales

Aun cuando existen múltiples beneficios generados al utilizar sistemas de policultivos, mencionados con anterioridad, también hay ciertas desventajas o dificultades de adoptar este tipo de sistemas. Por una parte, la mecanización es limitada, puesto que se dificultan algunas prácticas como la siembra; además se requiere de una mayor gestión y de capacitación a los agricultores (Adamczewska-Sowińska y Sowiński, 2020). También se dificulta la aplicación de agroquímicos como pesticidas o herbicidas, debido a que algunos no son recomendados para ciertos cultivos o por distintas dosis de aplicación (Bonke *et al.*, 2021). Adicionalmente, se recomienda el uso de policultivos principalmente para pequeños agricultores, de manera de utilizar una menor superficie, ya que al realizar policultivos en grandes superficies habrá una mayor dificultad para subsanar los inconvenientes antes mencionados (Hata *et al.*, 2019).

Si bien el principal índice utilizado para comparar la productividad de los policultivos versus monocultivo es el Coeficiente de Tierra Equivalente (LER), existen muchos otros índices que evalúan tanto el beneficio económico, la competencia entre los cultivos, o que evalúan a nivel biológico el uso de policultivos (Gitari *et al.*, 2020). Algunos de los índices existentes son: - Area Time Equivalent Ratio (ATER), el cual compara la ventaja en el rendimiento de los policultivos sobre monocultivo en relación al tiempo que tarda cada cultivo en el sistema de policultivo (Doubi *et al.*, 2016); - Crop Performance Ratio (CPR), el cual mide el rendimiento de los policultivos en relación con cada cultivo en monocultivo (Khanal *et al.*, 2021); - Competitive Ratio (CR), es un índice que evalúa la agresividad relativa de cada especie (Weigelt y Jolliffe, 2003); - Relative Value Total (RVT), mide el valor relativo del sistema de policultivo comparado con el cultivo más valioso de ambos monocultivos, en sentido económico (Khanal *et al.*, 2021). De igual manera, existen muchos otros índices, no mencionados, que evalúan los sistemas de policultivos.

Al situarse en el contexto chileno, los sistemas de policultivos de hortalizas y leguminosas tendrían un potencial uso en la pequeña agricultura, lo que podría justificarse por distintos factores. En el marco del cambio climático, los pequeños agricultores son más vulnerable a sus efectos, debido a que se encuentran en ambientes marginales y están menos preparados para enfrentar la crisis climática (Sepúlveda y Sánchez, 2020). En este sentido, incrementar la diversidad de cultivos a través de los policultivos, es una estrategia de adaptación al cambio climático y una manera de afrontar sus efectos (Vlahova, 2022). Por ejemplo, el aumento en la eficiencia del uso del agua, efecto producido en policultivos de papa y arveja peluda (Cuadro 4), podría mitigar el efecto de la sequía generada por el cambio climático. Asimismo, los policultivos son capaces de estabilizar la temperatura del suelo, lo que es clave debido a los crecientes aumentos de temperatura debido al cambio climático (Adamczewska-Sowińska y Sowiński, 2020).

Por otro lado, es común que la pequeña agricultura posea escaso capital y uso de tecnologías (Méndez y Escolar, 2011). Por tanto, debido a un uso más eficiente de los recursos en los policultivos se puede disminuir la necesidad de aplicación de agroquímicos como fertilizantes, siendo una buena alternativa para pequeños agricultores (Yang *et al.* 2021). Con relación a esto, se observó que en policultivos de repollo y haba existía un aumento en la eficiencia del uso del nitrógeno (Cuadro 4). Otro beneficio producido por los policultivos, que sería de gran ayuda a pequeños agricultores, es la mayor estabilidad del rendimiento en policultivos, esto debido a la mayor diversidad de cultivos y por tanto se reduce el riesgo de perder todo de una vez, como puede ocurrir en monocultivos (Adamczewska-Sowińska y Sowiński, 2020). Un punto importante es que los policultivos son recomendados principalmente para pequeños agricultores, debido a que poseen menores superficies de cultivo, lo que facilitaría a los agricultores realizar labores diferenciadas requeridas para cada cultivo del policultivo, tales como la siembra o cosecha.

Por otra parte, sería beneficioso el uso de policultivos de hortalizas y leguminosas en áreas con un alto potencial de degradación ambiental y pérdida de biodiversidad, ya que estos sistemas son capaces de proteger el suelo de la erosión, tanto por agua o viento, y también, a otros tipos de degradación (Adamczewska-Sowińska y Sowiński, 2020). Esto ocurre gracias a una mayor cobertura del suelo al realizar policultivos (Vlahova, 2022), tal como se observó en este estudio, en policultivos de papa con arveja peluda y zarandaja, en donde disminuyó la erosión de suelo (Cuadro 5). Además, los policultivos pueden mejorar la estructura del suelo y sus propiedades físicas y químicas, lo que sería beneficioso en casos de suelos altamente degradados (Adamczewska-Sowińska y Sowiński, 2020).

Por tanto, el uso de policultivos de hortalizas y leguminosas sería una buena alternativa a la agricultura convencional, especialmente en áreas con alta probabilidad de degradación, o que ya se encuentren degradadas, al ser una práctica sustentable con el medio ambiente y que hace un uso eficiente de los recursos.

Es pertinente señalar que no existen otras revisiones sistemáticas de sistemas de policultivos de hortalizas y leguminosas, puesto que la mayoría de las revisiones o metaanálisis de policultivos se basan principalmente en cereales en conjunto con leguminosas. Esto puede deberse a que los principales cultivos a nivel mundial son cereales como el maíz, trigo y arroz (Cordero *et al.*, 2020). Lo cual explicaría la menor cantidad de estudios que evalúen hortalizas con leguminosas. Por tanto, en virtud de

continuar investigando y analizando con mayor precisión y profundidad este tópico, se requiere de un mayor número de estudios en campo que analicen sistemas de policultivos de hortalizas y leguminosas.

CONCLUSIONES

Las asociaciones de leguminosas con cultivos hortícolas como repollo, tomate y papa, producen un aumento en el rendimiento por superficie en la mayoría de los casos, en comparación con los monocultivos, medido a través de Coeficiente de Tierra Equivalente.

En promedio, 1 hectárea de policultivo de hortaliza y leguminosa produce lo mismo que 1,25 hectáreas de monocultivo, por lo que estos policultivos generan un ahorro del uso del suelo.

El policultivo de repollo con leguminosa genera un uso más eficiente del suelo, teniendo un 35% más de rendimiento por superficie que en monocultivo y destaca por sobre los policultivos de tomate y papa con leguminosas.

Los factores que inciden principalmente en el aumento en el rendimiento por superficie de los sistemas de policultivos de hortalizas en conjunto con leguminosas son, la fijación de nitrógeno por parte de las leguminosas, diferenciación en cuanto a raíces y estructura aérea entre los cultivos y el uso de densidades de plantas lo más similares a las utilizadas en monocultivo.

Los sistemas de policultivos de hortalizas y leguminosas no solo tienen efectos sobre el rendimiento, también producen efectos positivos en su entorno, mejoran la eficiencia de uso de recursos y generan una mayor ganancia económica.

Se recomienda realizar estudios en campo de las especies de hortalizas utilizadas asociadas con leguminosas, de manera de respaldar y corroborar los datos expuestos en esta revisión.

LITERATURA CITADA

Acosta, J.A., V. Sánchez-Navarro, O. Ozbolat, S. Martínez-Martínez y R. Zornoza. 2019. El cultivo asociado de melón-caupí puede mejorar la producción del melón, la productividad del terreno y reducir el uso de fertilizantes. 1-4. *In: Agro Ingeniería, X Congreso Ibérico de Agroingeniería*. Huesca, España. 3-6 de septiembre, 2019, Agro Ingeniería, Huesca, España.

Acuña, I. y I. Martínez. 2023. Libro de Resúmenes ALAP 2023 XXIX Congreso Latinoamericano de la Papa El Reencuentro: Una mirada hacia la Sustentabilidad y al Cambio Climático. Serie Acta INIA N° 62. 207 pp. *In: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Asociación Latinoamericana de la papa ALAP y Asociación Chilena de la papa ACHIPA*. Puerto Varas, Chile. 28 de marzo al 1 abril de 2023. INIA, ALAP, ACHIPA, Puerto Varas, Chile.

Adamczewska-Sowińska, K. and J. Sowiński. 2020. Polyculture management: a crucial system for sustainable agriculture development. p. 279-319. *In: Swaroop, R. (ed), Soil health restoration and management*. Springer. Varanasi, Uttar Pradesh. India.

Adeniyi, O. R. 2011. Economic aspects of intercropping systems of vegetables (okra, tomato and cowpea). *African Journal of Plant Science*, 5 (11): 648-655.

Alcántara, I. y M. Riera. 2010. Evaluación de especies micorrizadas para aumentar la producción de granos asociados al cultivo de Yuca (*Manihot esculenta* Grantz). Geca, MINAZ, Guantánamo, Cuba. Disponible en http://www.ciencia.gtmo.inf.cu/index.php/http/article/view/152/pdf_351 (Consultado en mayo de 2021).

Alvez, N. y P. Alayón. 2020. Evaluación de policultivos frutihortícolas agroecológicos del Nordeste Argentino. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 55: 273-284.

Anbessa, Y. and P. Juskiw. 2012. Strategies to increase nitrogen use efficiency of spring barley. *Canadian Journal of Plant Science*, 92(4): 617-625.

Asl, A. N., A. D. M. Nassab, S. Z. Salmasi, M. Moghaddam, and A. Javanshir. 2009. Potato (*Solanum tuberosum* L.) and pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. pinto) intercropping based on replacement method. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7 (2): 295-299.

Bavec, M., M. Zuljan, M. Robačar and F. Bavec. 2010. White cabbage productivity in intercropping production systems. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 933* (pp. 343-346).

Bindra, A. D. and V. S. Thakur. 2005. Legume intercropping with potato (*Solanum tuberosum*)-based cropping system at varied fertility levels under high hills dry temperate conditions of Himachal Pradesh. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 7 (8): 488-489.

- Blanco, Y. 2006. La utilización de la alelopatía y sus efectos en diferentes cultivos agrícolas. *Cultivos tropicales*, 27(3): 5-16.
- Bonke, V., M. Michels, and O. Musshoff. 2021. Will Farmers Accept Lower Gross Margins for the Sustainable Cultivation Method of Mixed Cropping? First Insights from Germany. *Sustainability* 13: 1-13.
- Boza, S., M. Cortez, C. Prieto y T. Muñoz. 2019. La horticultura en la zona central de Chile: caracterización y actitudes de los pequeños agricultores. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 35: 57-67.
- Brooker, R. W., A. J. Karley, A. C. Newton, R. J. Pakeman and C. Schöb. 2016. Facilitation and sustainable agriculture: a mechanistic approach to reconciling crop production and conservation. *Functional Ecology*, 30(1): 98-107.
- Callejas, D. C., S. Pande, S. and L. Rietveld. 2021. Water use efficiency: a review of contextual and behavioral factors. *Frontiers in Water*, 3: 685650.
- Chamkhi, I., S. Cheto, J. Geistlinger, Y. Zeroual, L. Kouisni, A. Bargaz and C. Ghoulam. 2022. Legume-based intercropping systems promote beneficial rhizobacterial community and crop yield under stressing conditions. *Industrial Crops and Products*, 183: 114958.
- Checa, O., D. Rodríguez, M. Ruíz y J. Muriel. 2021. La Arveja, Investigación y Tecnología en el sur de Colombia. Universidad de Nariño. Pasto, Nariño, Colombia. Disponible en <https://sired.udenar.edu.co/7303/1/LIBRO%20ARVEJA%202022.pdf> (Consultado en marzo de 2023).
- CIAT. 2006. Caupí (*Vigna unguiculata*) una leguminosa multipropósito. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Proyecto Forrajes Tropicales, Proyecto Uso de la Tierra. Roma, Italia. Disponible en https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/69709/67602_Caup%C3%AD_Vigna_unguiculata,_una_leguminosa_multiprop%C3%B3sito.pdf?sequence=1 (Consultado en marzo 2023).
- Cordero, K., I. Matus, J. Gonzáles y D. Castillo. 2020. Cultivo de cereales anuales: trigo, arroz, avena y maíz. Agricultura de la nueva Región de Ñuble: una caracterización sectorial. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/3622/NR42046.pdf?sequence=13&isAllowed=y> (Consultado en septiembre de 2023).
- Cornelio, M. 2015. Adaptabilidad de cinco variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*), en la Finca Angamarca la Vieja del Cantón Pangua, Provincia de Cotopaxi año 2013. 57 p. Tesis de grado. Universidad Técnica de Cotopaxi, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, La Maná, Cotopaxi.
- Dagnino, J. 2014. Coeficiente de correlación lineal de Pearson. *Chil Anest*, 43 (1): 150-153.

- Davarpanah, S., M. Erfanian and K. Javan. 2021. Assessment of climate change impacts on drought and wet spells in Lake Urmia Basin. *Pure and Applied Geophysics*, 178(2): 545-563.
- Doubi, B. T. S., K. I. Kouassi, K. L. Kouakou, K. K. Koffi, J. P. Baudoin and B. I. A. Zoro. 2016. Existing competitive indices in the intercropping system of *Manihot esculenta* Crantz and *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley. *Journal of Plant Interactions*, 11(1): 178-185.
- Dua, V. K., S. S. Lal and P. M. Govindakrishnan. 2005. Production potential and competition indices in potato (*Solanum tuberosum*) + French bean (*Phaseolus vulgaris*) intercropping system in Shimla hills. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 75 (6): 321-3.
- Dua, V. K., S. Kumar and M. K. Jatav. 2017. Effect of nitrogen application to intercrops on yield, competition, nutrient use efficiency and economics in potato (*Solanum tuberosum* L.) + French bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) system in north-western hills of India. *Legume Research-An International Journal*, 40 (4): 698-703.
- Duchene, O., J. F. Vian and F. Celette. 2017. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 240: 148-161.
- Dusserre, J., A. Audebert, A. Radanielson and J. L. Chopart. 2009. Towards a simple generic model for upland rice root length density estimation from root intersections on soil profile. *Plant and Soil*, 325: 277-288.
- Ebel, R., J. Gonzalo, F. Soria y J. Cruz. 2017. Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana* 35(2): 149-160.
- El-Gaid, M. A. A., M. H. Al-Dokeshy and D. M. Nassef. 2014. Effects of intercropping system of tomato and common bean on growth, yield components and land equivalent ratio in New Valley Governorate. *Asian Journal of Crop Science*, 6 (3): 254-261.
- Escalona, V., P. Alvarado, H. Monardes, C. Urbina y A. Martin. 2009. Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Nudo Hortícola VI Región. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Disponible en https://www.academia.edu/14057757/MANUAL_DE_CULTIVO_DE_TOMATE (Consultado en septiembre 2023).
- Espeche, C., L. Tarulli y M. Devani. 2021. Cultivo del poroto: consideraciones al momento de siembra. Estacion Experimental Agroindustrial Obispo Colombes. Avance Agroindustrial 42-4. Tucumán, Argentina. Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2022/02/06-Ficha-Tecnica-Cultivo-de-poroto.pdf> (Consultado en marzo de 2023).
- Espinoza, F., W. Nuñez, I. Ortiz-Guizado y D. Choque-Quispe. 2018. Producción de forraje y competencia interespecífica del cultivo asociado de avena (*Avena sativa*) con

vicia (*Vicia sativa*) en condiciones de secano y gran altitud. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú 29 (4): 1237-1248.

Fornaris, G. 2007. Conjunto Tecnológico para la Producción de Tomate, Características de la planta. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Colegio de Ciencias Agrícolas. Disponible en <https://www.upr.edu/eea/wp-content/uploads/sites/17/2016/03/TOMATE-Caracter%C3%ADsticas-de-la-Planta-v2007.pdf> (Consultado en marzo de 2023).

Fundación Triptolemos. 2021. Informe sobre el impacto del Pacto Verde Europeo desde un enfoque de sistema alimentario global sostenible. El Masnou, España. Disponible en <https://digital.csic.es/bitstream/10261/263778/1/informetripto.pdf> (Consultado en mayo de 2023).

Fustec, J., F. Lesuffleur, S. Mahieu, S and J. B. Cliquet. 2010. Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. Agronomy for sustainable development, 30: 57-66.

Gehanno, J. F., L. Rollin, T. Le Jean, A. Louvel, S. Darmoni, W. and Shaw. 2009. Precision and recall of search strategies for identifying studies on return-to-work in Medline. Journal of Occupational Rehabilitation, 19: 223-230.

Gitari, H. I., N. Shadrack, S. Kamau, N. N Karanja, C. K. Gachene and E. Schulte-Geldermann. 2020. Agronomic assessment of phosphorus efficacy for potato (*Solanum tuberosum* L) under legume intercrops. Journal of Plant Nutrition, 43(6): 864-878.

Gitari, H. I., S. O. Nyawade, S. Kamau, N. N. Karanja, C. K. Gachene, M. A. Raza, and E. Schulte-Geldermann. 2020. Revisiting intercropping indices with respect to potato-legume intercropping systems. Field Crops Research, 258: 107957.

Gómez, L.M., S.M. Márquez y L.F, Restrepo. 2018. La Milpa como alternativa de conversión agroecológica de sistemas agrícolas convencionales de frijol (*Phaseolus vulgaris*), en el municipio El Carmen de Viboral, Colombia. Idesia (Arica) 36 (1): 123-131.

Gu, C., L. Bastiaans, N. P. Anten, D. Makowski and W. van Der Werf. 2021. Annual intercropping suppresses weeds: A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment, 322: 107658.

Guvenc, I., and E. Yildirim. 2006. Increasing productivity with intercropping systems in cabbage production. Journal of Sustainable Agriculture, 28(4): 29-44.

Han-ming, H., L. Li-na, S. Munir, N. Haider, W. Yi, Y. Jing, and L. Cheng-yun. 2019. Crop diversity and pest management in sustainable agriculture. Journal of Integrative Agriculture. Yunnan Agricultural University 18 (9): 1945-1951.

Hata, F. T., M. U. Ventura, M. T. D. Paula, G. D. Shimizu, J. C. B. D. Paula, D. A. O. Kussaba and N. V. D. Souza. 2019. Intercropping garlic in strawberry fields improves land equivalent ratio and gross income. Ciência Rural, 49 (12): 1-8.

Higgins, J. P. T., T. Lasserson, J. Thomas, E. Flemyng and R. Churchill. 2023. Methodological Expectations of Cochrane Intervention Reviews. Cochrane: London. Disponible en https://community.cochrane.org/book_pdf/545 (Consultado en mayo de 2023).

Huamán, Z. 2008. Descriptores morfológicos de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola de Tenerife. Tenerife, España. Disponible en <https://ccbat.es/documentos/descriptores.pdf> (Consultado en marzo de 2023).

Huarte, M. y S. Capezio. 2013. Cultivo de papa. Unidad Integrada Balcarce Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacimiento de Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_cultivo_de_papa_huarte_capezio.pdf (Consultado en marzo de 2023).

INIA. 2004. Cultivo del haba. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria, Lima, Perú. Disponible en http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/740/2/Horque-Cultivo_del_Haba.pdf (Consultado en marzo de 2023).

INIA. 2017. Manual de cultivo del tomate al aire libre. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6707/Bolet%C3%ADn%20INI%20N%C2%B0%20376?sequence=1&isAllowed=y> (Consultado en marzo de 2023).

Inostroza, J. 2009. Manual de Papa para la Araucanía: Manejo y Plantación. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Ministerio de Agricultura, Centro Regional Carillanca, Temuco, Chile. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7275/Bolet%C3%ADn%20INI%20N%C2%B0%20193?sequence=1&isAllowed=y> (Consultado en diciembre de 2023).

Juventia, S. D., W. A. H Rossing, L. Ditzler and D. F. Apeldoorn. 2020. Spatial and genetic crop diversity support ecosystem service delivery: A case of yield and biocontrol in Dutch organic cabbage production. *Field Crops Research* 261: 1-13.

Khanal, U., K. J. Stott, R. Armstrong, J. G. Nuttall, F. Henry, B. P. Christy, M. Mitchell, P. A. Riffkin, A. J. Wallace, M. McCaskill, T. Thayalakumaran and G. J. O'Leary. 2021. Intercropping—evaluating the advantages to broadacre systems. *Agriculture*, 11(5): 453.

Labeyrie, V., M. Antona, J. Baudry, D. Bazile, O. Bodin, S. Caillon, C. Leclerc, C. Page, S. Louafi, J. Mariel, F. Massol and M. Thomas. 2021. Networking agrobiodiversity management to Foster biodiversity-based agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 41: 1-15.

Lampkin, N.H., B.D. Pearce, A.R. Leake, H. Creissen, C.L. Gerrard, R. Girling, S. Lloyd, S. Padel, J. Smith, L.G. Smith, A. Vieweger and M.S. Wolfe. 2015. The role of agroecology in sustainable intensification. Report for the Land Use Policy Group. Organic Research Centre, Elm Farm and Game & Wildlife Conservation Trust. Disponible en <https://orgprints.org/id/eprint/33067/1/A1652615.pdf> (Consultado en septiembre 2023).

- Lea, P. J. and R. A. D. Azevedo. 2006. Nitrogen use efficiency. 1. Uptake of nitrogen from the soil. *Annals of applied biology*, 149(3): 243-247.
- Li, L., J. Sun, F. Zhang, T. Guo, X. Bao, F. A. Smith and S. E. Smith. 2006. Root distribution and interactions between intercropped species. *Oecologia*, 147: 280-290.
- Li, L., D. Tilman, H. Lambers and F. S. Zhang. 2014. Plant diversity and overyielding: insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *New Phytologist*, 203(1): 63-69.
- Lithourgidis, A. S., C. A. Dordas, C. A. Damalas and D. Vlachostergios. 2011. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian journal of crop science*, 5(4): 396-410.
- Liu, Y., L. Wu, J. A. Baddeley and C. A. Watson. 2011. Models of biological nitrogen fixation of legumes. *Sustainable Agriculture 2*: 883-905.
- López-Ridaura, S., L. Barba-Escoto, C. A. Reyna-Ramírez, C. Sum, N. Palacios-Rojas and B. Gerard. 2021. Maize intercropping in the milpa system. Diversity, extent and importance for nutritional security in the Western Highlands of Guatemala. *Scientific Reports 11*: 1-10.
- MacLaren, C., W. Waswa, K. T. Aliyu, L. Claessens, A. Mead, C. Schöb, B. Vanlauwe and J. Storkey. 2023. Predicting intercrop competition, facilitation, and productivity from simple functional traits. *Field Crops Research*, 297: 1-15.
- Maitra, S., J. B. Palai, P. Manasa and D. P. Kumar. 2019. Potential of intercropping system in sustaining crop productivity. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 12 (1): 39-45.
- Maitra, S., A. Hossain, M. Brestic, M. Skalicky, P. Ondrisik, H. Gitari and M. Sairam. 2021. Intercropping - A low input agricultural strategy for food and environmental security. *Agronomy 11*(2): 343.
- Manorama, K., and S. S. Lal. 2010. Potato (*Solanum tuberosum*) based intercropping systems for southern hills. *Indian Journal of Agronomy*, 55(3): 215-219.
- Martin-Guay, M. O., A. Paquette, J. Dupras and D. Rivest. 2018. The new green revolution: sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Science of the total environment* 615: 767-772.
- Mead, R. and R. Willey. 1980. The concept of a 'land equivalent ratio' and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture*, 16 (3): 217-228.
- Méndez, E. G. O. y B. M. Escolar. 2011. La economía rural en Chile: entre la pobreza y el desarrollo. *Studies of Applied Economics*, 29(1): 31-56.
- Nyawade, S., H. I. Gitari, N. N. Karanja, C. K. Gachene, E. Schulte-Geldermann, K. Sharma and M. L. Parker. 2020. Enhancing climate resilience of rain-fed potato through

legume intercropping and silicon application. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 566345.

Nicholls, C.I., A. Henao y M.A. Altieri. 2015. Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología* 10: 7-31.

Oficina de Información Diplomática. 2023. Ficha País Turquía. Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación, Gobierno de España. Disponible en https://www.exteriores.gob.es/Documents/FichasPais/TURQUIA_FICHA%20PAIS.pdf (Consultado en diciembre 2023).

Ortega, A., G. Moreno, y J. Diez. 2008. Fertilización de poroto para grano seco. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Salta, Salta, Argentina. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-fertilizacion_de_poroto_para_grano_seco.pdf (Consultado en marzo de 2023).

Pelzer, E., N. Hombert, M. H. Jeuffroy and D. Makowski. 2014. Meta-analysis of the effect of nitrogen fertilization on annual cereal–legume intercrop production. *Agronomy Journal*, 106 (5): 1775-1786.

Quispe, A., R. Castro, y T. Cabrera. 2015. Influencia de densidades de siembra en el rendimiento del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) Variedad Agua Dulce, a condiciones agroecológicas de Pillao, Chinchao - 2015. 90 p. Tesis de grado. Universidad Nacional “Hermilio Valdizan” Huánuco, Facultad de Ciencias Agrarias, Huánuco, Perú.

Raigón, M. D., M.D. García, C. Guerrero, P. Esteve y A. Domínguez-Gento. 2006. Influencia de la asociación de cultivo sobre la relación equivalente de suelo. 10 p. *In*: VII Congreso SEAE, Zaragoza, España.

Ren, J., L. Zhang, Y. Duan, J. Zhang, J. B. Evers, Y. Zhang, Z. Su and W. van der Werf. 2019. Intercropping potato (*Solanum tuberosum* L.) with hairy vetch (*Vicia villosa*) increases water use efficiency in dry conditions. *Field Crops Research*, 240: 168-176.

Reynafarje, X., S. Siura and K. Pérez. 2014. Mixed cropping of vegetables to improve organic tomato (*Solanum lycopersicum* L.) production in small farmer systems. 299-304. *In*: XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): International Symposium on Horticulture in Developing Countries and World Food Production. Lima, La Molina, Perú.

Rodríguez, E. M. 2005. Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, 38: 315-331.

Roque, X. 2021. Evaluación de la producción del cultivo de Vicia (*Vicia villosa* var. *dasycarpa*) bajo diferentes métodos y densidades de siembra en la estación experimental Choquenaira. 79 p. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, La Paz, Bolivia.

Saavedra, G., C. Jana y E. Kehr. 2019. Hortalizas para procesamiento Agroindustrial. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Temuco, Chile. Disponible en

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6818/Capitulo%201.%20Tomate.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (Consultado en marzo de 2023).

Saavedra, G., E. Kehr, M. Bastías, I. Romero y C. Fontanilla. 2022. Manejo y especies hortícolas aptas para la industria en la Región de La Araucanía. Boletín INIA N° 472. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/68961> (Consultado en diciembre de 2023).

Sánchez, A.C., N. Estrada-Carmona, S. D. Juventia and S. K. Jones. 2021. The Impact of Diversified Farming Practices on Terrestrial Biodiversity Outcomes and Agricultural Yield Worldwide: A Systematic Review Protocol. *Methods and Protocols* 4: 1-24.

Sepúlveda, F. y L. Sánchez. 2020. Adaptación al cambio climático: Prácticas alternativas al uso del fuego en el sector agropecuario de la Región Metropolitana. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) La Platina. Boletín N° 463. Santiago, Chile. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68502/NR42833.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Consultado en septiembre de 2023).

Shanmugam, S., M. Hefner, J. S. Pelck, R. Labouriau and H. L. Kristensen. 2022. Complementary resource use in intercropped faba bean and cabbage by increased root growth and nitrogen use in organic production. *Soil use and management*, 38(1): 729-740.

Sharma, A., J. Sharma, M. Crana and S. Sood. 2006. Evaluation of *Phaseolus vulgaris* as intercrop with vegetables for enhancing productivity system and profitability under high hill dry temperate conditions of north-western Himalayas. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 76(1): 29-32.

Suárez-Martínez, S. E., R. A. Ferriz-Martínez, R. Campos-Vega, J. E. Elton-Puente, K. de la Torre Carbot and T. García-Gasca. 2016. Bean seeds: leading nutraceutical source for human health. *CyTA-Journal of Food*, 14(1): 131-137.

Tang, X., C. Zhang, Y. Yu, J. Shen, W. van der Werf and F. Zhang, F. 2021. Intercropping legumes and cereals increases phosphorus use efficiency; a meta-analysis. *Plant and Soil*, 460: 89-104.

Tay, J., A. France, M. Gerding, V. Kramm y R. Velasco. 2000. Manual de producción de leguminosas de grano y hortícolas para el seco costero de la región del Maule. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán, Chile. Disponible en https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/146302/Manualdeproducciondeleguminosasdegranoyhorticolas_BOLINIA40.pdf?sequence=1 (Consultado en abril de 2023).

The Cochrane Collaboration. 2011. Manual Cochrane de revisiones sistemáticas de intervenciones, versión 5.1. 0 [actualizada en marzo de 2011][internet]. Barcelona: Centro Cochrane Iberoamericano. Disponible en: https://es.cochrane.org/sites/es.cochrane.org/files/uploads/Manual_Cochrane_510_reduir.pdf (Consultado en diciembre de 2022).

Thilakarathna, M. S., M. S. McElroy, T. Chapagain, Y. A. Papadopoulos and M. N. Raizada. 2016. Belowground nitrogen transfer from legumes to non-legumes under managed herbaceous cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36: 1-16.

Torres, S., J. Huaraca, D. Pezo y R. Crisóstomo. 2018. Asociación de cultivos, maíz y leguminosas para la conservación de la fertilidad del suelo. *Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo* 4: 15-22.

Triviño, A. 2017. Evaluación de los productos comerciales Huxtable y Micorrizar como biofertilizantes en el cultivo del frejol Caupí (*Vigna unguiculata* L.) en la finca experimental “La Cantaleta” Majua-Esmeraldas. 70 p. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas, Escuela de Gestión Ambiental, Esmeraldas, Ecuador.

Vinicio, E. 2021. “Efecto de enmiendas orgánicas (compost y biochar) en dos variedades de col (*Brassica oleracea*) col repollo y con milán, en Salcedo, Cotopaxi 2021”. 76 p. Proyecto de Investigación. Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Latacunga, Ecuador.

Vlahova, V. 2022. Intercropping - An opportunity for sustainable farming systems. A review. *Scientific Papers. Series A. Agronomy* 65: 728-740.

Weigelt, A. and P. Jolliffe. 2003. Indices of plant competition. *Journal of ecology*: 707-720.

Wenda-Piesik, A. and A. Synowiec. 2021. Productive and Ecological Aspects of Mixed Cropping System. *Agriculture* 11 (5): 1-3.

Xu, Z., C. Li, C. Zhang, Y. Yu, W. van der Werf and F. Zhang. 2020. Intercropping maize and soybean increases efficiency of land and fertilizer nitrogen use; A meta-analysis. *Field Crops Research*, 246: 107661.

Yang, H., W. Zhang and L. Li. 2021. Intercropping: feed more people and build more sustainable agroecosystems. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering* 8(3): 373-386.

Yin, W., Q. Chai, C. Zhao, A. Yu, Z. Fan, F. Hu, H. Fan, Y. Guo and J. A. Coulter. 2020. Water utilization in intercropping: A review. *Agricultural Water Management*, 241: 1-13.

Yu, Y., T. J. Stomph, D. Makowski and W. van Der Werf. 2015. Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: a meta-analysis. *Field Crops Research* 184: 133-144.

Yu, Y. 2016. Crop yields in intercropping: meta-analysis and virtual plant modelling. 172 p. PhD thesis. Wageningen University and Research, Wageningen, Netherlands.

Yu, Y., D. Makowski, T. J. Stomph and W. van der Werf. 2016. Robust Increases of Land Equivalent Ratio with Temporal Niche Differentiation: A Meta-Quantile Regression. *Agronomy Journal*, 108 (6): 2269-2279.

Yu, Y., T. J. Stomph, D. Makowski, L. Zhang and W. Van Der Werf. 2016. A meta-analysis of relative crop yields in cereal/legume mixtures suggests options for management. *Field Crops Research*, 198: 269-279.

Zamora, E. 2016. El cultivo del repollo. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, Mexico. Disponible en: <https://dagus.unison.mx/Zamora/COL%20O%20REPOLLO-DAG-HORT-011.pdf>. (Consultado en abril de 2023).

Zeledón, O. 2014. Efecto de tres métodos de fertilización orgánica en la producción de repollo (*Brassica oleracea*). 71 p. Tesis de grado. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Facultad de Ciencias y Tecnología, Jinotega, Nicaragua.

Zhu, S. G., H. Zhu, R. Zhou, W. Zhang, W. Wang, Y. N. Zhou, B. Z. Wang, Y. M. Yang, J. Wang and Y. C. Xiong. 2023. Intercrop overyielding weakened by high inputs: Global meta-analysis with experimental validation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 342: 108239.

Zuazo, V. H. D., and C. R. R. Pleguezuelo. 2009. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. *Sustainable Agriculture*: 785-811.