



**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**Efecto del cultivo intercalado de Lenteja (*Lens culinaris*) y Trigo (*Triticum aestivum*)  
sobre la producción de Materia Seca (MS) y la presencia de *Rhopalosiphum padi* en trigo  
y *Acyrtosiphon pisum* en lenteja**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**MAURICIO ALFREDO TORRES POZO**

**TALCA, CHILE**

**2020**

## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2020

Aprobación,

*Ricardo Cabeza .*

Profesor Guía Ing. Agr. Dr. Ricardo Alfonso Cabeza Pérez  
Profesor Guía  
Escuela de Agronomía  
Facultad de Ciencias Agrarias

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Blas Lavandero Icaza', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke at the end.

Profesor Co-guía: Ing. Agr Dr. Blas Lavandero Icaza  
Escuela de Agronomía  
Facultad de Ciencias Agrarias

Fecha de presentación de Memoria de Título: 29 de mayo de 2020

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco a la vida por darme la posibilidad de estudiar el área que sostiene la alimentación de la población asumiendo el desafío para desarrollar agricultura moderna pensando en los recursos no renovables y en el cuidado del medio ambiente.

También agradezco al apoyo de todas las personas, en especial a mi familia y a mi compañera de camino, que contribuyeron con palabras, buenas energías, alegrías y buenos momentos en el transcurso universitario. Además, agradezco a los profesores: Ricardo y Blas, y a todo el equipo que hizo posible realizar el ensayo con la mejor disposición para ayudar.

## RESUMEN

En los últimos años, ha surgido la necesidad de emplear un sistema agrícola sostenible, más saludable y que vele por la seguridad alimentaria y la preservación de diversos ecosistemas. En este sentido, el sistema de cultivos intercalados responde a la necesidad de producir alimentos agrícolas, aprovechando eficientemente ciclos de minerales, como el carbono, otorgados por la abundancia y funcionalidad de microorganismos en la biota del suelo, originados por la conjugación de dos o más especies compartiendo al mismo tiempo recursos y espacio. La eficiencia de este método de cultivo depende de las especies que se asocien, ahora bien, es recomendable que estén sujetas al concepto agroecológico de complementariedad vegetal y facilitación de recursos para conseguir la eficiencia óptima del desarrollo del cultivo y de las variables que buscan un beneficio en común. La relación cereal-leguminosa es la que mejor se ajusta a los parámetros de sostenibilidad, ya que, las leguminosas aportan nutrientes a través de procesos naturales simbióticos como la fijación de  $N_2$  junto a bacterias del género *Rhizobium*, generando un ciclo sostenible de nutrientes para conseguir mejores rendimientos sin afectar a la biodiversidad de los diferentes ecosistemas implicados. Además, con este tipo de asociación, se busca disminuir la presencia de patógenos, menos incidencia de malezas y controlar plagas.

De acuerdo con lo planteado anteriormente, se estudia el efecto del sistema de cultivos intercalados de trigo (*Triticum aestivum* L.) y lenteja (*Lens culinaris*) sobre la producción de materia seca en ambas especies y el efecto que tiene sobre la presencia de los principales áfidos que atacan a estos cultivos: *Rhopalosiphum padi* en trigo y *Acyrtosiphon pisum* en lenteja. El ensayo se realizó en dos jaulas cerradas, una con y otra sin presencia de áfidos, con tres tratamientos y cuatro repeticiones en cada jaula (monocultivo de lenteja, monocultivo de trigo y asociado trigo-lenteja) en condiciones de invernadero durante 64 días con introducción de dos áfidos por planta a los 30 días después de siembra. Los resultados obtenidos, explican la competencia que existe entre ambas especies cultivadas. El trigo presenta mejores habilidades morfológicas competitivas, generando mayor producción de MS en comparación a la planta de lenteja, sin embargo, cuando se compara el cultivo asociado con el monocultivo, en ambas especies tiende a tener mayor producción de materia seca el cultivo asociado, no obstante, esa diferencia no es estadísticamente significativa. En cuanto a la presencia de plagas, se determinó que el cultivo asociado no presentó diferencias significativas en relación con la presencia de áfidos, por el contrario, la tendencia preferencial de los áfidos va hacia las plantas asociadas en ambos cultivos. Esto podría estar relacionado, al aislamiento que las plantas y áfidos tuvieron en el ensayo, lo cual no permitió la acción de enemigos naturales.

## ABSTRACT

In recent years, the need has arisen to employ a sustainable, healthier agricultural system that ensures food security and the preservation of diverse ecosystems. In this sense, the intercropping system responds to the need to produce agricultural food whilst efficiently taking advantage of mineral cycles, such as carbon, provided by the abundance and functionality of microorganisms in the soil biota caused by the convergence of two or more species simultaneously sharing resources and space. The efficiency of this cultivation method depends on the species that are associated, however, it is recommended that they be bound to the agroecological concept of plant complementarity and resource facilitation to achieve the optimal efficiency of the development of the cultivation and of the variables that seek a common benefit. The cereal-leguminous ratio is best suited to sustainability parameters, since legumes provide nutrients through natural symbiotic processes such as N<sup>2</sup>-fixation alongside *Rhizobium* bacteria, generating a sustainable cycle of nutrients to achieve better yields without affecting the biodiversity of the different ecosystems involved, in addition, this type of association seeks to reduce the presence of pathogens, to achieve less incidence of weeds, and to control pests.

In accordance with what has been stated, research has been conducted on the effects of the intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and lentil (*Lens culinaris*) on the production of dry matter in both species and the effect it has on the control of the main aphids that attack these crops, (*Rhopalosiphum padi* in wheat and *Acyrtosiphon pisum* in lentils). The test was performed in two closed cages, one with the presence of aphids and another without them, with three treatments and four repetitions in each cage (lentil monoculture, wheat monoculture and wheat-lentil associated) in greenhouse conditions for 64 days with the insertion of two aphids per plant at 30 days after planting. The results obtained explain the competition that exists between the two cultivated species. Wheat has better competitive morphological abilities, generating higher MS production compared to the lentil plant, however, when comparing the monoculture with the crop associated, in both species the associated crop tends to have higher production of dry matter, although this difference is not statistically significant. In respect of presence of aphids, on the contrary, the preferential tendency of aphids goes towards the associated plants in both crops. This might be related to the isolation of the plants and the aphids during the test, which prevented the action of natural enemies.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.1 Hipótesis.....	3
1.2 Objetivo general.....	3
1.3 Objetivos específicos.....	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Monocultivos: Agricultura intensiva .....	4
2.2 Sistema de cultivo intercalado.....	4
2.3 Beneficios de cultivos intercalado .....	5
2.4 Control de plagas en cultivo intercalado.....	6
2.5 Relación cultivo intercalado Cereal-leguminosa.....	6
2.5.1 Simbiosis leguminosa-bacteria en la fijación de nitrógeno.....	7
2.6 Morfología del cultivo de trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.).....	7
2.6.1 Plagas en cultivo de Trigo.....	8
2.6.1.1 <i>Rhopalosiphum padi</i> .....	8
2.7 Morfología del cultivo de lenteja ( <i>Lens culinaris</i> ).....	9
2.7.1 Plagas en cultivo de lenteja .....	10
2.7.1.1 <i>Acyrtosiphon pisum</i> .....	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1 Ubicación del ensayo .....	11
3.2 Material Vegetal.....	11
3.3 Establecimiento y condiciones del ensayo.....	11
3.4 Diseño experimental.....	12
3.5 Procesamiento de material vegetal cosechado.....	13

3.6	Conteo de pulgones.....	13
3.7	Análisis estadístico .....	14
4.	RESULTADOS.....	15
4.1	Materia seca total producida por planta.....	15
4.2	Materia seca aérea producida por planta. ....	17
4.3	Materia seca radical producida por planta.....	19
4.4	Relación Raíz/parte aérea.....	21
4.5	Altura final de plantas de lenteja (cm).....	23
4.6	Abundancia de Pulgones por planta de lenteja.....	25
4.7	Abundancia de pulgones por planta de trigo.....	26
5.	DISCUSIÓN.....	27
6.	CONCLUSIÓN.....	31
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	32
8.	ANEXOS.....	40
8.1	Abundancia de áfidos por planta de trigo y lenteja.....	40
8.2	Plantas con síntomas de clorosis.....	41
8.3	Control cultural de hormigas en ensayo.....	41
8.4	Altura final de plantas de trigo.....	42
8.5	Etapas de desarrollo del cultivo de trigo.....	43



## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 3.3:</b> Tabla del cronograma de actividades realizadas en el ensayo.....	12
<b>Cuadro 4.1.1:</b> ANOVA correspondiente a la producción de MS total en trigo (planta $\text{gramo}^{-1}$ )....	15
<b>Cuadro 4.1.2:</b> ANOVA correspondiente a la producción de MS total en lenteja (planta $\text{gramo}^{-1}$ ).....	15
<b>Cuadro 4.1.3:</b> ANOVA correspondiente a la producción de MS total (planta $\text{gramo}^{-1}$ ) obtenida por especie.....	16
<b>Cuadro 4.2.1:</b> ANOVA correspondiente a la producción de MS aérea en trigo (planta $\text{gramo}^{-1}$ ).....	17
<b>Cuadro 4.2.2:</b> ANOVA correspondiente a la producción de MS aérea en lenteja (planta $\text{gramo}^{-1}$ ).....	17
<b>Cuadro 4.2.3:</b> ANOVA correspondiente a la producción de MS aérea (planta $\text{gramo}^{-1}$ ) obtenida por especie.....	18
<b>Cuadro 4.3.1:</b> ANOVA correspondiente a la producción de MS radical en trigo (planta $\text{gramo}^{-1}$ ).....	19
<b>Cuadro 4.3.2:</b> ANOVA correspondiente a la producción de MS radical en lenteja (planta $\text{gramo}^{-1}$ ).....	19
<b>Cuadro 4.3.3:</b> ANOVA correspondiente a la producción de MS radical (planta $\text{gramo}^{-1}$ ) obtenida por especie.....	20
<b>Cuadro 4.4.1:</b> ANOVA correspondiente a la relación R/PA obtenida por el cultivo de trigo (planta $\text{gramo}^{-1}$ ).....	21
<b>Cuadro 4.4.2:</b> ANOVA correspondiente a la relación R/PA obtenida por el cultivo de lenteja (planta $\text{gramo}^{-1}$ ).....	21
<b>Cuadro 4.4.3:</b> ANOVA correspondiente a la relación R/PA obtenida por especie (planta $\text{gramo}^{-1}$ ).....	22
<b>Cuadro 4.5.1:</b> ANOVA correspondiente a la altura final por el cultivo de trigo (planta $\text{gramo}^{-1}$ ).....	23

<b>Cuadro 4.5.2:</b> ANOVA correspondiente a la altura final por el cultivo de lenteja (planta $\text{gramo}^{-1}$ ).....	23
<b>Cuadro 4.5.3:</b> ANOVA correspondiente a la altura final obtenida por especie (planta $\text{cm}^{-1}$ ).....	24
<b>Cuadro 4.6:</b> ANOVA correspondiente a la abundancia de pulgones según el tipo de cultivo de lenteja (planta $^{-1}$ ) .....	25
<b>Cuadro 4.7:</b> ANOVA correspondiente a la abundancia de pulgones según el tipo de cultivo de trigo (planta $^{-1}$ ) .....	26
<b>Cuadro 8.1:</b> ANOVA correspondiente a la abundancia de áfidos (planta $^{-1}$ ) en cultivo asociado y monocultivo.....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.6.1:</b> La imagen de la izquierda muestra un adulto de <i>R. padi</i> en su forma áptera, mientras que a la derecha observamos su forma alada.....	9
<b>Figura 2.7.1:</b> La imagen de la izquierda muestra un adulto de <i>A. pisum</i> en su forma áptera, mientras que a la derecha observamos su forma alada.....	10
<b>Figura 3.4.</b> Tratamiento control “A” sin pulgones y tratamiento “B” con pulgones.....	13
<b>Figura 4.1.</b> Gráfico de materia seca total (MS planta $\text{gramos}^{-1}$ ), para trigo y lenteja, en monocultivo y cultivo asociado, con y sin la presencia de áfidos durante el crecimiento de las plantas.: <i>R. padi</i> para trigo y <i>A. pisum</i> en lenteja.....	16
<b>Figura 4.2:</b> Gráfico de producción materia seca aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ) en monocultivo y cultivo asociado con y sin la presencia de áfidos durante el crecimiento. <i>R. padi</i> para trigo y <i>A. pisum</i> en lenteja.....	18
<b>Figura 4.3:</b> Gráfico de producción materia seca radical ( $\text{g planta}^{-1}$ ) en monocultivo y cultivo asociado con y sin la presencia de áfidos durante el crecimiento. <i>R. padi</i> para trigo y <i>A. pisum</i> en lenteja.....	20
<b>Figura 4.4:</b> Gráfico relación raíz/parte aérea de plantas de trigo y lenteja en cultivo asociado y monocultivo, con y sin la presencia de áfidos.....	22
<b>Figura 4.5:</b> Gráfico de altura promedio final por planta de lenteja y trigo, asociados y en monocultivo, con y sin la presencia de áfidos .....	24
<b>Figura 4.6:</b> Gráfico poblacional de la cantidad final de <i>A. pisum</i> introducida en plantas asociadas y monocultivo de lenteja.....	19
<b>Figura 4.7:</b> Gráfico poblacional de la cantidad final de <i>R. padi</i> introducida en plantas asociadas y monocultivo de trigo .....	26
<b>Figura 8.1:</b> Gráfico de la abundancia de cada especie de áfido, para cultivo asociado y monocultivo .....	40
<b>Figura 8.2:</b> Imagen de plantas de lenteja en monocultivo con clorosis en hojas.....	41
<b>Figura 8.4:</b> Gráfico de altura final de plantas de trigo según el tipo de cultivo y la presencia de pulgones.....	42

**Figura 8.5:** Imagen de fases de desarrollo en trigo.....43

## 1. INTRODUCCION

La actividad agrícola intensiva en monocultivos amenaza a los ecosistemas, poniendo en riesgo el funcionamiento de este, debido entre otras cosas a la pérdida de la biodiversidad, alteración del ciclo hidrológico y degradación de suelos. En consecuencia, el desafío actual es producir alimentos con bajos costos ambientales de manera sostenible y ecológica (FAO, 2009).

El cultivo intercalado es una práctica agrícola en la que participan dos o más especies de cultivo o genotipos que crecen juntos en el mismo espacio y tiempo (Vandermeer, 1989). Este método responde a la necesidad de obtener alimentos bajo el concepto agroecológico de complementariedad y funcionalidad de las especies vinculadas, esto implica, que las especies que participan en este sistema se beneficien mediante la interacción de los ecosistemas suelo-planta (Martinez, 2018). Por lo tanto, el cultivo intercalado es un sistema eco-funcional que ofrece varias ventajas en comparación con el monocultivo, más aún, cuando la asociación está compuesta por la conjugación de un cereal (*Triticum aestivum L.*) y una leguminosa (*Lens culinaris*), puesto que mejora la eficiencia del uso del suelo, mantiene naturalmente la fertilidad del suelo, reduce el riesgo de enfermedades, incidencia de plagas y reduce las pérdidas de nitrógeno (N) (Bedoussac et al., 2014). Adicionalmente, esta relación reduce la aparición de malezas ya que el cereal es altamente competitivo por los recursos disponibles, también se plantea que en regiones con altas temperaturas la actividad metabólica de la comunidad microbiana del suelo es incrementada, generando mejores tasas de mineralización de carbono (Moscateli et al., 2007). Además, es posible disminuir las poblaciones de plagas en cultivos intercalados abiertos, dado que atrae a enemigos naturales y aumenta la dificultad para que las plagas encuentren a su huésped (Poveda et al., 2008). En el caso de la asociación trigo-lenteja existen dos principales áfidos alados que provocan daño: *Rhopalosiphum padi* en trigo el cual transmite el virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) y produce una de las principales enfermedades en cereales (Navarro, 2017); mientras que, en lenteja, *Acyrtosiphon pisum* provoca un debilitamiento de la planta debido a la succión de la savia, además, transmite más de 30 virus diferentes (Perea, 2015).

El cultivo intercalado leguminosa-cereal debe ser rentable con el fin de satisfacer las estimaciones productivas, de tal modo que, al momento de la cosecha, se obtengan rendimientos similares o mejores respecto a los obtenidos en monocultivo. Para evaluar lo anterior existe una medida del uso eficiente de la tierra, agroecológicamente conocida como "relación equivalente de tierra o LER por sus siglas en inglés: Land Equivalent Ratio (Willey, 1979). La relación cereal-leguminosa incrementa paulatinamente los rendimientos del cereal a causa del N<sub>2</sub> fijado por las lentejas, las cuales pertenecen a la familia de las leguminosas, plantas que realizan

simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*. Este proceso ocurre cuando las bacterias colonizan la rizósfera de las leguminosas e infestan las raíces, dando lugar a procesos bioquímicos que terminan en la aparición de nódulos radicales, los cuales albergan y dan las condiciones necesarias a las bacterias para realizar la fijación de N<sub>2</sub> del aire (Prabakaran, 2010).

En este contexto, se evaluó el efecto del cultivo asociado de trigo (*Triticum aestivum L.*) y lenteja (*Lens culinaris*) sobre la producción de materia seca (MS) total, radical y aérea y sobre la presencia de los principales áfidos alados, *R. padi* en trigo y *A. pisum* en lenteja. Aplicando este método de cultivo se podría mejorar los rendimientos de manera sostenible, manteniendo el equilibrio ecosistémico y ejecutar el control de plagas de forma natural.

En base a lo anterior, se plantearon la siguiente hipótesis y objetivos para este trabajo.

### **1.1 Hipótesis**

El cultivo asociado de lenteja y trigo aumenta la producción de materia seca total comparado con monocultivo de ambas especies y tiene efecto en la abundancia de áfidos alados (*A. pisum* en lenteja y *R. padi* en trigo) en comparación al monocultivo de cada especie.

### **1.2 Objetivo general**

Determinar el efecto del cultivo intercalado de lenteja-trigo sobre la presencia de áfidos alados en ambiente cerrado y conocer las diferencias en producción de materia seca con respecto a monocultivo de ambas especies.

### **1.3 Objetivos específicos**

- Evaluar la altura y producción de materia seca radical, aérea y total en ambas especies en monocultivo y cultivo intercalado.
- Evaluar la abundancia de *A. pisum* y *R. padi* en cultivo intercalado y monocultivo de trigo-lenteja.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Monocultivos: Agricultura intensiva

El término monocultivo se refiere a plantaciones o siembras, de gran extensión en una determinada área, con una sola especie. La mayoría de los productos obtenidos de esta técnica son destinados a exportación y generan grandes impactos sociales y ambientales, por ejemplo, pérdida de la biodiversidad, alteración del ciclo hidrológico, degradación de suelos, pérdida de culturas indígenas y tradicionales, conflictos sociales, expulsión de la población rural, etc. (Vidal, 2008). Este sistema también genera resistencia a plaguicidas y extensión de plagas y enfermedades en los cultivos y plantaciones. El empleo de productos químicos causa contaminación del aire, de la tierra y el agua, y así también, la salud de la población (Oxfam, 2016).

Se estima que, en 2050, la población mundial supere los 9 mil millones de habitantes, sin lugar a duda, un aumento continuo de la población desencadenará en graves problemas de seguridad alimentaria (Gerland et al., 2014). Por lo tanto, emplear el método agrícola de monocultivos generará aún más agotamiento de los recursos naturales, puesto que atenta con la existencia de un sinfín de ecosistemas (Bender et al., 2016). Además, perpetuar un mismo cultivo implica aumentar las exigencias nutricionales de los monocultivos, demandando altas dosis de fertilización y causando un empobrecimiento nutricional de la superficie terrestre, esto se entiende como la reducción de la productividad biológica y disminución de la complejidad de los ecosistemas terrestres. En la última década, el 23% de los suelos del globo terrestre se encuentran en condiciones severas de degradación, afectando así a 1,5 mil millones de personas (Lal et al., 2012).

### 2.2 Sistema de cultivo intercalado

Las últimas investigaciones ambientales ligadas a la agricultura concluyen la urgente necesidad de establecer sistemas productivos con principios ecológicos y ecosistémicos para mejorar la sostenibilidad agroecológica, aumentar la eficiencia productiva, disminuir el uso de insumos químicos y el uso de energías no renovables (Clergue et al., 2005). En este sentido, existe una amplia gama de técnicas de cultivos empleadas a la largo de la historia, una de las más apropiadas es el sistema de cultivo intercalado. Este sistema se define como el cultivo simultáneo de dos o más especies de cultivos en la misma tierra y al mismo tiempo (Willey, 1990). Esta técnica consiste en establecer un cultivo base de una especie en condiciones normales de población acompañado de un segundo cultivo de otra especie que genere beneficios mutualistas

y sin afectar el desarrollo del cultivo base. De esta forma es posible lograr un alto potencial, dado que la diversidad puede contribuir sustancialmente con múltiples ventajas en la eficiencia de uso de los recursos consiguiendo mejorar la productividad, teniendo en cuenta el desarrollo agrícola sostenible (Chitale, 2014).

Según Lichtfouse (2009), existen dos principales sistemas intercalados, de banda y relé, ambos se utilizan en todo el planeta. “El método intercalado de banda consta de cultivos diferentes alineados simultáneamente por hileras, mientras que, en el procedimiento intercalado de relé, los cultivos de final de temporada se plantan por fila en la etapa tardía del cultivo de la temporada anterior” (Lichtfouse, 2009). No obstante, Chitale (2014) en su investigación de cultivos intercalados recomienda que los cultivos no deben competir por luz, los cultivos elegidos deben responder al concepto de complementariedad vegetal respecto a la adquisición de recursos del suelo y facilitación en la interacción microorganismo-planta en la rizósfera, además, la siembra y el tiempo de madurez del cultivo principal con respecto al segundo cultivo, puede ser simultánea o diferidas. Además, Liebman (1998) afirma que las combinaciones en cultivos intercalados pueden ser cultivos anuales con anuales, perennes con perennes o anuales con perennes.

### **2.3 Beneficios de cultivos intercalados**

El sistema de cultivos intercalados responde a la necesidad de realizar agricultura sostenible en el tiempo, dando lugar a la mantención integral de los diferentes ecosistemas involucrados en el sector agrícola. El uso eficiente de la tierra es una evaluación cuantitativa, en contextos de agroecología, comúnmente conocida como “relación equivalente de tierra” o LER (Land Equivalent Ratio) (Willey, 1979). Una investigación realizada por Guay y colaboradores (2018), señala que la LER promedio de sistemas intercalados es 1,30, es decir, se necesita 30% más de superficie de suelo de monocultivo para conseguir el rendimiento obtenido en cultivo intercalado. No obstante, las principales razones globales para usar cultivos intercalados son: ventajas en rendimiento en cereales, eficiencia en el uso de nutrientes, agua y luz (Wang et al., 2017), mejor resistencia a enfermedades, menor incidencia de plagas y malezas no deseables y, por último, bajos costos ambientales (Chai et al., 2013).

Los beneficios ecológicos, recaen en el aumento de la biota del suelo, consecuentemente, provoca que la productividad ecológica del suelo aumente. En este sentido, el ciclo de los recursos disponibles es más eficiente respecto a lo que sucede en monocultivos, en donde, el número de especies o grupos funcionales es menor y puede resultar en dificultar las funciones de los ecosistemas (Moawad y Beck, 1991).



## **2.4 Control de plagas en cultivo intercalado**

La intensificación agrícola ha logrado reducir la heterogeneidad espacial y temporal de los paisajes agrícolas en términos de diversidad estructural del paisaje (Benton et al., 2003). Por el contrario, se ha demostrado que el aumento de la diversidad de plantas dentro de una superficie agrícola provoca regulaciones en las poblaciones de plagas en diferentes agroecosistemas (Hooks y Johnson, 2003). Esto es fundamentado gracias a varios mecanismos reguladores. Uno de ellos es la dificultad que presentan las plagas para encontrar y acceder a las plantas hospederas, debido al aumento de enemigos naturales, ocasionando mayor mortalidad de las plagas (Poveda et al., 2008). Esta acción se logra cuando se realizan cultivos mezclados o intercalados compuestos por diferentes especies de plantas (interespecífica) o bien cultivares de una misma especie (intraespecífica) (Andow, 1991). Sin embargo, existen pocas investigaciones sobre los efectos que causa la diversidad intraespecífica de trigo en el control de plagas (Tooker y Frank, 2012). Por lo tanto, para conocer de mejor forma el potencial de mezclas con trigo en cuanto a la presencia de plagas, es necesario realizar investigaciones a fondo. Del mismo modo, cuando se intercalan dos cultivos comerciales, por ejemplo, trigo y leguminosa de grano, resultan ser eficientes en controlar la abundancia de pulgones en ambos cultivos en experimentos de campo abierto (Wang et al., 2009). Por el contrario, otros investigadores indican que el cultivo intercalado de trigo y leguminosas, para el control de plagas, tiene baja importancia hasta el momento (Lopes et al., 2016).

## **2.5 Relación cultivo intercalado cereal-leguminosa**

El cultivo intercalado de cereal y leguminosas de grano es considerado como una práctica eco-funcional que puede ofrecer ventajas en comparación con el sistema de monocultivo, considerando el aumento de la eficiencia del uso del suelo, el mantenimiento de la fertilidad del suelo, reducir enfermedades e incidencia de plagas y reducción de las pérdidas de N (Bedoussac et al., 2015). El principio ecológico clave de la asociación de leguminosa-cereal es el uso complementario intraespecífico de los recursos de crecimiento, especialmente de N (Ofori y Stern, 1987). Es decir, las especies reducen su nivel competitivo y aprovechan los recursos disponibles. También se genera el concepto de facilitación, el cual permite las interacciones positivas entre especies, de este modo, una especie es capaz de movilizar o disponer de nutrientes para la otra especie (Betencourt, 2012). Estudios realizados por Bedoussac y Justes (2010), determinaron que las legumbres absorben preferentemente N inorgánico, sin embargo, cuando el N es limitado en el suelo, debido a la baja disponibilidad o cuando hay competencia, como ocurre en los cultivos intercalados, comienza a fijar N<sub>2</sub> atmosférico, de tal modo que la leguminosa es capaz de sustituir su fuente de N. En este sentido, podría aumentar la estabilidad del rendimiento del sistema (Jensen, 1996).

Por otra parte, el cereal en cultivo intercalado puede reducir la presión de malezas (Amossé et al., 2014). Además, en conjunto con leguminosas, podría superar la inestabilidad de rendimientos relacionado con los cultivos de leguminosas en monocultivo (Bedoussac et al., 2015). Investigaciones propuestas por Kiaer y otros autores (2009) consideran un aumento de 4,3% a 5,7% en rendimiento respecto al monocultivo. Otras investigaciones refutan que el intercalado cereal-leguminosa ocasionalmente aumenta el rendimiento de una especie o de ambas (Song et al., 2007). En este sentido, la planta de trigo a veces se beneficia más, puesto que resulta ser más competitiva para la absorción de N del suelo, en efecto, obliga a la leguminosa a aumentar la fijación simbiótica de N<sub>2</sub> (Hauggard-Nielsen et al., 2003). Además, el cereal es naturalmente la especie dominante en este sistema, de tal modo que también resulta ser más competitivo por luz y agua (Midmore, 1993). Dichas interacciones planta a planta, en gran medida son impulsadas por las comunidades microbianas que componen la rizósfera en cada especie (Eisenhauer, 2012).

### **2.5.1 Simbiosis leguminosa-bacteria en la fijación de nitrógeno**

Los microorganismos del suelo contribuyen suministrando nutrientes esenciales, particularmente aquellos vinculados al ciclo del N y del fósforo (P). El concepto de fijación de N<sub>2</sub> se entiende como el proceso por el cual bacterias del género *Rhizobium* se asocian simbióticamente a las raíces de las leguminosas formando nódulos que las albergan, las cuales fijan N<sub>2</sub> del aire dejándolo disponible para las plantas. La interacción bacteria-nódulo ocurre con la infección de las bacterias, generando una atracción en la rizósfera, estos microorganismos se adhieren a los pelos radiculares y generan un canal infeccioso, este canal forma el nódulo. La formación óptima del nódulo ocurre a temperaturas entre 7 y 15°C y la fijación óptima sucede entre los 20 y 25°C. Además, es importante que la humedad del suelo se encuentre entre 60 y 70% de la capacidad de campo del suelo (Barrientos, 1989).

### **2.6 Morfología del cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.)**

La variedad de trigo Pandora INIA (*Triticum aestivum* L.) proviene de un trabajo de mejoramiento realizado durante los años 1989 y 2003, por el proyecto Trigo de INIA Quilamapu. Esta variedad de trigo es de habito primaveral y crecimiento erecto, llegando a alcanzar una altura entre los 90 y 95 cm (INIA, 2003). Sus raíces son fasciculadas, de tipo adventicias y primarias, estas últimas aparecen cuando se produce la germinación de la semilla y realizan la absorción de nutrientes y agua del suelo, mientras que las adventicias aparecen cuando la planta emite sus tallos, actuando como sostén de la planta (Cruz, 1991 y Rojas, 1998). Posee hojas lanceoladas, cintiformes, se originan en los entrenudos y se disponen de forma alterna, el número de hojas es proporcional al número de nudos (Rojas, 1998). El tallo es de médula mediana, resistente a la

tendedura, con 3 nudos promedio por tallo. La espiga es de densidad media, de 10 a 11 cm de largo, color blanco, con forma piramidal y barbas largas distribuidas en toda su extensión (Mellado y Madariaga 2003). Su fruto es un grano de tamaño medio a grande, color café oscuro y forma ovalada (INIA, 2003).

La variedad Pandora se siembra a mediados de agosto, generando la emisión de la espiga a los 86 días aproximadamente. Esta variedad ha demostrado tener un rendimiento promedio de 7,98 t ha<sup>-1</sup>, superior en un 6% a la variedad Domo INIA y en un 10% a la variedad Opala INIA (INIA, 2003). Además, tiene una moderada susceptibilidad a las royas estriada (*Puccinia striiformis* West. f. sp. *tritici*), colorada de la hoja (*Puccinia triticina* Erikss) y de la caña (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* Erikss. y Henn.) (Mellado y Madariaga, 2003).

### **2.6.1 Plagas en cultivo de Trigo**

El cultivo de trigo está expuesto al ataque de diversas plagas durante su desarrollo fenológico, siendo los áfidos uno de los principales problemas. Las especies usualmente encontradas en el cultivo de trigo son el "pulgón verde de los cereales" (*Schizaphis graminum*), el "pulgón amarillo de los cereales" (*Metopolophium dirhodum*), el "pulgón de la espiga" (*Sitobium avenae*) y el "pulgón de la avena" (*Rhopalosiphum padi*) (Lavandero et al., 2018).

#### **2.6.1.1 Rhopalosiphum padi**

Debido a la importancia del ataque de los áfidos en el desarrollo del cultivo de trigo, es relevante conocer con más detalle uno de los pulgones que produce mayor problema, comúnmente conocido como "pulgón de la avena", este hemíptero de color verde posee bases sifunculares de un tono rojo oxidado, los extremos apicales de los sifúnculos son ligeramente inflados, su cauda (cola) es pálida y más corta que los sifúnculos (Navarro, 2017). Este pulgón ataca los cereales a inicios de invierno y comienzos de primavera, dañando principalmente las plantas jóvenes (González, 1989) desde el estado de plántula hasta que aparece la espiga (Vincini et al., 1982). Se ubica a nivel del suelo en la base del tallo y en las hojas basales o también se puede encontrar en la parte aérea de la planta, próximo a los macollos (Lavandero et al., 2018). Sus daños provocan encrespamiento de hojas jóvenes, amarillamiento de hojas y retardo de crecimiento (Imwinkelried et al., 2004). Además, este áfido elimina cantidades abundantes de mielecilla, lo que produce una cubierta pegajosa sobre la superficie de la hoja, reduciendo su capacidad fotosintética (Navarro, 2017). Si bien las poblaciones de *R. padi* en el cultivo de trigo normalmente se mantienen por debajo del nivel de daño económico, su importancia radica en su capacidad de transmitir virus (INTA, 1981), incluso el virus del enanismo

amarillo de la cebada (BYDV), el cual es considerado a nivel mundial una de las principales enfermedades que afectan a los cultivos de cereales (Navarro, 2017).



**Figura 2.6.1:** La imagen de la izquierda muestra un adulto de *R. padi* en su forma áptera, mientras que a la derecha observamos su forma alada. Fuente: influentialpoints.

## 2.7 Morfología del cultivo de lenteja (*Lens culinaris*)

Calpún-INIA es una variedad de lenteja (*Lens culinaris* Medik), originada por el ex programa de leguminosas de grano del INIA, Chile. Se obtuvo del cruzamiento entre Araucana-INIA x Laird (INIA, 2006). Es un cultivar de tamaño de grano grande, su altura varía entre los 30 y 50 cm según el lugar de producción. Posee un sistema radicular profundo con una raíz larga y central, rodeada de numerosas raíces fibrosas y con buena adaptación a suelos pesados (Walls-Thumma, 2017). Tiene hojas paripinnadas, con presencia de zarcillos en la parte superior de los tallos, los que ayudan a mantener la planta en posición vertical dada su altura (INIA, 2006). Sus flores son de color blanco, con venas de color azul en el estandarte, desarrollan generalmente una vaina por pedúnculo, teniendo en promedio un grano por vaina. El grano es algo aplanado con cutícula de color verde claro a gris y cotiledones amarillos-claros, con un peso promedio de 8 g por 100 semillas (Peñaloza et al., 2007).

Esta variedad se caracteriza por un alto rendimiento y calibre de grano, con resistencia a roya (*Uromyces fabae* Pers). En estudios realizados por el INIA durante 4 temporadas (1993-1997) se obtuvo un rendimiento promedio de 1.466 kg ha<sup>-1</sup>.

### 2.7.1 Plagas en cultivo de lenteja

Dentro de los factores que limitan la producción, las plagas de insectos juegan un papel esencial, ya que disminuyen la productividad y calidad de las semillas, alterando gravemente la rentabilidad del cultivo (Pérez et al., 1998). Los áfidos de mayor importancia son *Acyrtosiphon pisum* y *Aphis craccivora* (Pérez et al., 2002).

#### 2.7.1.1 *Acyrtosiphon pisum*

Comprender la importancia que tienen los áfidos en la disminución de rendimientos en leguminosas es relevante para saber cómo controlar el ataque, por ello se detalla información sobre este áfido. Comúnmente conocido como pulgón verde, es un pequeño hemíptero que mide entre 3-5 mm en su estado adulto, sus antenas son igual de largas o más que el cuerpo, su cauda (cola) es prominente y los extremos de los sifones son oscuros (Perea, 2015). Se ubica principalmente en las hojas jóvenes de la planta y en las partes apicales de los pecíolos, donde se alimentan de la sabia de la planta (Anaya, 1999). Este áfido genera daños directos por succión de sabia causando aborto floral, debilitamiento de la planta, marchites, brotes atrofiados, deformación de vainas y un menor peso del grano. Además, *A. pisum* es vector de más de 30 enfermedades virales, incluyendo el virus del mosaico y el virus del enanismo del guisante (PEMV-1) (Anaya, 1999 y Perea, 2015).



**Figura 2.7.1:** La imagen de la izquierda muestra un adulto de *A. pisum* en su forma áptera, mientras que a la derecha observamos su forma alada. Fuente: influentialpoints

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del ensayo

El ensayo se realizó en los invernaderos del Centro de Mejoramiento Genético y Fenómica Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca.

#### 3.2 Material Vegetal

El ensayo se realizó con semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) variedad Pandora. Se caracteriza por tener un excelente potencial de rendimiento y un grano de alta calidad, además es una variedad que posee una moderada susceptibilidad a las royas estriada (*Puccinia striiformis*), colorada de la hoja (*Puccinia triticina*) y de la caña (*Puccinia graminis*), y moderada resistencia al oídio causado por el hongo *Blumeria graminis* (INIA, 2003). Además, se usaron semillas de lenteja (*Lens culinaris*) variedad Calpún, es una planta de crecimiento indeterminado, con una altura variable entre 30 y 50 cm y flores de color blanco, es una de las primeras variedades que combina alto rendimiento, calidad de grano y con resistencia a la roya (*Uromyces fabae* Pers.) (Peñaloza et al., 2007).

#### 3.3 Establecimiento y condiciones del ensayo

El ensayo se llevó a cabo durante los meses de marzo a mayo del año 2019. Para desarrollar el ensayo se utilizaron 24 macetas, cada maceta fue llenada con 1,9 kg de suelo Trumao, perteneciente a la serie Bramadero, suelo de color gris oscuro, con una textura franco-limosa y rico en materia orgánica (CIREN, 1964). Además, previo a la siembra de trigo-lenteja, se agregó al suelo 885,5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 3,20 g de KCl.

Se seleccionó 12 macetas para la jaula que tuvo presencia de pulgones y 12 macetas para la jaula sin áfidos. En ambas jaulas se realizó el mismo procedimiento, se sembraron 10 semillas de trigo por maceta en 4 repeticiones en monocultivo, adicionalmente, se sembró 10 semillas de lenteja por maceta en 4 repeticiones en monocultivo y, además, se sembró 5 semillas de trigo y 5 semillas de lentejas por maceta en 4 repeticiones generando el cultivo asociado. Luego de 20 días después de siembra, se seleccionaron 6 plantas homogéneas en crecimiento para el caso de monocultivo de trigo y monocultivo de lenteja, en el caso del cultivo asociado, se seleccionó 3 plantas de lenteja y 3 de trigo. Así, las 24 macetas fueron ubicadas en invernadero abierto, con constante circulación de aire y a temperatura ambiente, sin embargo, fueron tapadas con un visillo para generar condiciones semejantes para todas las plantas y así también para protegerlas de

cualquier tipo de plaga, esto se realizó por causa de las altas temperaturas que se produjeron en esa fecha. En cuanto a las condiciones de humedad del suelo, se asumió una humedad del 13%, regando 2 veces a la semana alcanzando una capacidad de campo del suelo del 75%. Luego de 20 días desde la siembra, una vez desarrolladas las primeras hojas, las plantas de lenteja fueron inoculadas con bacterias del género *Rhizobium* aplicando 2 mL de una suspensión de bacterias (Rizofix ® Biogram) por planta. Al mismo tiempo las macetas fueron cambiadas a otro invernadero bajo condiciones de luminosidad de día corto y con una temperatura promedio de 20 °C. Después de los 30 días desde siembra, se introdujo áfidos en la jaula B, 72 ejemplares adultos de *R. padi* en las plantas de trigo y 72 pulgones adultos de *A. pisum* en las plantas de lenteja.

**Cuadro 3.3:** Tabla del cronograma de actividades realizadas en el ensayo.

Fecha	Nº de día	Actividad
28 de marzo	0	Inicio del ensayo / Fertilización del suelo / Siembra de semillas
16 de abril	20	Inoculo de bacterias / Cambio de invernadero.
20 de abril	24	Selección de Plantas
26 de abril	30	Introducción de pulgones ( <i>R. padi</i> y <i>A. pisum</i> ).
30 de mayo	64	Retiro de pulgones / Fin del ensayo.

### 3.4 Diseño experimental

El ensayo tuvo un diseño completamente al azar con arreglo factorial, el primer factor era el tipo de cultivo, este contenía cuatro niveles, monocultivo de trigo, monocultivo de lenteja, cultivo asociado de trigo y lenteja asociada. Cada nivel tenía cuatro repeticiones y cada repetición tenía seis plantas homogéneas, en el caso del cultivo asociado, hubo tres plantas de lenteja y tres de trigo.

El segundo factor era la presencia de pulgones, es decir, el primer factor se duplicó, por lo que uno se desarrolló con la presencia de pulgones y el otro sin la presencia de pulgones. En la jaula (B), se introdujo 72 áfidos adultos de *R. padi* para las plantas de trigo y 72 ejemplares adultos de *A. pisum* para las plantas de lenteja, dejando 2 pulgones por planta, mientras que el otro, no tuvo intervención.



**Figura 3.4.** Jaula “A” sin pulgones y Jaula “B” con pulgones.

### **3.5 Procesamiento de material vegetal cosechado**

Después de la introducción de áfidos, las plantas crecieron durante 64 días en condiciones de invernadero. Luego de este tiempo, las plantas fueron cosechadas, se midió la altura alcanzada por cada una, y posteriormente se separó la parte aérea y radical, las cuales fueron almacenadas por separado en bolsas de papel y secadas en estufa de aire forzado a 70°C, hasta alcanzar peso constante (~72 h). Una vez seco el material vegetal, fue pesado para determinar la producción de materia seca aérea y radical en cada repetición y tratamiento.

### **3.6 Conteo final de áfidos**

Al cabo de 34 días posterior a la introducción de los áfidos, se realizó el conteo final de cada especie. En primer lugar, se tomaron todos los áfidos por cada maceta de monocultivo de trigo, luego se tomaron por cada maceta de monocultivo de lenteja en bandejas separadas y finalmente, se tomaron todos los áfidos de cada maceta de cultivo asociado, separado por especie. Posteriormente, los ejemplares de cada bandeja se recolectaron en tubos de ensayo con alcohol al 90% para el posterior análisis en laboratorio, en donde los pulgones se pusieron homogéneamente en una placa Petri por cada maceta individual, dividida en 4 separaciones para poder contar la población con microscopio con lente de lupa solo en una sección, luego el valor se multiplicó por 4 para la estimación total. En el caso de la especie que tuvo pocos ejemplares, se contaron de manera individual, finalmente, se promedió la cantidad de pulgones por planta de cada especie y de cada método de cultivo.



### **3.7 Análisis estadístico**

Para analizar el ensayo se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial. La prueba estadística usada para determinar si existían diferencias significativas entre las medias fue un análisis de varianza multifactorial (ANOVA,  $p < 0,05$ ) y la prueba t student, de tal modo que los dos supuestos fuesen comprobados. Los resultados se sometieron a la prueba de Levene para verificar la homogeneidad de varianzas en los ANOVA multifactorial. En los datos analizados con la prueba t student, se graficó los residuos para para corroborar el supuesto de normalidad (Serret, 1995), mientras que la separación de las medias fue realizada mediante la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ). Los análisis estadísticos fueron realizados con el software GraphPad Prism 8®.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Materia seca total producida por planta

Con relación a la MS total producida por planta de trigo (figura 4.1), los resultados obtenidos muestran que no hay diferencias según el tipo de cultivo empleado (monocultivo o cultivo asociado) y tampoco influye la presencia o ausencia del pulgón *R. padi*. Además, se observa que la interacción entre el factor (A) y el factor (B) no es significativa (cuadro 4.1.1).

**Cuadro 4.1.1:** ANOVA correspondiente a la producción de MS total en trigo (planta gramos<sup>-1</sup>).

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Tipo de cultivo	0,0396	1	0,0396	1,845	0,1994
B) Presencia de pulgones	0,0967	1	0,0967	4,502	0,0554
Interacción AB	0,0062	1	0,0062	0,290	0,5996
Residuos (error)	0,2578	12	0,0214		
Total	0,4004	15			

Por otra parte, en el cuadro 4.1.2, se observa que la MS total producida promedio por planta de lenteja (figura 4.1), no presentó diferencias significativas en cuanto al tipo de cultivo empleado (monocultivo y asociado) y tampoco se muestran diferencias según la ausencia o presencia de *A. pisum*. Del mismo modo, no existe interacción entre el tipo de cultivo empleado y la presencia o ausencia de áfidos en plantas de lenteja.

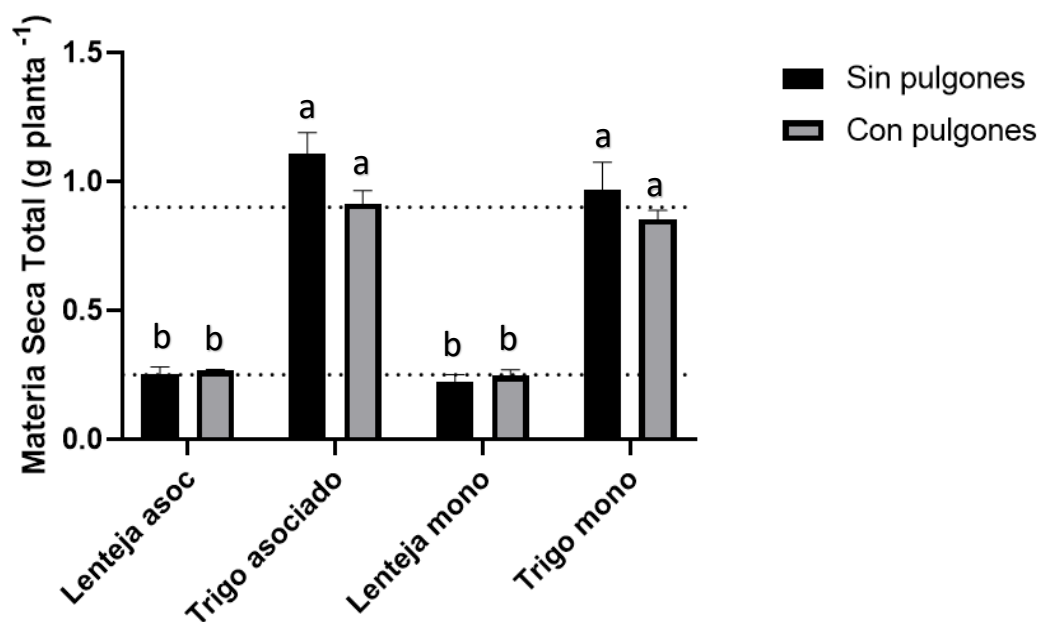
**Cuadro 4.1.2:** ANOVA correspondiente a la producción de MS total en lenteja (planta gramos<sup>-1</sup>).

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Tipo de cultivo	0,0025	1	0,0025	1,066	0,3221
B) Presencia de pulgones	0,0016	1	0,0016	0,6869	0,4234
Interacción AB	0,0001	1	0,0001	0,0471	0,8318
Residuos (error)	0,0280	12	0,0023		
Total	0,0322	15			

Finalmente, en el cuadro 4.1.3 se observa que hubo diferencias significativas según la especie para la producción de MS total obtenida, ya que el promedio de MS total obtenido por trigo (mono y asociado) es 74,38% mayor que lo producido por lenteja (mono y asociado) (figura 4.1). Sin embargo, la presencia o ausencia de pulgones no provocó diferencias en los resultados obtenidos, además, no hubo interacción entre la especie y la presencia o ausencia de áfidos.

**Cuadro 4.1.3:** ANOVA correspondiente a la producción de MS total (planta gramos<sup>-1</sup>) obtenida por especie.

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Especie	4,133	3	1,378	115,7	0,0001***
B) Presencia de pulgones	0,0367	1	0,0367	3,081	0,092
Interacción AB	0,0679	3	0,0226	1,903	0,1561
Residuos (error)	0,2859	24	0,0119		
Total	4,524	31			



**Figura 4.1.** El gráfico muestra el promedio, error estándar y resumen estadístico de la materia seca total (MS planta gramos<sup>-1</sup>), para trigo y lenteja, en monocultivo y cultivo asociado, con y sin la presencia de áfidos durante el crecimiento de las plantas. Las letras indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.2 Materia seca aérea producida por planta

Los resultados del cuadro 4.2.1 muestran que no existe diferencias en la MS aérea producida en trigo según el tipo de cultivo, sin embargo, la presencia de *R. padi* sí genera diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la producción de MS aérea (figura 4.2). Por otra parte, el tipo de cultivo empleado (mono/asociado) no tiene interacción con la ausencia o presencia de este áfido.

**Cuadro 4.2.1:** ANOVA correspondiente a la producción de MS aérea en trigo (planta gramos<sup>-1</sup>).

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Tipo de cultivo	0,0142	1	0,0142	1,446	0,2523
B) Presencia de pulgones	0,0476	1	0,0476	4,855	0,0478*
Interacción AB	0,0004	1	0,0004	0,0407	0,8434
Residuos (error)	0,1178	12	0,0098		
Total	0,1801	15			

En segundo lugar, el cuadro 4.2.2 da a conocer que el cultivo de lenteja no tuvo diferencias en la producción MS aérea (planta gramos<sup>-1</sup>) según el tipo de cultivo (mono/asociado) y la presencia o ausencia de *A. pisum* (figura 4.2). Además, la interacción del factor (A) y el factor (B) no fue significativa.

**Cuadro 4.2.2:** ANOVA correspondiente a la producción de MS aérea en lenteja (planta gramos<sup>-1</sup>).

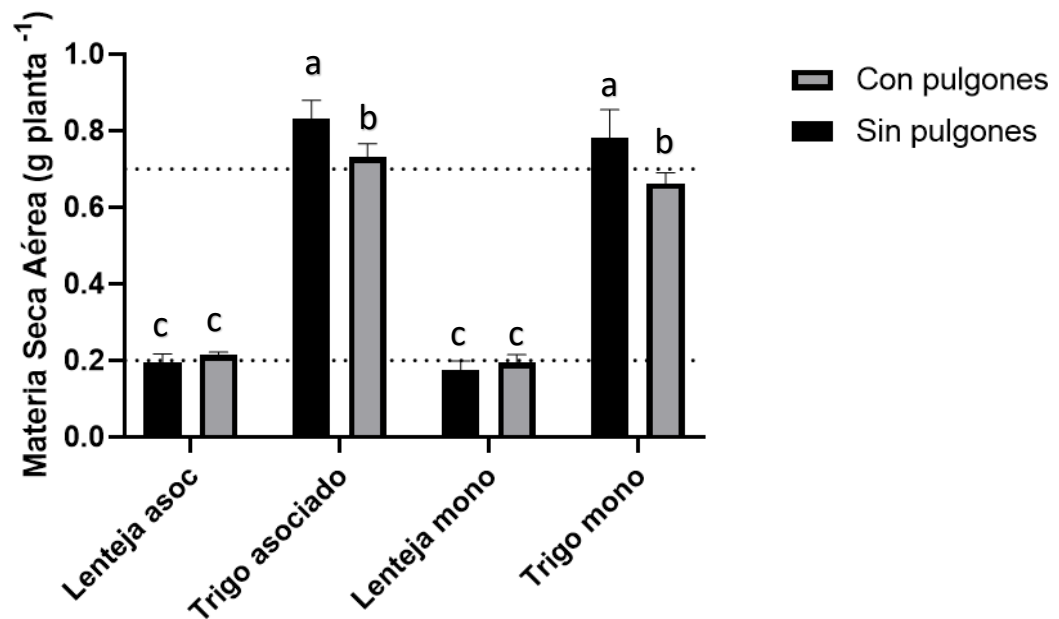
Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Tipo de cultivo	0,0016	1	0,0016	1,01	0,3347
B) Presencia de pulgones	0,0014	1	0,0014	0,8878	0,3646
Interacción AB	6,943E-07	1	6,943E-07	0,0004	0,9836
Residuos (error)	0,0190	12	0,0015		
Total	0,0220	15			

Por último, la producción de MS aérea obtenida por trigo en ambos tipos de cultivo (mono/asociado) es diferente ( $p < 0,05$ ) a la obtenida por el cultivo de lenteja. El cultivo de trigo sin importar el tipo de cultivo produce aproximadamente 75% más MS aérea que el cultivo de lenteja (figura 4.2). No obstante, si bien la presencia de áfidos genera diferencias ( $p < 0,05$ ) en la producción de MS aérea en el cultivo de trigo, la situación cambia una vez analizado en conjunto con el cultivo de lenteja, pues, el cuadro 4.2.3 muestra que la presencia de áfidos no tiene

diferencias en la producción de MS aérea producida en conjunto por las especies. Finalmente, no hubo interacción significativa entre el factor especie y la presencia o ausencia de pulgones.

**Cuadro 4.2.3:** ANOVA correspondiente a la producción de MS aérea obtenida por especie (planta gramos<sup>-1</sup>).

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
Interacción	0,0331	3	0,0110	1,937	0,1506
A) Especie	2,497	3	0,8322	146	0,0001***
B) Presencia de pulgones	0,0163	1	0,0163	2,868	0,1033
Interacción AB	0,0331	3	0,0110	1,937	0,1506
Residuos (error)	0,1368	24	0,0057		
Total	2,683	31			



**Figura 4.2.** El gráfico muestra el promedio, error estándar y resumen estadístico de la materia seca aérea (MS planta gramos<sup>-1</sup>), para trigo y lenteja, en monocultivo y cultivo asociado, con y sin la presencia de áfidos durante el crecimiento de las plantas. Las letras indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparaciones múltiples de TUKEY (p<0,05).

### 4.3 Materia seca radical producida por planta

En relación con la producción de MS radical por planta de trigo, es posible concluir (cuadro 4.3.1) que no hubo diferencias significativas según el tipo de cultivo empleado (mono/asociado) y tampoco hubo diferencias causadas por la presencia de *R. padi* en el cultivo. Así también, no hubo interacción significativa del factor (A) y el factor (B).

**Cuadro 4.3.1:** ANOVA correspondiente a la producción de MS radical en trigo (planta gramos<sup>-1</sup>).

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Tipo de cultivo	0,0063	1	0,0063	1,172	0,3003
B) Presencia de pulgones	0,0085	1	0,0085	1,576	0,2333
Interacción AB	0,0098	1	0,0098	1,798	0,2047
Residuos (error)	0,0654	12	0,0054		
Total	0,0902	15			

Por otro lado, la producción de MS radical obtenida por el cultivo de lenteja (figura 4.3) no mostró diferencias significativas en cuanto al tipo de cultivo y la presencia de pulgones (cuadro 4.3.2). Por consiguiente, la interacción entre factor (A) y factor (B) no fue significativa.

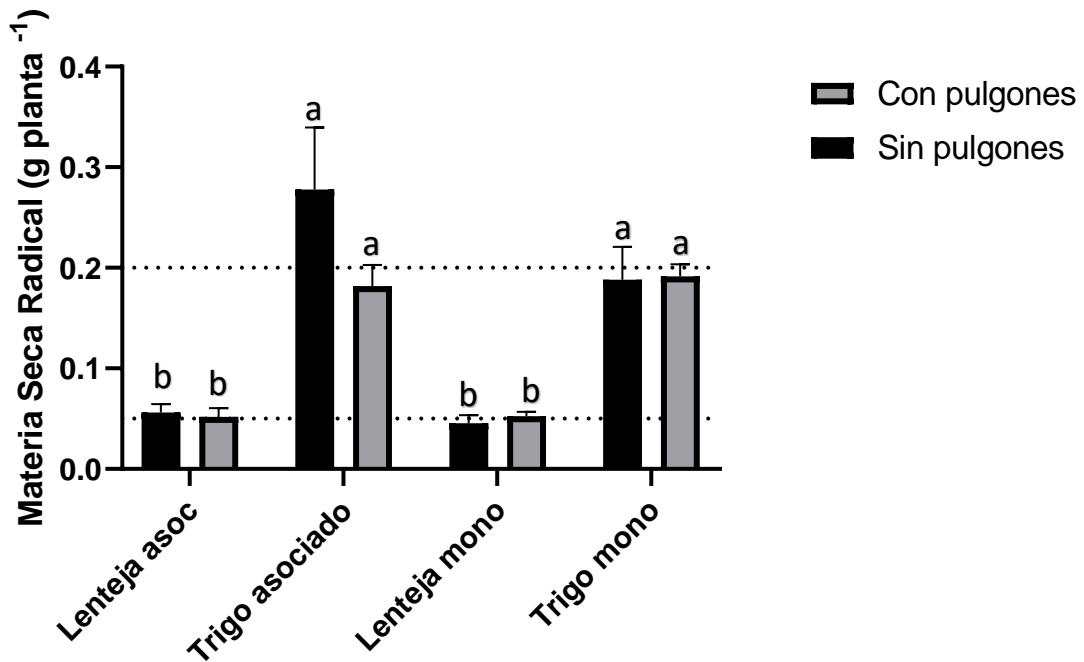
**Cuadro 4.3.2:** ANOVA correspondiente a la producción de MS radical en lenteja (planta gramos<sup>-1</sup>).

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Tipo de cultivo	9,884e-005	1	9,884e-005	0,4475	0,5162
B) Presencia de pulgones	6,674e-006	1	6,674e-006	0,0302	0,8649
Interacción AB	0,0001	1	0,0001	0,5816	0,4604
Residuos (error)	0,0026	12	0,0002		
Total	0,0028	15			

Finalmente, el cuadro 4.3.3 da a conocer que la diferencia de MS radical producida por especie, en ambos tipos de cultivo, fue significativa ( $p < 0,05$ ). No obstante, la presencia de pulgones no tuvo efectos significativos en los resultados. Así mismo, no hubo interacción significativa entre la presencia de pulgones y el tipo de especie (trigo mono y asociado/lenteja mono/asociada).

**Cuadro 4.3.3:** ANOVA correspondiente a la producción de MS radical obtenida por especie (planta gramos<sup>-1</sup>).

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Especie	0,2068	3	0,0689	24,30	0,0001***
B) Presencia de pulgones	0,0040	1	0,0040	1,431	0,2433
Interacción AB	0,0144	3	0,0048	1,701	0,1935
Residuos (error)	0,0680	24	0,0028		
Total	0,2934	31			



**Figura 4.3.** El gráfico muestra el promedio, error estándar y resumen estadístico de la materia seca radical (MS planta gramos<sup>-1</sup>), para trigo y lenteja, en monocultivo y cultivo asociado, con y sin la presencia de áfidos durante el crecimiento de las plantas. Las letras indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.4 Relación Raíz/parte aérea (R/PA)

La relación R/PA establece el equilibrio necesario entre raíces y parte aérea de la planta para realizar de forma óptima la absorción de agua y nutrientes en las raíces y sustentar el crecimiento y desarrollo de la parte aérea. Cuando el valor es 1, se genera el equilibrio de esta relación. Valores <1 explican una mayor proporción de PA y valores >1 muestra mayor proporción de raíces.

En el cultivo de trigo (figura 4.4), los resultados obtenidos (cuadro 4.4.1) muestran que el tipo de cultivo (mono/asociado) no alteró la relación R/PA de esta especie. Además, la presencia de *R. padi* no tuvo efecto en variar la relación R/PA del cultivo. La interacción entre el factor A y el factor B no fue significativa.

**Cuadro 4.4.1:** ANOVA correspondiente a la relación R/PA obtenida por el cultivo de trigo (planta gramos<sup>-1</sup>).

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Tipo de cultivo	0,0033	1	0,0033	0,418	0,5303
B) Presencia de pulgones	0,0012	1	0,0012	0,159	0,6969
Interacción AB	0,0204	1	0,0204	2,542	0,1368
Residuos (error)	0,0963	12	0,0080		
Total	0,1214	15			

Por otra parte, el cuadro 4.4.2 mostró que en el cultivo de lenteja (figura 4.4), el tipo de cultivo y la presencia del áfido de las leguminosas no tuvo efectos significativos en la relación R/PA, además, no hubo interacción significativa entre el tipo de cultivo (mono/asociado) y la presencia de áfidos.

**Cuadro 4.4.2:** ANOVA correspondiente a la relación R/PA obtenida por el cultivo de lenteja (planta gramos<sup>-1</sup>).

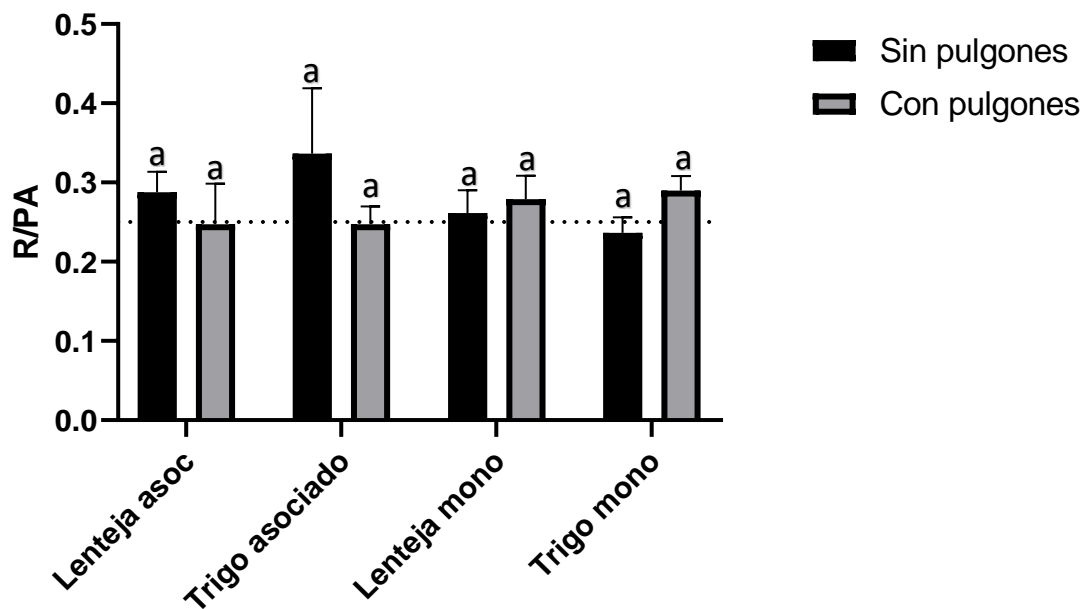
Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Tipo de cultivo	2,544e-005	1	2,544e-005	0,0051	0,9444
B) Presencia de pulgones	0,0005	1	0,0005	0,1033	0,7534
Interacción AB	0,0033	1	0,0033	0,6631	0,4313
Residuos (error)	0,0602	12	0,0050		
Total	0,0641	15			



En último lugar, la relación R/PA (figura 4.4) no tuvo diferencias según la especie, en ambos tipos de cultivo y tampoco tuvo diferencias con la presencia o ausencia de pulgones, del mismo modo, la interacción del factor A y el factor B no fue significativa (cuadro 4.4.3). En conclusión, la R/PA no tuvo diferencias por la especie, tipo de cultivo y presencia de pulgones.

**Cuadro 4.4.3:** ANOVA correspondiente a la relación R/PA obtenida por especie (planta gramos<sup>1</sup>).

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Especie	0,0039	3	0,0013	0,2036	0,8928
B) Presencia de pulgones	0,0017	1	0,0017	0,2625	0,6131
Interacción AB	0,0238	3	0,0079	0,217	0,3251
Residuos (error)	0,1566	24	0,0065		
Total	0,1861	31			



**Figura 4.4.** El gráfico muestra el promedio, error estándar y resumen estadístico de la relación raíz/parte aérea (R/PA) de plantas de trigo y lenteja en cultivo asociado y monocultivo, con y sin la presencia de áfidos. Las letras indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.5 Altura final de plantas (cm)

En primer lugar, el tipo de cultivo (mono/asociado) tuvo efecto significativo en la altura final en el cultivo de trigo (anexo 8.4), así mismo, la presencia de *R. padi* también tuvo efecto significativo en la altura alcanzada por las plantas de trigo (cuadro 4.5.1). Sin embargo, no hubo interacción significativa entre el factor A y el factor B.

**Cuadro 4.5.1:** ANOVA correspondiente a la altura final obtenida por el cultivo de trigo (planta cm<sup>-1</sup>).

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Tipo de cultivo	110,3	1	110,3	13,16	0,0035 **
B) Presencia de pulgones	110,3	1	110,3	13,16	0,0035 **
Interacción AB	25,00	1	25,00	2,985	0,1097
Residuos (error)	100,5	12	8,375		
Total	346	15			

En el caso del cultivo de lenteja (figura 4.5), la altura final no se vio alterada por el tipo de cultivo (mono/asociado) y tampoco por la presencia de *A. pisum*. Asimismo, no hubo interacción significativa entre el factor A y el factor B.

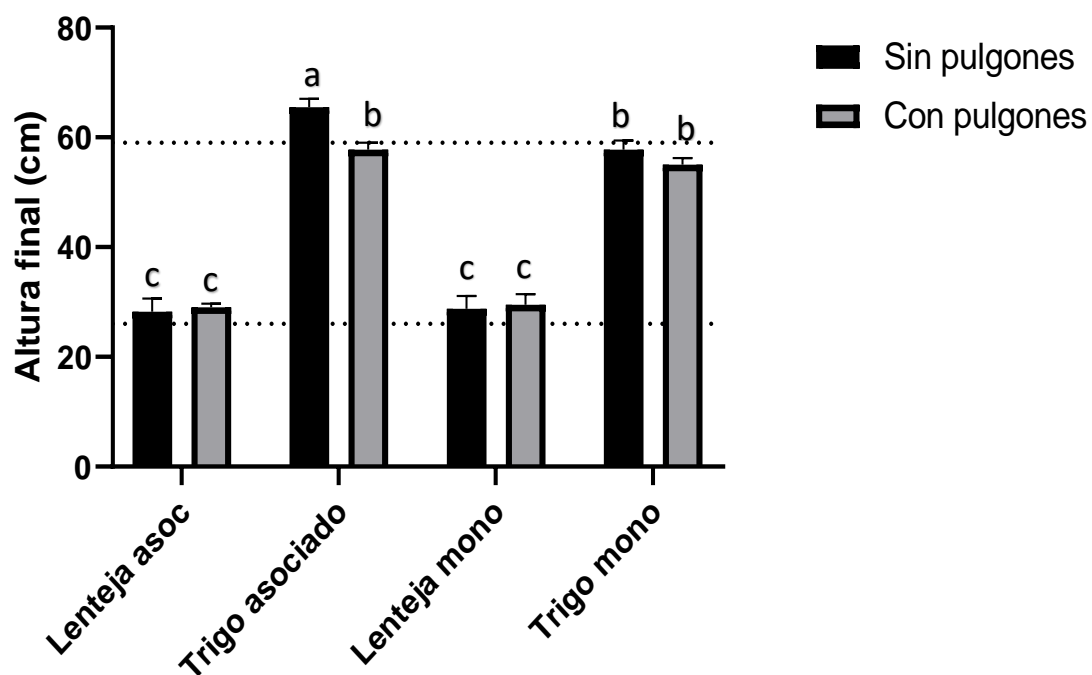
**Cuadro 4.5.2:** ANOVA correspondiente a la altura final obtenida por el cultivo de lenteja (planta cm<sup>-1</sup>).

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Tipo de cultivo	1,000	1	1,000	0,0650	0,8030
B) Presencia de pulgones	2,250	1	2,250	0,1463	0,7087
Interacción AB	0,000	1	0,000	0,000	0,9999
Residuos (error)	184,5	12	15,38		
Total	187,8	15			

En última instancia, el cuadro 4.5.3 muestra que existe diferencia significativa entre la altura alcanza por especies, en ambos tipos de cultivos (figura 4.5). No obstante, la presencia de áfidos no tuvo efecto en la altura final de las plantas, adicionalmente, la tabla muestra que en este caso no ocurren interacciones significativas entre el tipo de especie y la presencia de pulgones.

**Cuadro 4.5.3:** ANOVA correspondiente a la altura final obtenida por especie (cm).

	SC	GL	X	F	Valor P
A) Especie	7371	3	2457	206,9	0,0001***
B) Presencia de pulgones	40,50	1	40,50	3,411	0,0771
Interacción AB	97,00	3	32,33	2,723	0,0666
Residuos (error)	285,0	24	11,88		
Total	7794	31			



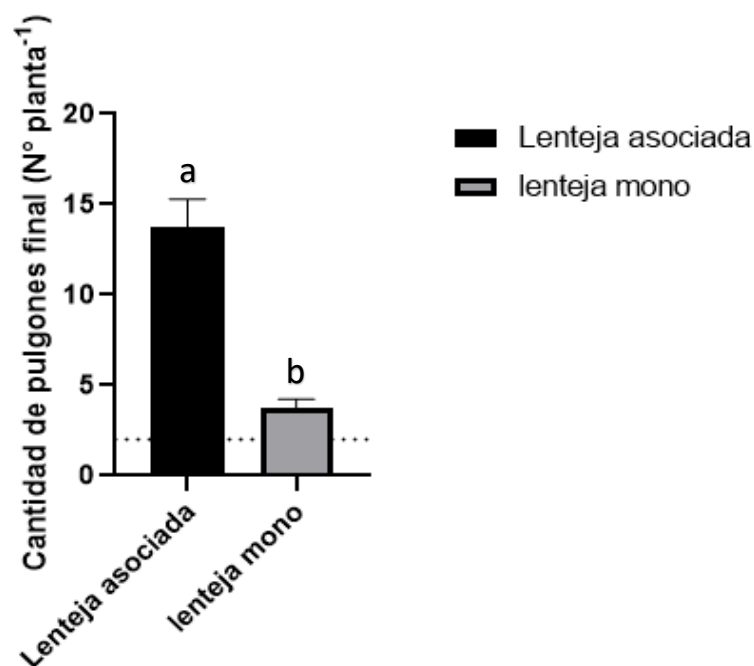
**Figura 4.5.** El gráfico muestra el promedio, error estándar y resumen estadístico de la altura final en plantas de trigo y lenteja en cultivo asociado y monocultivo, con y sin la presencia de áfidos. Las letras indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.6 Abundancia de pulgones por planta de lenteja

La población inicial promedio de *A. pisum* fue de 2 áfidos por planta en 36 plantas de lentejas en total (6 plantas de lenteja de monocultivo y 3 en asociado, ambas con 4 repeticiones). En el sistema asociado, la abundancia fue 73% mayor que el promedio por plantas de lenteja en monocultivo (Figura 4.6), por lo tanto, existe diferencia significativa en la abundancia de ejemplares de *A. pisum* según el tipo de cultivo (cuadro 4.6).

**Cuadro 4.6:** ANOVA correspondiente a la abundancia de pulgones según el tipo de cultivo de lenteja.

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
Tipo de cultivo	253,041	1	253,041	35,91	0,015 *
Residuos (error)	39,231	6	6,5385		
Total	292,272	7			



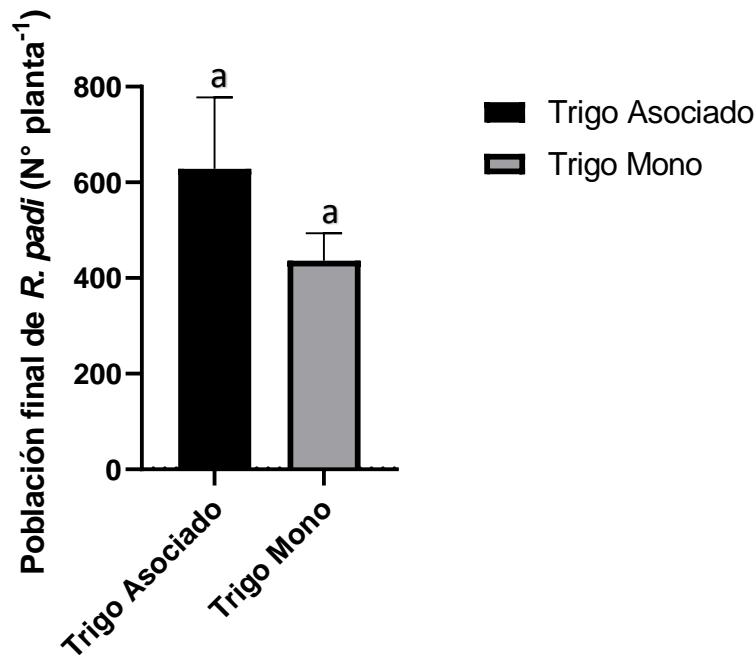
**Figura 4.6.** El gráfico muestra el promedio y error estándar de la abundancia de ejemplares de *A. pisum* según el tipo de cultivo (mono/asociado) en lenteja. Las letras indican diferencias estadísticamente significativas de las medias según la prueba t student.

#### 4.7 Abundancia de pulgones por planta de trigo

La población inicial introducida fue 2 pulgones por planta, es decir 6 pulgones en cada maceta de monocultivo de esta especie y 3 áfidos por maceta de trigo asociada. En el cultivo de trigo asociado, la cantidad final de áfidos, promedio por planta fue de 628 pulgones, lo que significó un 30% más en comparación a los 436 ejemplares de *R. padi* en planta de trigo en monocultivo (Figura 4.7), no obstante, esta diferencia no fue significativa.

**Cuadro 4.7:** ANOVA correspondiente a la abundancia de pulgones según el tipo de cultivo de trigo.

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
Tipo de cultivo	143,373	1	143,373	1,43	0,2764
Residuos (error)	600,201	6	100,033		
Total	743,573	7			



**Figura 4.7.** El gráfico muestra el promedio y error estándar de la abundancia de ejemplares de *R. padi* según el tipo de cultivo (mono/asociado) en trigo. Las letras iguales indican que no hubo diferencias estadísticamente significativas de las medias según la prueba t student.

## 5. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos, se determinó el efecto del cultivo intercalado de trigo y lenteja sobre la presencia de áfidos y la producción de materia seca en ambas especies.

En primer lugar, la diferencia de producción de materia seca total (MST) obtenida por planta de trigo, asociado y en monocultivo, fue superior a la producida por planta de lenteja tanto en cultivo asociado como en monocultivo, sin importar la presencia o ausencia de pulgones. Esta diferencia (Figura 4.1) se debe principalmente a la morfología de cada especie. El trigo produce más materia seca aérea (Figura 4.2) puesto que sus hojas son alargadas y rectas, el tallo es una caña erecta de médula mediana con 3 nudos, los entrenudos son distantes y alcanzan mayor altura (Figura 4.5) en comparación a la planta de lenteja que posee un follaje más pequeño, ya que sus hojas son pequeñas y ovaladas, su tallo presenta entre nudos más cortos y delgados, pero con ramificaciones laterales (Adriazola, 2019). El sistema radicular de cada especie también es diferente, por ende, existen considerables diferencias en la producción de materia seca radicular (Figura 4.3). En el caso del trigo, sus raíces son del tipo fascicular con raíces seminales en estado de plántula, posteriormente, son reemplazadas por raíces secundarias o adventicias que provocan mayor elongación y aumento de ramificaciones radiculares exploratorias en el suelo, esto depende de las condiciones en las que se desarrollen (INIA, 2003). Sin embargo, el sistema radicular de lenteja tiene una raíz principal delgada con raíces laterales fibrosas agrupadas en masa con menos capacidad de explorar el suelo (Walls-Thumma, 2017). En efecto, las raíces de trigo tienen la capacidad de elongar más y crecer más en el suelo en busca de agua y nutrientes mientras que en las raíces de lentejas predomina la masa fibrosa de raíces laterales menos exploratorias y de menor masa (INIA, 2003).

Particularmente, la materia seca aérea producida por planta de trigo sin la presencia de áfidos fue mayor a la obtenida con áfidos presentes, tal como se muestra en la Figura 4.2. Este efecto se produce tanto en monocultivo como en asociado. No obstante, esto ocurre porque el áfido *R. padi* se alimenta del follaje en el cereal desde el estado de plántula hasta que aparece la espiga (Vincini et al., 1982). Además, este pulgón genera debilitamiento generalizado en la planta ya que succiona savia y luego la excreta en forma de mielecilla (INIA, 2017), genera un encrespamiento de hojas jóvenes, amarillamiento de hojas y retardo de crecimiento (Imwinkelried et al., 2004). En este sentido, la mielecilla dispuesta por los áfidos generó la presencia de hormigas en el ensayo, de tal modo que se realizaron controles culturales de estos insectos para no alterar los resultados (anexo 8.3).

En el caso del cultivo de lenteja en ambas condiciones de cultivo, las plantas sin la presencia de pulgones no presentaron diferencias considerables respecto a la MS aérea producida en el tratamiento con presencia de *A. pisum*. Por lo general, la planta de lenteja soporta mayores densidades de pulgones evitando mayores daños dependiendo de la cantidad de pulgones presentes. En este caso, la media ronda los 10 pulgones por planta de lenteja. No obstante, un ataque de pulgones en trigo resulta en mayor daño para la planta en su desarrollo (Gerding et al., 1986). La materia seca radical producida por planta de trigo y lenteja sin ácidos también fue superior que la producida por planta con la presencia de pulgones, sin embargo, esta diferencia (no significativa) solo ocurre en los cultivos asociados. No obstante, debido a las condiciones del ensayo y la falta de independencia de las réplicas, debe tratarse con precaución estos resultados.

Por otra parte, en la Figura 4.2 se observa que la producción de MS aérea unitaria de cada especie en cultivo asociado tanto para trigo como lenteja tiende a superar el rendimiento de cada especie en condiciones de monocultivos, esta tendencia se explica por la “relación equivalente de tierra” comúnmente conocida en agroecología como LER (Land Equivalent Ratio), dicha relación evalúa cuánticamente la eficiencia de los cultivos asociados e individuales según su rendimiento (Willey, 1979). Por lo tanto, las plantas de trigo y lenteja asociadas analizadas individualmente produjeron levemente mayor materia seca aérea en comparación a las plantas que crecieron en monocultivo. Si bien esta diferencia no es estadísticamente significativa, se cree que, para conseguir diferencias, es necesario completar el ciclo anual fisiológico de cada especie en cultivo, en este caso, el ensayo llegó solo hasta el estado de “espiguilla temporal” en trigo (anexo 8.5) lo cual la biomasa recién comenzaba a aumentar según la curva de crecimiento (INIA, 2003). En cuanto a la lenteja, de crecimiento indeterminado, acumula más MS posterior a los 60 días después de siembra (INIA, 2006), por lo que, el ensayo solo duró 64 días. No obstante, el sistema leguminosa-cereal intercalado reduce la competencia interespecífica ya que mejora los procesos de complementariedad y facilitación, este mejoramiento causa mejor explotación de los recursos disponibles lo que desencadena en un aumento de la producción y mayor eficiencia del agroecosistema (Justes et al., 2014). En este sentido, las plantas de lenteja se inocularon con bacterias del género *Rhizobium*, por ende, generó una asociación simbiótica entre estas bacterias con la leguminosa en cultivo, esto hizo que las plantas de lenteja asociadas aumentaran su capacidad de fijación producto de la competencia ejercida por trigo, en este sentido, es posible inferir que el N<sub>2</sub> disponible aumentó en las plantas asociadas. Además, la biomasa aérea y subterránea se correlaciona positivamente con la abundancia y diversidad microbiana en el suelo, generando así mayor disponibilidad y transferencia de nutrientes, especialmente N (Duchene et al., 2017). En la producción de materia seca radical, la planta de trigo y de lenteja en el cultivo asociado tiende a ser mayor en comparación a la MS radical producida en monocultivos, a pesar

de que esta diferencia no es estadísticamente significativa, este efecto también surge del mejoramiento de los procesos agroecológicos de complementariedad y facilitación antes mencionados.

Si bien las diferencias que se muestran en la Figura 4.4 no son estadísticamente significativas, para la relación R/PA, en las plantas sin áfidos aumentó levemente en trigo y lenteja en cultivo asociado con respecto al monocultivo de estas especies. En este sentido, la Figura 4.4 muestra que las especies asociadas presentan un índice más cercano a 1 en comparación al monocultivo, por lo tanto, las plantas asociadas tienden a ser más eficientes en la absorción de agua y nutrientes en las raíces para sustentar el crecimiento y desarrollo de la parte aérea (Rogers et al., 1996). Por el contrario, en las plantas con presencia de áfidos, la relación R/PA es levemente mayor en monocultivo, en ambas especies.

En conclusión, las plantas sin presencia y las que sí tuvieron áfidos, tuvieron en promedio entre 0,3 y 0,4 para R/PA, lo que significa que las plantas de ambas especies, en los dos sistemas de cultivo, presentan mayor producción foliar, de tal modo que las plantas probablemente se vieron limitadas en el crecimiento radicular por problemas edáficos, si bien la morfología del sistema radical está definida por la genética, las condiciones del suelo modifican la capacidad de distribuirse en el espacio, por ende, la densidad aparente, aireación, agua, nutrientes, porosidad y temperatura influyen en la habilidad que tiene la raíz para crecer (Macklon et al., 1994).

El desarrollo vegetativo, analizado por unidad de planta (Figura 4.5), indica que existe diferencia en la altura alcanzada por las plantas de trigo según el tipo de cultivo y la presencia de áfidos. Esto ocurrió debido a que las plantas de lentejas contribuyeron a mejorar la disponibilidad de N inorgánico en el medio, sin embargo, cuando se encuentra en asociación con un cereal, este es más competitivo que la leguminosa, absorbe mayor cantidad de nutrientes, por ende, la leguminosa se ve obligada a aumentar su capacidad de fijación de N<sub>2</sub> en simbiosis con bacterias para tener mayor disponibilidad de N (Hauggard-Nielsen et al., 2003). Además, el desarrollo de las plantas de trigo que no tuvieron presencia de pulgones no se vio afectado, en cambio, las plantas que estaban en el bloque con áfidos si tuvieron problemas en su desarrollo, por lo cual, el trigo es sensible a la presencia de áfidos, es decir, genera pérdidas en la producción de MS aérea. Sin embargo, el proceso de facilitación por parte de la leguminosa, ha mostrado que el cultivo asociado de cereal-leguminosa aumenta la biomasa aérea del cereal (Song et al., 2007). También cabe destacar que no hubo diferencias entre la altura final alcanzada por plantas de lentejas según el tipo de cultivo y la presencia de áfidos, dado que tuvo un comportamiento similar en su crecimiento. Sin embargo, en la última etapa del ensayo las plantas de lentejas en ambos tratamientos presentaron debilitamiento y clorosis (Figura 8.2).



La infestación de *A. pisum* por planta de lenteja asociadas con trigo fue significativamente superior en comparación a los pulgones hospedados en plantas de lentejas en monocultivo (Figura 4.7). Esto fue diferente a los resultados obtenidos por otros investigadores. Por ejemplo, un estudio realizado por Ndzana y colaboradores (2014) determinaron que la abundancia de *A. pisum* disminuyó significativamente en cultivo de arveja de invierno intercalado con trigo duro en condiciones de cultivo abierto, sin embargo, el presente ensayo se realizó en condiciones de ambiente cerrado, por ende, no hubo incidencia de enemigos naturales de este áfido tales como parasitoides o depredadores. No obstante, los pulgones optaron por hospedar las plantas asociadas, aunque probablemente esto ocurrió por intervenciones en el ensayo que alteraron los resultados. Por ejemplo, para realizar el riego, el movimiento era invasivo y los pulgones eran muy sensibles a cualquier tipo de alteración. Además, al momento de contabilizar la población final de pulgones, hubo imprecisiones que pudieron alterar la abundancia de áfidos presentes en cada maceta, es decir, a medida que se retiraban las macetas, los pulgones cayeron y/o volaron hacia otra maceta por efecto del movimiento.

Finalmente, la población final de *R. padi* en plantas de trigo asociado con lenteja no tuvo diferencias significativas respecto al monocultivo del cereal (Figura 4.8). Sin embargo, existen estudios que comprueban menores niveles de infestación de este áfido en plantas de trigo en cultivo intercalado comparado con el monocultivo del cereal. Por ejemplo, un estudio realizado por Mansion-Vaquí y colaboradores (2019), concluyó que el trigo de invierno intercalado con trébol blanco tuvo menos infestación de *R. padi* en comparación al monocultivo. Sin embargo, ese estudio se realizó en condiciones de campo donde fue posible mayor abundancia de especies, entre ellas enemigos naturales y depredadores del áfido. No obstante, en el presente ensayo la cantidad final de ejemplares de *R. padi* fue significativamente mayor a la cantidad final de *A. pisum* (Figura 8.1). Lo anterior se debe probablemente a que “cada hembra puede dar origen entre 60 y 80 nuevas hembras en 1 o 2 semanas, dependiendo de la temperatura (1 generación), y en cada ciclo del cultivo pueden ocurrir entre 15 a 20 generaciones” (INIA, 2017). No obstante, la abundancia de *A. pisum* por unidad de planta en lenteja es irregular, ya que hay reportes de 300 pulgones por planta y en la temporada siguiente se han encontrado 0,77 pulgones por planta, sin embargo, la planta de lenteja puede soportar mayores densidades de pulgones (Gerding et al., 1986). Aunque, es preciso considerar que bajas temperaturas generan problema en la reproducción asexual de este áfido, ya que, si existen temperaturas inferiores a los 12°C., las hembras tardarían hasta 6 semanas en reproducirse asexualmente (Mazzuferi et al., 2011).

## 6. CONCLUSIONES

En vista de los resultados obtenidos se puede concluir que:

Las plantas de trigo producen más materia seca total que las plantas de lenteja con y sin presencia de áfidos alados.

El cultivo asociado cereal-leguminosa, en condiciones de cultivo cerrado, no tuvo efecto en la abundancia de *R. padi* en trigo, sin embargo, sí tuvo efecto en la abundancia de *A. pisum*.

En las plantas de trigo, la presencia de *R. padi* afecta la altura alcanzada por esta especie, del mismo modo, las plantas asociadas fueron más altas en comparación al monocultivo de ellas.

Finalmente, el cultivo asociado no produce más materia seca total que el monocultivo de estas especies.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Adiazola, F. 2019. Efecto del cultivo intercalado de trigo (*Triticum aestivum* L.) y lenteja (*Lens culinaris*) sobre la absorción de nitrógeno. Facultad de ciencias agrarias escuela de agronomía. Universidad de Talca, Talca, Chile. 45p.
- Androw, D. 1991. Vegetational Diversity and Arthropod Population Response. Annual Review of Entomology. 36:561-586.
- Barrientos, L. 1989. Antecedentes de la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas. Instituto de investigaciones agropecuarias, centro regional de investigación Carillanca, INIA Carillanca, Temuco, Chile. 15p.
- Bedoussac, L. and Justes, E. 2010. The Efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to promote yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. Plant and soil. 330:19-35.
- Bedoussac, L., Journet, E., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E., Prieur, L. and Justes, M. 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. Agronomy for Sustainable Development. 35:911-935.
- Bedoussac, L., Journet, E., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Prieur, L., Jensen, E. and Justes, E. 2014. Page 77 in: Organic farming, prototype for sustainable agricultures: Prototype for sustainable agricultures. Edited by Bellon, S. and Penvern, S. Springer Science & Business. France. 489p.
- Bender, F., Wagg, C. and Van der Heijden, M. 2016. An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. Trends in Ecology & Evolution. 20:1-13.
- Benton, T., Vickery, J. and Wilson, J. 2003. Farmland Biodiversity: Is Habitat Heterogeneity the Key. Trends in Ecology & Evolution. 18:182-188.
- Betencourt, E. 2012. Interactions entre céréale et légumineuse en association et acquisition de phosphore du sol: processus rhizosphériques sous-jacents. École doctorale Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosiences et Environnement (SIBAGHE).

Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques (Montpellier SupAgro). France. 244p.

- Bhatnagar, A., Sehgel, V. and Rao, S. 1995. Geographical distribution of insect pests associated with lentil. *Lens Newsletter*. 22:37-43.
- Chai, Q., Qin, A., Gan, Y. and Yu, A. 2013. Higher yield and lower carbon emission by intercropping maize with rape, pea, and wheat in arid irrigation areas. *Agronomy for Sustainable Development*. 34:535-543.
- Chitale, S. 2014. *Intercropping Under Rice-Based Cropping System*. Anchor Academic Publishing. Hamburg, Germany. 142p.
- CIREN. 1964. Suelos, descripciones proyecto aerofotogramétrico Chile. OEA BID. Instituto de Investigación de Recursos Naturales. Chile. 2:33-34.
- Clergue, B., Amiaud, B., Pervanchon, F., Lasserre-Joulin, F. and Plantureux, S. 2005. Biodiversity: function and assessment in agricultural areas. *Agronomy for sustainable development*. 25:1-15.
- Cruz, R. 1991. Evaluación del Modelo de Palacios Vélez para simular el balance de la humedad del suelo en el cultivo de trigo (*Triticum Aestivum* L) variedad seri M-82. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, México. 63p.
- Del Pozo, A. 2016. *Cereales C3: fases de desarrollo y factores que lo afectan*. Facultad de agronomía. Universidad de Talca. Talca, Chile. 48p.
- Duchene, O., Vian, J. and Celette, F. 2017. Intercropping with Legume for Agroecological Cropping Systems: Complementarity and Facilitation Processes and the Importance of Soil Microorganisms. *Agriculture, ecosystems and environment*. 240:148-161.
- Eisenhauer, N., Reich, P. and Isbell, F. 2012. Decomposer diversity and identity influence plant diversity effects on ecosystem functioning. *Ecology*. 93:2227–2240.
- FAO. 2009. *Desafíos en relación con la alimentación y la agricultura planteados por el cambio climático y la bioenergía*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italia, Roma. 4 p.

- Ferreyra, R., Sellés, G., Ahumada, R., Maldonado, P., Gil P. y Barrera, C. 2005. Manejo del riego localizado y fertirrigación. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). La Cruz, Chile. Boletín N° 126, 54p.
- Fosdick, B., Chunn, J., Lalic, N., Guiomar, B., Buettner, T., Heilig, G. and Wilmoth, J. 2014. World population stabilization unlikely this century. *Science*. 346:234-237.
- Gerding, M., Zúñiga, E. y Kramm, V. 1986. Pulgones en lenteja, El control biológico es una herramienta muy útil. Boletín N° 29. Investigación y Progreso Agropecuario Quilamapu. Quilamapu, Chile. 4p.
- Gerland, P., Raftery, A., Ševčíková, A., Nan Li, Danan Gu, Spoorenberg, T., Alkema, L., Bender, F., Wagg, C. and Van der Heijden, M. 2016. An Underground Revolution: Biodiversity and Soil Ecological Engineering for Agricultural Sustainability. *Trends in Ecology & Evolution*. 31:440-452.
- Guay, M., Paquette, A., Dupras, J. and Rivest, D. 2018. The new Green Revolution: Sustainable Intensification of agriculture by intercropping. *Elsevier*. 615:767-772.
- González, R. 1989. Insectos y ácaros de importancia agrícola y cuarentenaria en Chile. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 310p.
- Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P. and Jensen, E. 2003. The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 65:289-300.
- Hooks, C. and Johnson, M. 2003. Crop Protection: Impact of agricultural diversification on the insect community of cruciferous crops. *Elsevier*. 22:223-238.
- Imwinkelried, J., Fava, F. y Trumper, E. 2004. Pulgones que atacan al cultivo de trigo. Boletín N° 7. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ediciones INTA. Córdoba, Argentina. 6p.
- Influentialpoints. *Acyrtosiphon pisum* - Pulgón de guisante. Disponible en: [https://influentialpoints.com/Gallery/Acyrtosiphon\\_pisum\\_Pea\\_aphid.htm](https://influentialpoints.com/Gallery/Acyrtosiphon_pisum_Pea_aphid.htm). Consultado el 15 de agosto del 2019.

- Influentialpoints. *Rhopalosiphum padi*: Cereza de ave - pulgón de avena. Disponible en: [http://influentialpoints.com/Gallery/Rhopalosiphum\\_padi\\_Bird\\_cherry-oat\\_aphid.htm](http://influentialpoints.com/Gallery/Rhopalosiphum_padi_Bird_cherry-oat_aphid.htm). Consultado el 15 de agosto del 2019.
- INIA, 2003. Pandora-INIA nueva variedad de trigo harinero de primavera creada en INIA Quilamapu. Boletín N° 66. Instituto de investigaciones agropecuarias, centro regional de investigación Quilamapu. Chillán, Chile. 2p.
- INIA. 2006. Calpún-INIA, Cultivar lenteja (*Lens culinaris* Medik) de Grano Grande y Resistente a Roya. Boletín N° 67. Instituto de investigaciones agropecuarias, centro regional de investigación Quilamapu. Chillán, Chile.
- INIA. 2016. Reacción de los fertilizantes fosfatados en el suelo. Boletín N° 160. Instituto de investigaciones Agropecuarias. Inia-Remehue. Osorno, Chile. 4p.
- INIA. 2017. Entomología - Plagas en cultivos: Pulgón de la avena. Boletín N° 65. Instituto de investigaciones agropecuarias, centro regional de investigación Carillanca, La Araucanía, Chile. 2p.
- INTA. 1981. El cultivo del trigo. Colección principales cultivos de la Argentina. Instituto nacional de tecnología agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. 75p.
- Jensen, E. 1996. Grain yield, symbiotic N<sub>2</sub> fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and soil*. 182:25-38.
- Justes, E., Bedoussac, L., Corre-Hellou, G., Fustec, J., Hinsinger, P., Jeuffroy, M., Journet, E., Louarn, G., Naudin, C. and Pelzer, M. 2014. Les processus de complémentarité de niche y de la facilitación déterminent le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité à l'acquisition des Ressources abiotiques. *Innovations Agronomiques*. 40:1-24.
- Kiær, L., Skovgaard, I. and Østergaard, H. 2009. Grain yield increase in cereal variety mixtures: a meta-analysis of field trials. *Field Crops Research*. 114:361-373.
- Lal, R., Safriel, U. and Boer, B. 2012. Zero Net Land Degradation: A New Sustainable Development Goal for Rio+ 20. United Nations Convention to Combat Desertification. United States. 30p.

- Lavandero, B., Peñalver, A., Zepeda, F., Ortiz, S. y Villegas, C. 2018. Guía de campo sobre el control biológico en trigo. Laboratorio de control biológico. Universidad de Talca. Talca, Chile. 22p.
  
- Lichtfouse, E. 2009. Climate Change, Intercropping, Pest Control and Beneficial Microorganisms. Second edition. Springer. Dijon, France. 514p.
  
- Liebman, M. 1998. Ecological suppression of weeds in intercropping systems: a review. In: Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches. Florida: CRC Press.
  
- Lopes, T., Hatt, S., Xu, Q., Chen, J., Liu, Y. and Francis, F. 2016. Wheat (*Triticum aestivum* L.) - based intercropping systems for biological pest control. Pest Management Science. 72:2193-2202.
  
- Macklon, A., Mackie-Dawson, L., Sim, A., Shand, C. and Lylli, A. 1994. Soil P resources, plant growth and rooting characteristics in nutrient poor upland grasslands. Plant Soil. 163:257- 266.
  
- Martínez, R. 2018. Los peligros de los fertilizantes químicos. Bio Eco Actual. Disponible en: <https://www.bioecoactual.com/2018/02/21/los-peligros-los-fertilizantes-quimicos/>. Consultado el 16 de diciembre del 2019.
  
- Mazzuferi, V. E., Maidana, A., Fichetti, L., Hansen, G. y Avalos, D. S. 2011. Abundancia y riqueza específica de pulgones (Hemiptera: Aphididae) y sus parasitoides en diferentes genotipos y estados fenológicos del garbanzo. Agriscientia. 28:99-108.
  
- Mellado, M. y Madariaga, R. 2003. Pandora - INIA, nuevo cultivar de trigo harinero de primavera para Chile. Agricultura Técnica. 63:319-322.
  
- Midmore, D. 1993. Agronomic modification of resource use and intercrop productivity. Field Crops Research. 34:357-380.
  
- Moawad, H. and Beck, D. 1991. Some characteristics of *Rhizobium leguminosarum* isolates from uninoculated field-grown lentil. Soil Biology and Biochemistry. 23:933-937.

- Moscatelli, M., Di Tizio, A., Marinari, S. and Grego, S. 2007. Microbial indicators related to soil carbon in Mediterranean land use systems. *Soil and Tillage Research*. 97:51-59.
- Morris, B. 2003. The components of the Wired Spanning Forest are recurrent. *Probability Theory and Related Fields*. 125:259-265.
- Navarro, P. 2017. Entomología - Plagas en cultivos: Pulgón de la avena. Instituto de investigaciones agropecuarias (INÍA). Chile. Vol 65: 2p.
- Ndzana, R., Magro, A., Bedoussac, L., Justes, E., Journet, E. and Hemptinne, J. 2014. Is there an associational resistance of winter pea–durum wheat intercrops towards *Acyrtosiphon pisum* Harris. *Journal of Applied Entomology*. 138:577-585.
- Ofori, F. and Stern, W. 1987. Cereal-Legume Intercropping Systems. *Advances in Agronomy*. 41:41-90.
- Oxfam intermón. 2016. Monocultivo y agricultura ecológica, ¿quién apuesta por la sostenibilidad y quién por la rentabilidad? Carro de combate. Disponible en: <https://www.carrodecombate.com/2016/12/01/monocultivo-y-agricultura-ecologica-quien-apuesta-por-la-sostenibilidad-y-quien-por-la-rentabilidad/>. Consultado el 20 de diciembre del 2019.
- Peñaloza, E., Tay, J. y France, A. 2007. Calpún-inia, cultivar de lenteja (*Lens culinaris* medik) de grano grande y resistente a roya. *Agricultura técnica*. 67:68-71.
- Perea, F., Castilla, A., Basallote, E., Canseco, E., Delgado, M., y Pasadas, R. 2015. Guía del Cultivo de Guisantes Proteaginosos. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Alcalá del Río, España. 35p.
- Pérez, G., de los Mozos, M. y Portillo, M. 1998. Variación estacional de los principales grupos de insectos plaga y enemigos naturales asociados al cultivo de la lenteja (*Lens culinaris* Medikus) en Castilla-La Mancha. *Boletín Sanidad Vegetal Plagas*. 24:955-973.



- Pérez, G., De los Mozos, M., Acebrón, E. y Cardo, N. 2002. Influencia de la asociación de cultivos (leguminosa - cereal - oleaginosa) sobre las poblaciones de los principales grupos de insectos plaga y enemigos naturales del cultivo de la lenteja (*Lens culinaris* Medikus) en España Central. Boletín Sanidad vegetal plagas. 28:505-517.
- Poveda, K., Gómez, M. and Martínez, E. 2008. Diversification practices: Their effect on pest regulation and production. Colombian Journal of Entomology. 34:131-144.
- Prabakaran, G. 2010. Introduction to Soil and Agricultural Microbiology. Himalaya publishing house. Delhi, India. 160p.
- Rojas, A. 1998. Crecimiento de Granos en Líneas de Trigo Macaronero (*Triticum Aestivum* L) Contrastes en la Altura de la Planta y su Precocidad y su Relación en el Rendimiento. Buenavista, Saltillo, México. 86p.
- Serret, J. 1995. Manual de estadística Universitaria: inductiva. ESIC editorial. Madrid, España. 348p.
- Song, Y., Marschner, P., Li, L., Bao, X., Sun, J. and Zhang, F. 2007. Community composition of ammonia-oxidizing bacteria in the rhizosphere of intercropped wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.), and faba bean (*Vicia faba* L.). Biology and Fertility of Soils. 44:307-314.
- Tooker, J. and Frank, S. 2012. Genotypically diverse cultivar mixtures for insect pest management and increased crop yields. Journal of Applied Ecology. 49:974-985.
- Vandermeer, J., 1989. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 237p.
- Vidal, C. 2008. El monocultivo y sus consecuencias. Ecoclimático. Disponible en: <http://www.ecoclimatico.com/archives/el-monocultivo-y-sus-consecuencias-82>. Consultado el 20 de diciembre del 2019.
- Vincini, A., López, A. y Sisti, D. 1982. Presencia del "pulgón de la avena" *Rhopalosiphum padi* en el sudeste bonaerense. Instituto nacional de tecnología agropecuaria (INTA). Balcarce, Argentina. 4p.

- Walls-Thumma, D. 2017. La estructura de la planta de la lenteja. Ehow en español. Disponible en: [https://www.ehowenespanol.com/estructura-planta-lenteja-info\\_329548/](https://www.ehowenespanol.com/estructura-planta-lenteja-info_329548/). Consultado el 20 de diciembre del 2019.
- Wang, W., Liu, Y., Chen, J., Ji, X., Zhou, H. and Wang, G., 2009. Impact of intercropping aphid-resistant wheat cultivars with oilseed rape on wheat aphid (*Sitobion avenae*) and its natural enemies. *Acta Ecologica Sinica*. 29:186-191.
- Wang, X., Deng, X., Pu, T., Song, C., Yong, T., Yang, F., Sun, X., Liu, W., Yan, Y., Du, J., Liu, J., Shu, K. y Yang, W. 2017. Contribución de interacciones interespecíficas y la aplicación de fósforo para aumentar la disponibilidad de fósforo en el suelo en los sistemas de relé intercalados. *Revista campo de cosecha*. 25:2868-2878.
- Willey, R. 1979. Intercropping: its importance and research needs. Part 1: competition and yield advantages. *Field Crop Abstracts*. 32:1-10.
- Willey, R. 1990. Resource use in intercropping systems. *Agric. Water Manage.* 17:215-231.

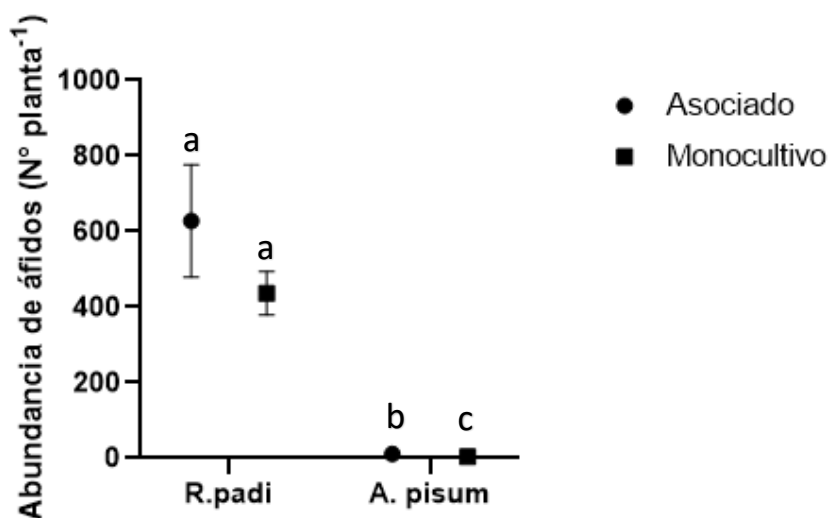
## 8. ANEXOS

### 8.1 Abundancia de áfidos por planta de trigo y lenteja

El promedio de la población por planta de *R. padi* en trigo asociado fue de 628 y 437 en trigo en monocultivo. Sin embargo, la población promedio por planta de *A. pisum* en lenteja asociada fue de 14 pulgones y de 4 pulgones por planta de lenteja en monocultivo. Según el cuadro 8.1, esta diferencia fue estadísticamente significativa. No hubo interacción significativa entre factores.

**Cuadro 8.1:** ANOVA correspondiente a la abundancia de áfidos (planta<sup>-1</sup>) en cultivo asociado y monocultivo.

Efectos principales	SC	GL	X	F	Valor P
A) Tipo de cultivo	1101450	1	1101450	42,97	0,0001***
B) Presencia de pulgones	39601	1	39601	1,545	0,2376
Interacción AB	33856	1	33856	1,321	0,2729
Residuos (error)	307625	12	25635		
Total	1482532	15			



**Figura 8.1:** El gráfico muestra el promedio, error estándar y resumen estadístico de la abundancia de cada especie de áfido, para cultivo asociado y monocultivo. Las letras indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparaciones múltiples de TUKEY ( $p < 0,05$ ).

## 8.2 Plantas con síntomas de clorosis

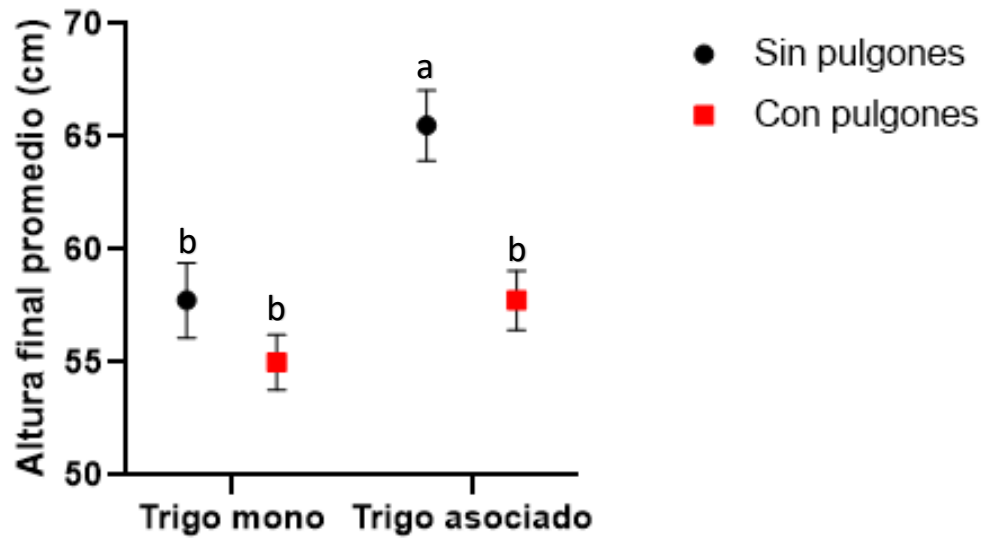


**Figura 8.2.** Fotografía realizada a los 64 días de siembra a plantas de lenteja y trigo con clorosis en hojas producto de la compactación de suelo y exceso de humedad. (Elaboración propia)

## 8.3 Control cultural de hormigas en ensayo

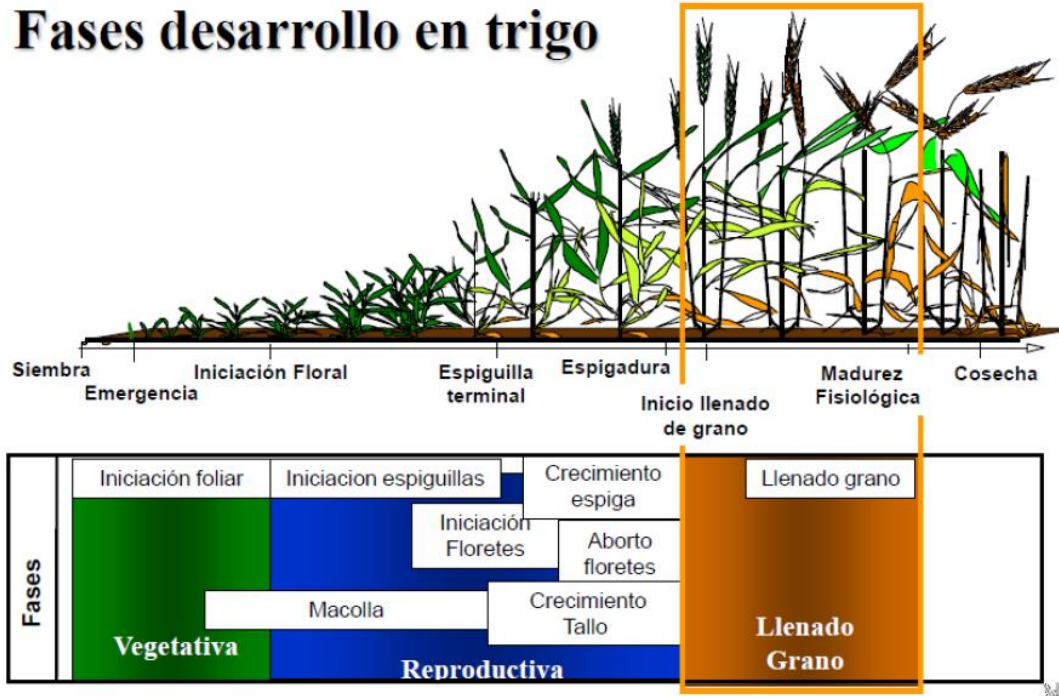
Posterior a la introducción de áfidos al ensayo, hubo una excesiva aparición de población de hormigas, por lo tanto, se realizó un control con pequeños reservorios de agua y detergente en cada uno de los puntos por donde subían hormigas al ensayo. En total se utilizaron 6 reservorios.

8.4 Altura final de plantas de trigo.



**Figura 8.4.** El gráfico muestra el promedio, error estándar y resumen estadístico de la altura final de plantas de trigo según el tipo de cultivo y la presencia de pulgones. Las letras indican diferencias estadísticamente significativas según la prueba de comparaciones múltiples de TUKEY ( $p < 0,05$ ).

8.5 Etapas de desarrollo del cultivo de trigo.



**Figura 8.5:** La imagen presenta las fases de desarrollo del cultivo de trigo respecto a su fisiología y morfología. Fuente: Del Pozo, 2016.